

Mgr inż. Wojciech CHUCHNOWSKI
Dr inż. Jarosław TOKARCZYK
Centrum Mechanizacji Górnictwa KOMAG

Badania symulacyjne rozprzestrzeniania się mgły powietrzno-wodnej systemu zraszania

Streszczenie

W artykule przedstawiona została metoda modelowania strumienia powietrzno-wodnego dysz zraszających. Do obliczeń zastosowana została metoda CFD (Computational Fluid Dynamics). Model geometryczny dyszy wykonany został w programie Autodesk Inventor, natomiast obliczenia przeprowadzone zostały w programie Fluent. Model przepływu wielofazowego (woda + powietrze) rozwiązany został za pomocą metody Euler'a–Lagrange'a. Przedstawiona została weryfikacja obliczeń numerycznych z wynikami badań stanowiskowych.

Summary

The method of modelling air-water stream of spraying nozzles was presented in the paper. Computational Fluid Dynamics (CFD) method was used for calculations. Geometrical model of nozzles was made in Autodesk Inventor and calculation were made in Fluent Software. The model of multi-phase flow (water + air) was solved using Euler – Lagrange method. Verification of numerical models with stand tests was presented.

1. Wstęp

Bardzo ważnym zagadnieniem w czasie urabiania węgla kamiennego jest zwalczanie zapylenia powstającego podczas skrawania kaliny węglowej. Zagadnienie to jest ważne tak ze względu na bezpieczeństwo i higienę pracy, jak również ze względów eksploatacyjnych. Pył powstający w czasie urabiania jest szkodliwy dla załogi przodka i powoduje konieczność stosowania przez załogę niewygodnych masek przeciwpyłowych, stwarza zagrożenie wybuchem pyłu węglowego oraz, przez utrudnienie obserwacji ruchu organu urabiającego, zmniejsza wydajność urabiania [6].

Do zwalczania zapylenia wykorzystuje się nisko- lub wysokociśnieniowe systemy rozpylania wody, nazywane zraszaniem. Zraszanie polega na wytworzeniu w czasie urabiania w pobliżu miejsca powstawania pyłu mgły wodnej, która łączy się z pyłem i jako cięższa od powietrza osiada na urobku [9].

W CMG KOMAG opracowano nowatorskie rozwiązanie powietrzno-wodnej instalacji zraszającej, w której oprócz wody o odpowiednim ciśnieniu wykorzystuje się sprężone powietrze, wytwarzając mieszaninę powietrzno-wodną wyrzucaną przez dysze zraszające bezpośrednio w obszar urabiania kombajnu. Nowa koncepcja instalacji zraszającej, przed wdrożeniem jej do warunków eksploatacyjnych, wymagała przeprowadzenia szerokiej gamy testów i badań stanowiskowych [2].

Zastosowanie numerycznej metody mechaniki płynów (CFD – Computational Fluid Dynamics) do modelowania rozprzestrzeniania się mgły powietrzno-wodnej, może być efektywnie wykorzystane w procesie

projektowo-konstrukcyjnym. Obliczenia numeryczne mogą być pomocne w poszukiwaniu rozwiązania technicznego dyszy, które umożliwi skuteczną walkę z zagrożeniem pyłowym. Opracowane narzędzia wspomagające projektanta w modelowaniu zjawisk tworzenia i rozprzestrzeniania się aerozolu powietrzno-wodnego mogą zredukować kosztowne testy i badania stanowiskowe.

2. Metoda CFD [10]

Podstawę CFD stanowią równania różniczkowe, będące matematycznym zapisem praw zachowania masy, pędu i energii. Niezależnie od ruchu płynu (laminarny czy turbulentny) rozwiązywane są: równanie ciągłości przepływu oraz równanie pędu.

• Równanie ciągłości przepływu

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{v}) = 0 \quad (1)$$

gdzie:

t – czas, s,

$\mathbf{v}$ – prędkość płynu, m/s,

ρ – gęstość płynu, kg/m³.

• Równanie pędu

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \mathbf{v}) + \nabla \cdot (\rho \mathbf{v} \mathbf{v}) = -\nabla p + \nabla \cdot (\boldsymbol{\tau}) + \rho \mathbf{g} + \mathbf{F} \quad (2)$$

gdzie:

p – ciśnienie hydrostatyczne,

$\boldsymbol{\tau}$ – tensor naprężeń (opisany poniżej),

$\rho \mathbf{g}$ – siły masowe,

$\mathbf{F}$ – siły powierzchniowe.

Tensor naprężeń zdefiniowany jest następującą zależnością:

$$\tau = \mu \left[(\nabla v + \nabla v^T) - \frac{2}{3} \nabla \cdot v I \right] \quad (3)$$

gdzie:

μ – lepkość dynamiczna,

I – macierz jednostkowa.

W przypadku przepływu z wymianą ciepła rozwiązywane jest równanie bilansu energii.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho h) + \nabla \cdot (\rho h v) = \nabla \cdot [(k + k_t) \nabla T] + S_h \quad (4)$$

gdzie:

h – entalpia,

k – przewodność cieplna,

k_t – przewodność cieplna dla przepływu turbulentnego,

T – temperatura,

S_h – źródła mocy cieplnej.

Dodatkowo, kiedy mamy do czynienia z przepływem turbulentnym, rozwiązywane jest równanie transportu. Większość dostępnych programów CFD dysponuje wieloma modelami turbulencji. Podstawowymi modelami są: model Spalart – Allmaras, model $k-\varepsilon$ [2], Reynolds stress model (RSM), Large eddy simulation (LES) model [8]. Wybór modelu turbulencji powinien być dokonywany świadomie z uwzględnieniem jego zastosowania, wymagań i ograniczeń.

Powyżej przedstawione równania są równaniami różniczkowymi cząstkowymi eliptycznymi, w których zmiennymi niezależnymi są współrzędne rozpatrywanego punktu w przestrzeni x_i oraz czas t . Na ich podstawie można wyznaczyć rozkłady chwilowych wartości zmiennych zależnych, takich jak: składowe wektora prędkości v , ciśnienia p , temperatury płynu T i inne.

W celu rozwiązania powyżej przedstawionych równań należy zdefiniować i wprowadzić warunki brzegowe oraz początkowe warunki geometryczne, cieplne a także aerodynamiczne. Jest to jeden z ważniejszych etapów analizy CFD, ponieważ jakość (dokładność, zgodność z rzeczywistością) warunków początkowych wpływa bezpośrednio na otrzymane wyniki.

Programy CFD umożliwią modelowanie wielu rodzajów przepływów wielofazowych, które generalnie można podzielić, ze względu na przepływające medium na: gaz–ciecz, ciecz–ciecz, gaz–ciało stałe, ciecz–ciało stałe, przepływy trójfazowe gaz–ciecz–ciało stałe. Obecnie są dwie metody numerycznego rozwiązywania problemów związanych z wielofazowością przepływów, mianowicie: Euler’a–Lagrange’a oraz Euler’a–Euler’a. Metoda Euler’a–Lagrange’a zakłada, że płynna faza jest traktowana jak kontinuum poprzez rozwiązywanie równania Navier’a–Stokes’a, natomiast faza rozproszona jest rozwiązywana poprzez śledzenie dużej liczby cząstek, pęcherzyków lub kropeł w obliczonym polu

fazy ciągłej. Należy jednak pamiętać o podstawowym założeniu Euler’a–Lagrange’a: faza rozproszona musi charakteryzować się pomijalnie małą objętością cząstek, nawet jeśli faza rozproszona posiada dużą masę, nawet większą od fazy ciągłej.

Metoda Euler’a–Euler’a z kolei zakłada, że wszystkie rozpatrywane fazy są traktowane jako wzajemnie przenikające się kontinua. Przedstawicielami tej metody w programach CFD są modele: The Volume of Fluid (VOF) model [4], The Mixture model [11] i Eulerian model [5].

Opisany powyżej układ równań (1)–(4) w sensie matematycznym jest układem silnie nieliniowym i nie można go rozwiązać w sposób analityczny. Rozwiązuje się go metodą iteracyjną, stosując najczęściej metody: elementów skończonych, różnic skończonych i objętości skończonej.

Niezależnie od przyjętej metody numerycznej należy dokonać dyskretyzacji zmiennych za pomocą siatek dyskretyzacji. Wyróżnia się następujące podstawowe rodzaje siatek: kartezjańską, heksahedrałną, tetrahedrałną, piramidalną, pentahedrałną [3].

Oprócz rodzaju siatki ogromne znaczenie ma również jej gęstość. Błędem jest przyjmowanie siatki równomiernie zagęszczonej. W obszarach, w których należy spodziewać się intensyfikacji przepływu, należy dodatkowo „zagęścić” siatkę. Programy CFD posiadają funkcje sprawdzania jakości siatki każdej wprowadzonej postaci geometrycznej. Każdorazowo należy zatem dokonywać analizy wpływu siatki na jakość wyników.

Po przygotowaniu modelu program rozwiązuje równania bilansowe przy założeniu, że warunki są stałe lub zmienne w czasie.

Wyniki obliczeń dostępne są w postaciach: analitycznej oraz graficznej – żądane wielkości, takie jak prędkość gazów, temperatura, stężenie zanieczyszczeń itp. można przeglądać w dowolnej chwili czasowej i dowolnym punkcie analizowanej przestrzeni. Daje to bardzo przejrzysty obraz zachodzących zjawisk.

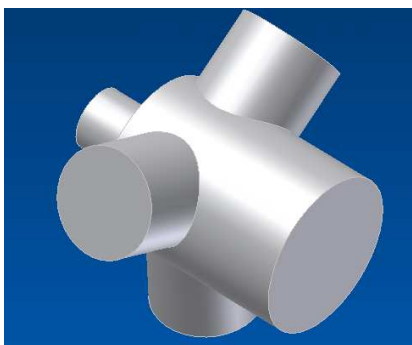
3. Model numeryczny dyszy zraszająco-za-wirowującej

3.1. Opracowanie modelu geometrycznego

Model geometryczny kanałów wewnętrznych dyszy, w której następuje mieszanie powietrza z wodą opracowany został w programie Autodesk Inventor (rys. 1) na podstawie pomiarów wymiarów geometrycznych rzeczywistej dyszy (rys. 2).

3.2. Siatka elementów skończonych

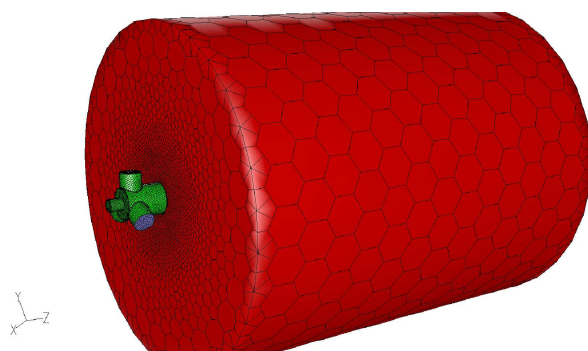
Na podstawie modelu geometrycznego utworzono w programie GAMBIT siatkę elementów skończonych. Siatka elementów składała się z 34239 węzłów i 31560 elementów typu polyhedron (rys. 3, 4).



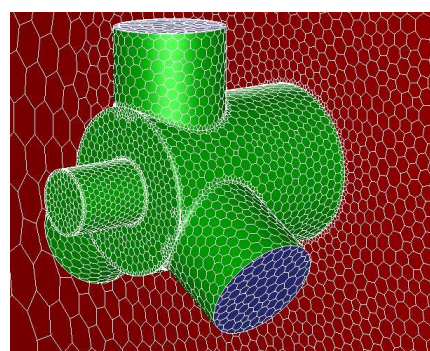
Rys.1. Model geometryczny kanałów wewnętrznych dyszy zraszająco-zawiruwającej



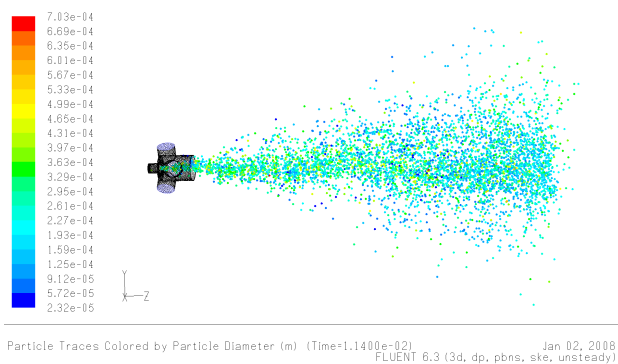
Rys.2. Dysza zraszająco-zawiruwająca produkcji „ZP Stalmet”



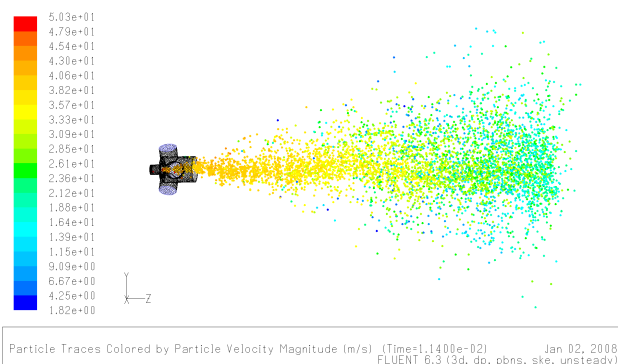
Rys.3. Siatka elementów skończonych modelu numerycznego dyszy zraszająco-zawiruwającej



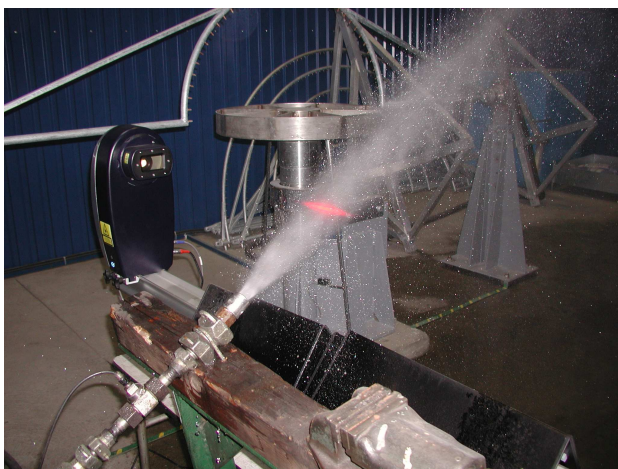
Rys.4. Siatka elementów skończonych kanałów wewnętrznych dyszy



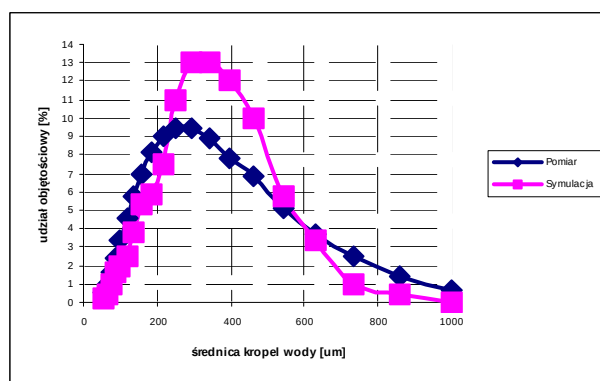
Rys.5. Rozkład średnic kropel wody



Rys.6. Rozkład prędkości kropel wody



Rys.7. Pomiar średnic kropel wody metodą dyfrakcji laserowej



Rys.8. Porównanie rozkładów średnic kropel wody (badania stanowiskowe – symulacja)

3.3. Model obliczeniowy

Analizę przeprowadzono przy zastosowaniu przestrzennego modelu obliczeniowego dla stanu nieustalonego. Założono występowanie przepływu turbulentnego oraz fazy dyskretnej w postaci kropeł wody. Obliczenia zostały wykonane dla ciśnienia wody 1,6 MPa.

3.4. Wyniki obliczeń

Wyniki obliczeń numerycznych przedstawiono na rysunkach 5 i 6 w postaci map rozkładów. Rozkłady średnic [m] i prędkości kropeł wody [m/s] przedstawiono dla chwili czasowej równej 0,0114 s.

4. Weryfikacja modelu numerycznego dyszy zraszająco-zawirującej

Weryfikacja modelu obliczeniowego dyszy dwuczynnikowej, polegała na porównaniu udziałów objętościowych średnic kropeł wody wyznaczonych z symulacji z pomiarem. Pomiar przeprowadzony został na stanowisku badawczym za pomocą specjalistycznej aparatury pomiarowej firmy Spraytec, wykorzystującej metodę dyfrakcji laserowej (rys. 7). Stanowisko badawcze składa się z następujących części: 1 – dysza powietrzno-wodna, 2 – aparatura pomiarowa.

Weryfikacja wyników obliczeń została przedstawiona na rysunku 8. Porównanie wyników obliczeń numerycznych z pomiarem przeprowadzono w odległości 200 mm od wylotu dyszy. Porównano udziały objętościowe w funkcji średnic kropeł wody.

5. Wnioski

W artykule przedstawiona została możliwość zastosowania programu Fluent do modelowania procesu powstawania areozolu powietrzno-wodnego w dyszach zraszająco-zawirujących. Na potrzeby modelowania przepływu dwufazowego (powietrze–woda) zastosowana została metoda Euler’a–Lagrange’a.

Z przeprowadzonych obliczeń numerycznych wynikają następujące wnioski:

- metoda Euler’a–Lagrange’a bardzo dobrze odzwierciedla proces powstawania mgły powietrzno-wodnej,
- dokładność odwzorowania cech konstrukcyjnych dyszy ma duży wpływ na zbieżność wyników obliczeń z pomiarem,
- wyniki badań modelowych mogą być wykorzystane przez projektantów w poszukiwaniu optymalnego rozwiązania konstrukcyjnego układów zwalczających zapylenie.

Literatura

1. Allmaras S.R., Spalart P.R.: A One-Equation Turbulence Model for Aerodynamic Flows. La Recherche Aerospaciale, No. 1, pp. 5-21, 1994.
2. Apsley D., Castro I.: A limited-length-scale $k-\epsilon$ model for the neutral and stably-stratified atmospheric boundary layer. Boundary-Layer Meteorology, Vol. 83, No. 1, pp. 75-98, 2004.
3. FLUENT 6.3. User's guide, Lebanon NH: Fluent Inc. 2007.
4. Guo-hai D., Zong Z.: A second order volume of fluid (VOF) scheme for numerical simulation of 2-D breaking waves. Journal of Marine Science and Application, Vol. 6, No. 2, pp. 1-5, 2007.
5. Hjertager B.H., Mathiesen V., Solberg T.: Predictions of gas/particle flow with an Eulerian model including a realistic particle size distribution. Powder Technology, Vol. 112, No. 1, pp. 34-45, 2000.
6. Kaczmarczyk K.: Analiza procesu zraszania dyszami inżektorowymi i strumieniowymi. Praca dyplomowa magisterska, Politechnika Śląska, Gliwice 2005.
7. Launder B.E., Reece G.J., Rodi W.: Progress in the Development of a Reynolds-Stress Turbulent Closure. Journal of Fluid Mechanics, Vol. 68(3), pp. 537-566, 1975.
8. Moin P., You D.: A dynamic global-coefficient subgrid-scale eddy-viscosity model for large-eddy simulation in complex geometries. Physics of Fluids, Vol. 19(6), pp. 65-110, 2007.
9. Prostański D., Rojek P.: Projektowanie, badania oraz próby eksploatacyjne instalacji zraszania powietrzno-wodnego do zwalczania zapylenia i zagrożeń metanowych, w kombajnie ścianowym typu KSW-460 NE. Maszyny Górnicze 4(108), Gliwice 2006.
10. Sztarbała G.: Symulacje komputerowe w projektowaniu wentylacji pożarowej. Inżynieria bezpieczeństwa pożarowego. Wybrane aspekty: Konferencja naukowo-techniczna, Zakopane, 21-24 października 2004.
11. Ungarish M.: Spin-up from rest of a mixture: numerical simulation and asymptotic theory. Journal of Fluid Mechanics, Vol. 246, pp. 443-464, 1996.

*Artykuł wpłynął do redakcji w marcu 2008 r.
Recenzent: prof.dr hab.inż. Teodor Winkler*

Prof.dr hab.inż. Marek JASZCZUK
Mgr inż. Arkadiusz PAWLIKOWSKI
Politechnika Śląska

Wpływ cech konstrukcyjnych stojaka na charakterystykę podatnościową sekcji obudowy zmechanizowanej

Streszczenie

W pracy przedstawiono metodę wyznaczania sprężystości stojaka hydraulicznego dwuteleskopowego. Przeanalizowano wpływ cech konstrukcyjnych stojaka na jego charakterystykę z uwzględnieniem trzech wariantów rozwiązania technicznego. W wyniku symulacji komputerowej kinematycznego wymuszenia ruchu stropnicy wyznaczono charakterystykę podatności sekcji obudowy zmechanizowanej, ze stojakami dwuteleskopowymi. Analizę przeprowadzono dla płaskiego modelu sekcji obudowy zmechanizowanej dla różnych wartości podporności wstępnej.

Summary

The method of determination of two-telescopic hydraulic leg elasticity was presented. Impact of leg design features on its characteristics with consideration of three variants of technical solutions was analyzed. Yield characteristics of powered roof support with two-telescopic legs was determined in a result of computer simulation of kinematic force of canopy movement. Analysis was carried out for a flat model of powered roof support for different setting loads.

1. Wprowadzenie

Na zachowanie się górotworu wokół wyrobiska ścianowego istotny wpływ ma charakterystyka podatnościowa sekcji obudowy zmechanizowanej. Fakt ten znajduje odzwierciedlenie w metodzie doboru podporności sekcji obudowy zmechanizowanej przy wykorzystaniu krzywych reakcji górotworu GRC [3]. Prognozowanie warunków uzyskania stanu równowagi stropowej bryły górotworu wymaga ustalenia związku pomiędzy przemieszczeniem skał stropowych a podpornością sekcji, wynikającą z jej podatności.

Charakterystyka podatnościowa sekcji obudowy zmechanizowanej zależy od podporności wstępnej [1, 2, 6, 8], objętości cieczy w przestrzeniach roboczych siłowników hydraulicznych, wynikającej z ich konstrukcji oraz wysokości ściany, a także od stopnia zapowietrzenia medium roboczego [6, 9].

W niniejszej pracy przedstawiono metodę wyznaczania sprężystości stojaka dwuteleskopowego, w zależności od wysokości użytkowania, dla całego zakresu stosowania sekcji. Wyznaczone charakterystyki sprężystości rzeczywistego stojaka dwuteleskopowego porównano z otrzymanymi na podstawie hipotetycznych założeń, odpowiadającymi stojakowi z przedłużaczem mechanicznym oraz jednoteleskopowemu o średnicy równej cylindrowi pierwszego stopnia. Ponadto uzyskane charakterystyki wykorzystano do wyznaczenia zależności podatności sekcji obudowy zmechanizowanej od kąta ugięcia bryły stropu bezpośredniego, przy zróżnicowanej podporności wstępnej w warunkach obciążenia statycznego.

2. Metodyka wyznaczania charakterystyki sprężystości stojaka hydraulicznego dwuteleskopowego

Sprężystość stojaka hydraulicznego wynika z objętości cieczy hydraulicznej wypełniającej przestrzenie robocze, zależnej od wymiarów geometrycznych stojaka (r_w , r_z) oraz wysokości słupa cieczy w przestrzeni podtłokowej, a także od współczynnika ściśliwości cieczy e_w . W przypadku stojaka jednoteleskopowego objętość cieczy równa jest iloczynowi powierzchni przekroju cylindra S oraz wysokości słupa cieczy w przestrzeni podtłokowej l_c . Wskaźnik charakteryzujący sprężystość stojaka jednoteleskopowego wyznacza się z zależności:

$$k_s = \frac{S}{e_w \cdot l_c} \quad (1)$$

W przypadku stojaka dwuteleskopowego objętość cieczy równa się sumarycznej objętości cieczy w poszczególnych stopniach. Zmienia się ona wraz z wysokością użytkowania sekcji i wynikającą z niej wysokością słupa cieczy w poszczególnych stopniach (rys. 1). Wartość wskaźnika sprężystości stojaka dwuteleskopowego k_z określa zależność:

$$k_z = \frac{S_1 \cdot S_2}{e_w \cdot (S_1 \cdot l_{c2} + S_2 \cdot l_{c1})} \quad (2)$$

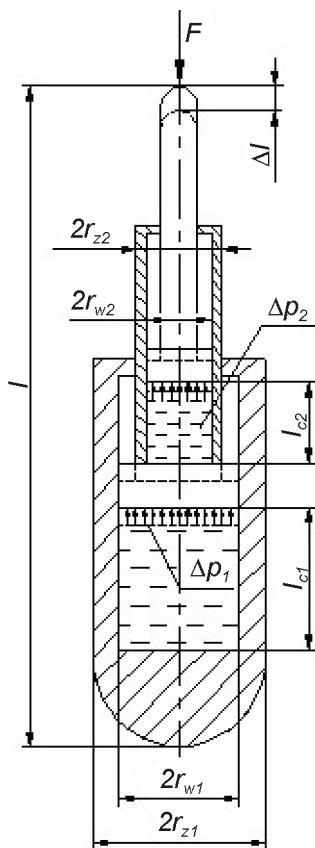
gdzie:

S_1 , S_2 – pole powierzchni przekroju, odpowiednio cylindra stopnia I i stopnia II

l_{c1} , l_{c2} – wysokość słupa cieczy w przestrzeni podtłokowej, odpowiednio stopnia I i stopnia II

Dla wybranego rozwiązania stojaka stosowanego w sekcji obudowy zmechanizowanej o zakresie wyso-

kości 1,5÷3,2 m przeprowadzono analizę wpływu cech konstrukcyjnych stojaka dwuteleskopowego na jego sprężystość.



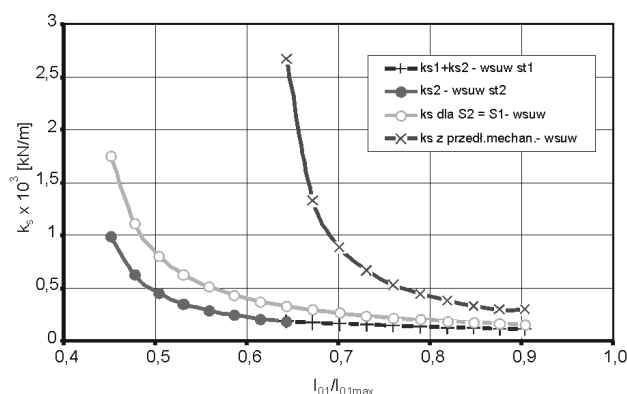
Rys.1. Schemat stojaka hydraulicznego dwuteleskopowego

W oparciu o zasadę pracy stojaka dwuteleskopowego z zaworem dennym w cylindrze drugiego stopnia, dla stałych wymiarów geometrycznych stojaka wyznaczono objętość cieczy w poszczególnych stopniach stojaka, w funkcji względnej wysokości rozparcia. Pod pojęciem względnej wysokości rozparcia rozumie się stosunek długości stojaka, przy danej wysokości ściany, do maksymalnej długości wynikającej z pełnego wysunięcia rdzenników obu stopni. W wyniku symulacji komputerowej wyznaczono charakterystykę sprężystości stojaka dwuteleskopowego w zależności od jego długości dla całego zakresu pracy stojaka $k_s = f(l/l_{max})$. Dodatkowo wyznaczono charakterystyki dla hipotetycznych stojaków przy uwzględnieniu następujących założeń:

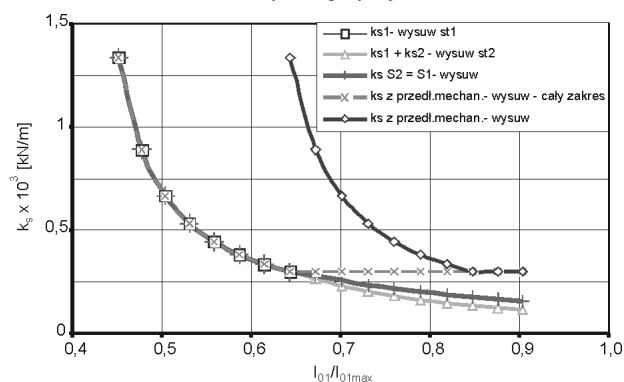
- przekrój słupa cieczy w całym zakresie wysuwu stojaka jest taki sam i jest równy polu powierzchni tłoka stopnia pierwszego,
- maksymalny zakres wysuwu stojaka jest równy wysuwowi stopnia pierwszego, a całkowitą długość stojaka, odpowiadającą maksymalnej wysokości sekcji obudowy, uzyskano dzięki zastosowaniu mechanicznego przedłużacza.

Ze względu na fakt, że przy wysuniętym rdzenniku drugiego stopnia zmienia się relacja długości wysunięcia rdzenników obu stopni, w zależności od tego czy

nastąpiło jego rabowanie czy też rozsuwanie. Na rysunku 2 przedstawiono powyższe charakterystyki uzyskane po fazie zsuwu stojaka hydraulicznego, a na rysunku 3 przedstawiono charakterystyki sprężystości otrzymane po fazie wysuwu stojaka hydraulicznego.



Rys.2. Charakterystyka sprężystości $k_s = f(l_{01}/l_{01max})$ stojaka dwuteleskopowego przy wsuwie



Rys.3. Charakterystyka sprężystości $k_s = f(l_{01}/l_{01max})$ stojaka dwuteleskopowego przy wysuwie

W trakcie rabowania stojaka, po wcześniejszym uzyskaniu pełnej długości, skróceniu ulega stopień pierwszy w zakresie długości względnej 0,9÷0,64. Wartość wskaźnika sprężystości zredukowanej stojaka zwiększa się wówczas nieznacznie o 72 kN/m (rys. 2). Dalsza zmiana długości stojaka następuje przy pełnym wsunięciu pierwszego stopnia wskutek zmiany długości stopnia drugiego, czemu odpowiada znaczny wzrost wskaźnika sprężystości, wynikającego z objętości medium w przestrzeni roboczej drugiego stopnia. Podobny przebieg ma charakterystyka dla stojaka jednoteleskopowego o średnicy cylindra równej stopniowi pierwszemu w całym zakresie wysuwu stojaka, lecz w tym przypadku wartość wskaźnika sprężystości stojaka w całym zakresie stosowania jest większa. Górna charakterystyka odpowiada stojakowi z przedłużaczem mechanicznym. Sprężystość stojaka jest wówczas najmniejsza, a zakres stosowania wynika z zakresu wysuwu stopnia pierwszego.

Inaczej przedstawia się charakterystyka uzyskana przy rozpięciu stojaka od długości minimalnej. W zakresie względnej długości wynoszącym 0,43÷0,64 niezależnie od rozwiązania konstrukcyjnego stojaka uzys-

kuje się jednakowy przebieg charakterystyki. Wynika to z faktu, że wówczas we wszystkich przypadkach wysuwany jest tylko pierwszy stopień. Przy dalszym rozpie-
raniu zmienia się wartość wskaźnika sprężystości w zależności od jego rozwiązania konstrukcyjnego.

3. Charakterystyki podatnościowe sekcji obudowy zmechanizowanej

Dla sekcji obudowy zmechanizowanej o zakresie wysokości 1,5÷3,2 m wyznaczono charakterystyki podatnościowe wynikające z kinematycznego wymuszenia ruchu stropnicy. W symulacji uwzględniono zróżnicowaną podporność wstępną w przestrzeniach podtłokowych obu stopni uzyskiwaną w trakcie rozpie-
rania.

Identyfikacja podporności sekcji, przy założeniu stałej objętości cieczy w przestrzeniach roboczych siłowników, wynikającej z ruchu stropnicy, wymaga wyznaczenia w pierwszej kolejności zmian długości stojaków hydraulicznych Δl_1 i podpory stropnicy Δl_3 na skutek ruchu wymuszającego [6]. W wyniku wsuwu stojaka i wynikającego z niego przyrostu ciśnienia cieczy Δp_i w poszczególnych stopniach zmniejsza się objętość cieczy w przestrzeniach roboczych zgodnie z następującymi zależnościami [10]:

$$\Delta V = \pi \cdot e_w \cdot \Delta p \cdot r_w^2 \cdot l_c \quad (3)$$

$$V' = V - \Delta V = \pi \cdot r_w^2 \cdot l_c \cdot (1 - e_w \cdot p) = \pi \cdot (r_w + u_w)^2 \cdot (l_c - \Delta l) \quad (4)$$

W przestrzeniach podtłokowych stopnia I i stopnia II stojaka, na skutek zmiany jego długości, następuje różny przyrost ciśnienia, wynikający z różnych powierzchni tłoków poszczególnych stopni stojaka. W stopniu II następuje multiplikacja ciśnienia wynikająca z ilorazu powierzchni tłoków.

$$\Delta p_2 = \Delta p_1 \cdot \frac{S_1}{S_2} \quad (5)$$

Przyrosty ciśnienia w przestrzeni roboczej obu stopni stojaków oraz podpory stropnicy wyznaczono z układu równań:

$$\left(\frac{R_{11w}}{S_1} + \Delta p \right) \cdot S_1 - \left(\frac{R_{11w}}{S_2} + \Delta p_2 \right) \cdot S_2 = 0$$

$$\Delta l_1 - \Delta l_{11} - \Delta l_{12} = 0$$

$$r_{w1}^2 \cdot l_{c1} \cdot (1 - e_w \cdot \Delta p_1) = \left[r_{w1} + \frac{\Delta p_1 \cdot r_{w1}}{E_c} \cdot \frac{\left(\frac{r_{z1}}{r_{w1}} \right)^2 + 1}{\left(\frac{r_{z1}}{r_{w1}} \right)^2 - 1} + v_c \right]^2 \cdot (l_{c1} - \Delta l_{11}) \quad (6)$$

$$r_{w2}^2 \cdot l_{c2} \cdot (1 - e_w \cdot \Delta p_2) = \left[r_{w2} + \frac{\Delta p_2 \cdot r_{w2}}{E_c} \cdot \frac{\left(\frac{r_{z2}}{r_{w2}} \right)^2 + 1}{\left(\frac{r_{z2}}{r_{w2}} \right)^2 - 1} + v_c \right]^2 \cdot (l_{c2} - \Delta l_{12})$$

$$(r_{w3}^2 - r_{t3}^2) \cdot l_{c3} \cdot (1 - e_w \cdot \Delta p_3) = \left[r_{w3} + \frac{\Delta p_3 \cdot r_{w3}}{E_c} \cdot \frac{\left(\frac{r_{z3}}{r_{w3}} \right)^2 + 1}{\left(\frac{r_{z3}}{r_{w3}} \right)^2 - 1} + v_c \right]^2 \cdot (l_{c3} - \Delta l_3)$$

gdzie:

- R_{11w} – podporność wstępną,
- S_1, S_2 – pole powierzchni tłoka stopnia I i stopnia II stojaka,
- S_3 – pole powierzchni tłoka podpory stropnicy,
- r_{w1}, r_{w2} – promień wewnętrzny cylindra stopnia I i stopnia II stojaka,
- r_{z1}, r_{z2} – promień zewnętrzny cylindra stopnia I i stopnia II stojaka,
- r_{w3} – promień wewnętrzny cylindra podpory stropnicy,
- r_{z3} – promień zewnętrzny cylindra podpory stropnicy,
- r_{t3} – promień rdzennika podpory stropnicy,
- l_{c1}, l_{c2}, l_{c3} – wysokość słupa cieczy w przestrzeniach roboczych,
- Δl_1 – wsuw stojaka hydraulicznego ($\Delta l_{11}, \Delta l_{12}$ – wsuw poszczególnych stopni),
- Δl_3 – wsuw podpory stropnicy,
- $\Delta p_1, \Delta p_2$ – przyrost ciśnienia w przestrzeniach roboczych na poszczególnych stopniach na skutek zmiany długości stojaka,
- Δp_3 – przyrost ciśnienia w przestrzeni roboczej podpory stropnicy na skutek zmiany długości podpory,
- e_w – współczynnik ściśliwości emulsji olejowo-wodnej,
- E_c, v_c – stałe materiałowe cylindra.

Przyrost siły w przestrzeni roboczej stojaka ΔR_1 jest opisany zależnością:

$$\Delta R_1 = \Delta p_1 \cdot S_1 = \Delta p_2 \cdot S_2 \quad (7)$$

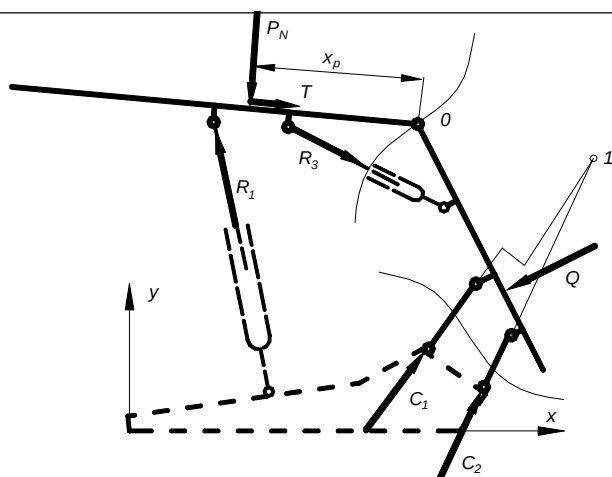
Wartość siły R_1 wynikająca z kinematycznego wymuszenia ruchu stropnicy jest sumą wartości przyrostu siły ΔR_1 i podporności wstępnej stojaka:

$$R_1 = R_{11w} + \Delta R_1 \quad (8)$$

Podobnie wyznacza się przyrost siły w podporze stropnicy ΔR_3 oraz jej wartość wynikającą z kinematycznego wymuszenia ruchu stropnicy R_3 .

Model obciążenia sekcji obudowy zmechanizowanej, służący do wyznaczenia sił wewnętrznych dla zadanego obciążenia zewnętrznego przedstawiono na rysunku 4.

W celu wyznaczenia składowej pionowej obciążenia zewnętrznego P_N oraz współrzędnej punktu jej przyłożenia na stropnicy x_p zastosowano metodę przecięć. Uzyskano dwa równania równowagi w postaci sumy momentów odpowiednio względem punktów 0 i 1.



Rys.4. Model obciążenia sekcji obudowy zmechanizowanej [6]

$$\Sigma M_{i0} = 0$$

$$2R_1 \cdot [a_1 \cdot \sin(\alpha_5) + (w_1 - w_a) \cdot \cos(\alpha_5)] + \\ - R_3 \cdot [a_3 \cdot \sin(\alpha_6) + (w_3 - w_a) \cdot \cos(\alpha_6)] - P_N \cdot x_p = 0$$

$$\Sigma M_{i1} = 0 \quad (9)$$

$$2R_1 \cdot [(x_1 - x_a + a_1) \cdot \sin(\alpha_5 + \alpha_4) - \\ (y_a + w_a - w_1 - y_1) \cdot \cos(\alpha_5 + \alpha_4)] + \\ - P_N \cdot [(x_1 - x_a + x_p \cdot \cos \alpha_4) \cdot \cos \alpha_4 + \\ (y_a + x_p \cdot \sin \alpha_4 - y_1) \cdot \sin \alpha_4] + \\ - Q \cdot [(x_1 - x_Q) \cdot \cos \alpha_4 + (y_Q - y_1) \cdot \sin \alpha_4] + \\ + \mu \cdot P_N \cdot [(y_a + x_p \cdot \sin \alpha_4 - y_1) \cdot \cos \alpha_4 - \\ (x_1 - x_a + x_p \cdot \cos \alpha_4) \cdot \sin \alpha_4] = 0$$

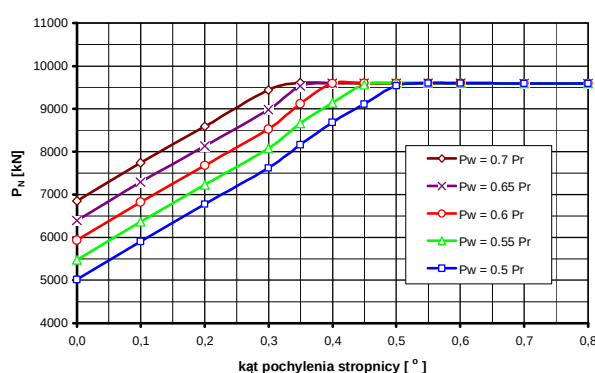
Na podstawie powyższych równań można wyznaczyć charakterystyki podporności sekcji obudowy zmechanizowanej w zależności od przyjętego wymuszenia kinematycznego w postaci kąta ugięcia bryły stropu bezpośredniego α_4 dla poszczególnych wysokości stosowania. Należy przy tym uwzględnić wartości wskaźnika sprężystości dla długości stojaka odpowiadającej danej wysokości ścian.

Zmienne opisujące geometrię sekcji obudowy zmechanizowanej wyznacza się jednoznacznie na podstawie identyfikacji dwóch wielkości geometrycznych, które zmieniają się w trakcie ruchu stropnicy, wymuszonego przemieszczeniem stropu wyrobiska ścianowego [4, 5].

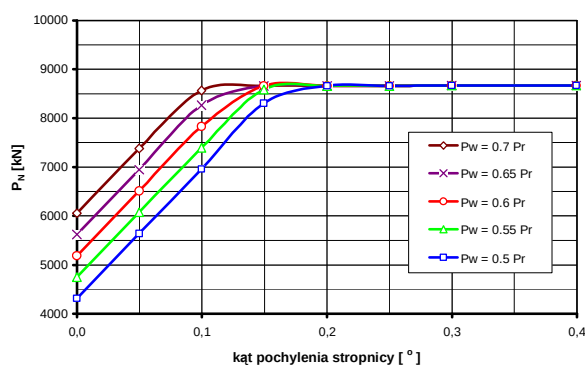
Nacisk skał tworzących zawal na osłonę odzawalową sekcji obudowy zmechanizowanej Q wyznacza się w zależności od kształtu i wymiarów stropowej bryły górotworu, wynikających z wysokości ścian, jak i właściwości skał tworzących strop bezpośredni i strop zasadniczy [7].

Na rysunkach 5 i 6 przedstawiono charakterystyki podatności sekcji obudowy dla wysokości użytkowania wynoszącej odpowiednio 2,9 m i 2,0 m, w przypadku niezapowietrzonego medium roboczego przy

różnych wartościach podporności wstępnej. Przedstawione charakterystyki dowodzą, że w przypadku sekcji obudowy zmechanizowanej wyposażonej w stojaki dwuteleskopowe, wysokość użytkowania i podporność wstępna istotnie wpływają na charakterystykę podatności sekcji obudowy. Przy wysokości użytkowania sekcji równej 2,0 m jej podatność jest zdecydowanie mniejsza, co sprawia, że dla tej samej wartości podporności wstępnej podporność roboczą uzyskuje się przy kącie ugięcia stropu około dwukrotnie mniejszym w porównaniu z wysokością 2,9 m. Wpływ podporności wstępnej jest także uzależniony od wysokości użytkowania sekcji. Przy tej samej relacji podporności wstępnej do podporności roboczej w górnym zakresie wysokości użytkowania sekcji uzyskuje się większą podatność w wyniku zmniejszenia podporności wstępnej.



Rys.5. Charakterystyki podpornościowe sekcji dla wysokości $H = 2,9$ m i $e_w = 5 \cdot 10^{-4} \text{ MPa}^{-1}$ uwzględniające zmienność podporności wstępnej



Rys.6. Charakterystyki podpornościowe sekcji dla wysokości $H = 2,0$ m i $e_w = 5 \cdot 10^{-4} \text{ MPa}^{-1}$ uwzględniające zmienność podporności wstępnej

4. Podsumowanie

Cechy konstrukcyjne stojaków hydraulicznych mają istotny wpływ na ich sprężystość, której wyznacznikiem jest wskaźnik sprężystości. Z punktu widzenia podatności najmniej korzystnym rozwiązaniem jest stosowanie stojaków z przedłużaczem mechanicznym.

W przypadku stojaków dwuteleskopowych ważnym czynnikiem jest relacja wysunięcia pierwszego i drugiego stopnia, wynikająca zarówno z wysokości użytkowania sekcji obudowy zmechanizowanej, jak i sekwencji rabowania i rozpierania sekcji poprzedzającej analizo-

wany przypadek obciążenia sekcji obudowy. Ma to szczególnie istotne znaczenie w sytuacji pełnego wysunięcia drugiego stopnia i częściowego stopnia pierwszego, co w praktyce występuje jednak bardzo rzadko (rys. 2). Wówczas przy tej samej wysokości użytkowania podatność sekcji jest mniejsza w porównaniu z pełnym wysunięciem stopnia pierwszego i częściowym stopnia drugiego. Fakt ten należy uwzględnić przy wyznaczaniu charakterystyk podatnościowych sekcji ze stojakami dwuteleskopowymi. Na przebieg tych charakterystyk istotnie wpływa podporność wstępna w powiązaniu z wysokością użytkowania sekcji obudowy.

Literatura

1. Biliński A.: Zasady utrzymania wyrobiska w ścianach zawałowych. Prace GIG, Katowice 1992.
2. Biliński A.: Metody doboru obudowy ścianowych wyrobisk wybierkowych i chodnikowych do warunków pola eksploatacyjnego. Prace naukowe – Monografie CMG KOMAG, Gliwice 2005.
3. Jaszczuk M.: Ścianowe systemy mechanizacyjne. Wydawnictwo Naukowe Śląsk, Katowice 2007
4. Jaszczuk M., Markowicz J., Pawlikowski A.: Modelowanie dynamicznego oddziaływania górotworu na sekcję obudowy zmechanizowanej z wykorzystaniem zasady kinetostatyki. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Seria: Górnictwo, 2004.
5. Jaszczuk M., Markowicz J., Pawlikowski A.: Wyznaczanie przebiegów czasowych składowych wektora obciążenia dynamicznego sekcji obudowy zmechanizowanej KOMTECH 2004, Ustroń, 15-17 listopad 2004.
6. Jaszczuk M., Pawlikowski A.: Charakterystyki podpornościowe sekcji obudowy zmechanizowanej. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Seria: Górnictwo, 2006.
7. Jaszczuk M. Pawlikowski A.: Oszacowanie wartości nacisku skał tworzących zawał na osłonę odzawałową sekcji obudowy zmechanizowanej. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Seria: Górnictwo, 2006.
8. Kidybiński A.: Podstawy geotechniki kopalnianej. Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice 1982.
9. Rajwa S.: Wpływ konstrukcji stojaka hydraulicznego w ścianowej obudowie zmechanizowanej na utrzymanie stropu. Praca doktorska. Katowice 2004 (praca nie publikowana).
10. Szweda S.: Identyfikacja parametrów charakteryzujących obciążenie sekcji obudowy zmechanizowanej spowodowane dynamicznym oddziaływaniem górotworu. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Gliwice, 2004.

Artykuł wpłynął do redakcji w marcu 2008 r.
Recenzent: prof.dr inż. Włodzimierz Sikora

Czy wiesz, że...

...od początku 2007 roku trwa koniunktura na węgiel. W związku z tym ceny węgla energetycznego i koksowego wzrosły o 100%. W roku 2008 nie przewiduje się wielkich skoków, ale cena węgla będzie wysoka i stabilna, jak twierdzi prezes Górniczej Izby Przemysłowo-Handlowej. Polski węgiel, choć zdrożał o 11%, nadal jest zbyt tani i jest go za mało, aby na nim zarabiać, dlatego też eksport węgla będzie ograniczany.

Rzeczpospolita 28 lutego 2008 r. B16

Mgr inż. Dariusz JASIULEK
Centrum Mechanizacji Górnictwa KOMAG
Prof.dr hab.inż. Jerzy ŚWIDER
Politechnika Śląska

Wirtualne prototypowanie układu sterowania kombajnu chodnikowego

Streszczenie

Wdrożenie inteligentnego układu sterowania kombajnu chodnikowego wiąże się z koniecznością prowadzenia długotrwałych i kosztownych badań. Aby maksymalnie ograniczyć koszty i czas wdrażania systemu zastosowane zostanie nowatorskie podejście, polegające na zastosowaniu metod wirtualnego prototypowania. Zbudowany zostanie wirtualny model kombajnu wraz z otaczającym wyrobiskiem, który następnie zostanie sprzężony z rzeczywistym sterownikiem PLC. Model wirtualny przestrzeni roboczej kombajnu pozwoli, między innymi, na uwzględnianie zmian właściwości urabianej skały i symulację reakcji maszyny. Prowadzenie badań symulacyjnych na modelu pozwoli na efektywną weryfikację i korektę algorytmu i programu sterującego kombajnem chodnikowym, zdecydowanie skracając czas wdrażania układu sterowania na rzeczywistej maszynie.

Summary

Implementation of intelligent roadheader control system is associated with a necessity of long and expensive tests. New approach consisting in use of virtual prototyping, which will be then coupled with a real PLC controller, will be applied to limit maximally cost and time of system implementation. Virtual model of roadheader operational area will enable, among others, to include the changes of properties of cut rock and simulation of machine reaction. Simulation tests, carried out on the model, will enable an effective verification and correction of algorithm and control software what can reduce time of implementation of the control system in a real machine.

1. Wstęp

W polskim górnictwie ponad 92% wyrobisk korytarzowych wykonywanych jest obecnie technologią mechaniczną, głównie poprzez frezowanie punktowe, przy użyciu kombajnów chodnikowych. Prognozy na najbliższe lata zakładają konieczność drażenia od 500 do 700 km wyrobisk korytarzowych rocznie [1]. Konieczność udostępniania pokładów węgla na coraz większych głębokościach powoduje wzrost trudności drażenia, wobec:

- wymogu drażenia wyrobisk o większych przekrojach, niezbędnych w celu zapewnienia odpowiedniej wentylacji, przy rosnącej z głębokością temperaturze skał,
- zwiększenia więźności i wytrzymałości skał na jednoosiowe ściskanie.

Tendencje w światowym górnictwie wskazują na konieczność budowy układu sterowania [4], który pomoże usprawnić prace związane z drażeniem wyrobiska chodnikowego. Uwzględniając specyfikę tych prac można stwierdzić, że nie jest możliwe całkowite wycofanie człowieka – operatora - z rejonu pracy maszyny, chociażby ze względu na czynności związane z zabudową wyrobiska. Wprowadzenie układu automatyki, który będzie kontrolował parametry pracy kombajnu i wspomagał profilowanie obrysu wyrobiska powinno jednak przynieść istotne korzyści, jak m.in. [3]:

- uniemożliwienie przekraczania dopuszczalnych obciążeń napędów, zwiększające ich żywotność i ograniczające liczbę awarii,
- poprawa efektywności drażenia,
- zmniejszenie energochłonności maszyny,
- zwiększenie precyzji wykonania pożądanego profilu wyrobiska.

Wdrożenie inteligentnego układu sterowania kombajnu chodnikowego wiąże się z koniecznością prowadzenia długotrwałych i kosztownych badań. Aby maksymalnie ograniczyć koszty i czas wdrażania systemu, zastosowane zostanie nowatorskie podejście, polegające na zastosowaniu metod wirtualnego prototypowania. Zbudowany zostanie komputerowy model kombajnu wraz z otaczającym wyrobiskiem, który następnie zostanie sprzężony z rzeczywistym sterownikiem PLC. Model przestrzeni roboczej kombajnu pozwoli, między innymi, na uwzględnianie zmian właściwości urabianej skały i symulację reakcji maszyny. Prowadzenie badań symulacyjnych na modelu pozwoli na efektywną weryfikację i korektę algorytmu i programu sterującego kombajnem chodnikowym, zdecydowanie skracając czas wdrażania układu sterowania na rzeczywistej maszynie. Opracowana metoda połączenia rzeczywistego sterownika z komputerowym modelem maszyny będzie również przydatna w celu realizacji innych zadań, np. budowy stanowiska szkoleniowego dla operatorów maszyny.

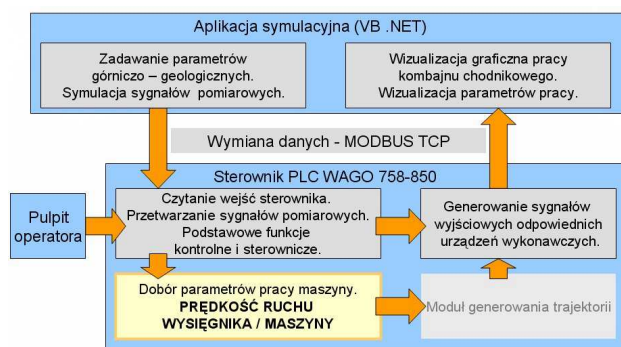
W celu realizacji przedstawionego zadania przewidyje się:

- opracowanie wirtualnego środowiska pracy kombajnu chodnikowego z interfejsem operatora, zapewniającym łatwość zadawania parametrów wyrobiska,
- opracowanie metody sprzężenia rzeczywistego sterownika z wirtualnym modelem maszyny i środowiska pracy,
- opracowanie algorytmu i programu sterującego kombajnem, wykorzystującego metody sztucznej inteligencji w celu pełnej analizy warunków pracy,
- prowadzenie symulacji urabiania kombajnem chodnikowym przy różnych warunkach górniczo-geologicznych w wyrobisku, a także dokonanie korekty i weryfikacji algorytmu.

2. Struktura stanowiska badawczego

Zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 1 zbudowane w celu realizacji postawionego celu stanowisko badawcze składać się będzie z dwóch podstawowych części – aplikacji symulacyjnej oraz sterownika PLC. Wymiana informacji pomiędzy sterownikiem PLC a aplikacją symulacyjną będzie się odbywać poprzez protokół MODBUS TCP.

Dodatkowym elementem wchodzącym w skład stanowiska badawczego jest pulpit operatora. Pulpit będzie wykonany w końcowym etapie realizacji zadania i zostanie zbudowany na wzór rzeczywistego pulpitu kombajnu chodnikowego.



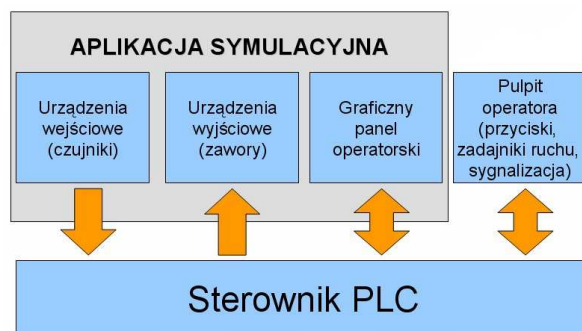
Rys.1. Struktura stanowiska badawczego

2.1. Aplikacja symulacyjna

Aplikacja symulacyjna będzie się składać z dwóch podstawowych modułów:

- modułu zadawania parametrów górniczo-geologicznych oraz symulacji sygnałów pomiarowych – moduł ten będzie zawierał algorytm opisujący zdarzenia zachodzące w wyrobisku (przy założeniu pewnych uproszczeń),
- modułu wizualizacji graficznej pracy kombajnu chodnikowego oraz modułu wizualizacji parametrów pracy – moduły te zostaną wykonane z wykorzystaniem oprogramowania EON Studio, które pozwala na tworzenie interaktywnych symulacji 3D.

Na rysunku 2 przedstawiono zakres, jaki obejmie aplikacja symulacyjna w stosunku do standardowego układu sterowania, opartego na sterowniku PLC.



Rys.2. Zakres aplikacji symulacyjnej

Moduł doboru parametrów górniczo-geologicznych oraz symulacji sygnałów pomiarowych będzie spełniać podstawową rolę w całym układzie symulacji. Moduł ten będzie zawierał algorytmy, opisujące – w uproszczeniu – zjawiska zachodzące w wyrobisku chodnikowym. W trakcie symulacji zostaną wykorzystane wartości parametrów, zarejestrowane w rzeczywistym procesie urabiania. Wartości te będą miały wpływ na sygnały pomiarowe, wprowadzane do sterownika PLC. Sygnały pomiarowe będą generowane w postaci odpowiadającej sygnałom z rzeczywistych czujników, zainstalowanych na kombajnie chodnikowym. Moduł będzie symulował, między innymi takie parametry, jak [2]:

- ciśnienie:** – w komorze pod i nadłokowej siłowników podnoszenia wysięgnika,
– w komorze pod i nadłokowej siłowników obrotu wysięgnika,
– w układzie jazdy,

- natężenie prądu:** – silnika organu urabiającego,
– silnika pompy hydraulicznej,

- temperatura:** – silnika organu urabiającego,
– silnika pompy hydraulicznej,
– medium hydraulicznego,

parametry określające położenie siłowników hydraulicznych i kombajnu.

Wymienione parametry są niezbędne do realizacji automatycznego doboru parametrów pracy maszyny, optymalizującego energochłonność i wydajność urabiania. Konieczna jest ich bieżąca znajomość i ciągła archiwizacja. Parametry te są obecnie powszechnie mierzone w większości maszyn. Wyniki pomiarów nie są jednak bezpośrednio wykorzystywane do sterowania, a służą jedynie jako informacja dla operatora.

Proces budowy aplikacji sprowadza się do następujących kroków:

- budowa modelu 3D kombajnu chodnikowego oraz wyrobiska – w stopniu szczegółowości umożliwiającym przedstawienie niezbędnej funkcjonalności kombajnu, a jednocześnie pozwalającym na sprawne i szybkie prowadzenie symulacji komputerowych,

- przekształcenie standardowego modelu 3D na plik EON Studio w formacie EOZ; modelowi zostaną nadane odpowiednie wiązania oraz zależności ruchowe; wprowadzone zostaną komendy umożliwiające zadawanie odpowiednich parametrów z zewnątrz aplikacji (między innymi zadawanie odpowiednich wartości wysunięć siłowników hydraulicznych),
- implementacja w aplikacji symulacyjnej specjalnej przeglądarki plików EOZ oraz osadzenie pliku z modelem kombajnu,
- przygotowanie procedur obsługi współpracy aplikacji symulacyjnej z plikiem EOZ,
- wykonanie funkcji przekształcających sygnał ze sterownika PLC na odpowiednie wielkości fizyczne przekazywane do modelu 3D (wartości wysunięcia poszczególnych siłowników, współrzędne położenia kombajnu w wyrobisku).

Dodatkowo aplikacja symulacyjna będzie spełniać takie funkcje, jak:

- obsługa komunikacji po protokole MODBUS TCP (odczyt i zapis do odpowiednich miejsc pamięci sterownika PLC),
- przekazywanie informacji o geometrii wybranego wyrobiska,
- przekazywanie informacji o stałych parametrach geometrycznych kombajnu.

2.2. Sterownik PLC

W procesie budowy stanowiska badawczego zostanie wykorzystany sterownik PLC WAGO IPC 758-850 (rys. 3). Sterownik ten posiada, między innymi, następujące zalety:

- środowisko programowania zawierające języki programowania zgodne z normą IEC 61131-3, a także rozbudowane możliwości debuggowania,
- parametry pracy zbliżone do możliwości komputera przemysłowego, z uwagi na to, że jest on wyposażony w system operacyjny LINUX czasu rzeczywistego (RT LINUX),
- rozbudowane możliwości komunikacyjne (MODBUS TCP, UDP, PROFIBUS, RS232),
- możliwość komunikacji poprzez HTTP, FTP,
- możliwość instalacji karty CF do zapisu danych pomiarowych.

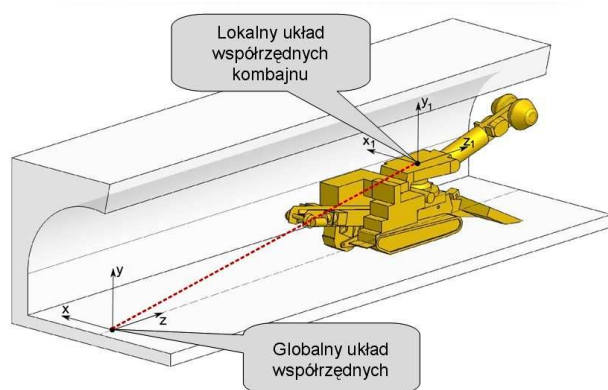


Rys.3. Widok sterownika WAGO IPC 758-850

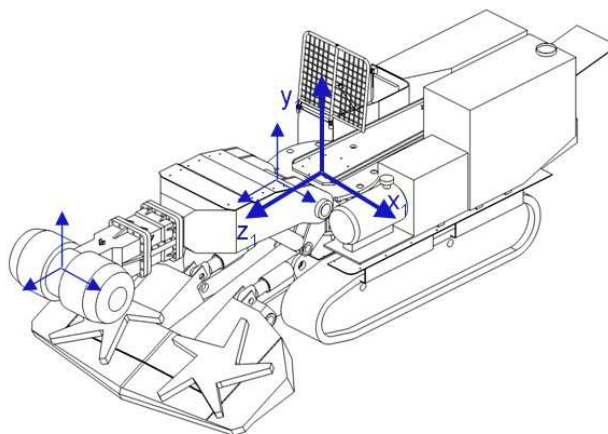
Zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 1 sterownik realizuje pewien zakres podstawowych funkcji sterowniczych i kontrolnych. W skład tych funkcji będzie wchodzić:

- funkcja obliczająca bieżące współrzędne środka głowicy urabiającej na podstawie informacji z czujników zainstalowanych w mechanizmie podnoszenia i obrotu (w układzie lokalnym kombajnu),
- funkcja obliczająca bieżące współrzędne głowicy w przestrzeni wyrobiska (w układzie globalnym),
- generowanie sygnałów sterujących siłownikami,
- kontrola parametrów silników, blokady, wyłączenia.

Budowa podstawowych funkcji sterowniczych i kontrolnych jest niezbędna, aby móc przystąpić do opracowania zaawansowanych modułów sterowania kombajnem, takich jak moduł doboru parametrów pracy i moduł generowania trajektorii urabiającej. Na rysunkach 4 i 5 zostały przedstawione globalny i lokalny (kombajnu) układy współrzędnych.



Rys.4. Układy współrzędnych w przestrzeni wyrobiska



Rys.5. Lokalne układy współrzędnych kombajnu

Moduł doboru parametrów pracy kombajnu chodnikowego będzie realizować następujące zadania:

- uzyskiwanie zadanego kształtu wyrobiska (ograniczanie ruchu głowicy poza zaprogramowany obrys, precyzyjne profilowanie obrysu, ewentualne zapewnianie płaskości czoła przodka),

- prowadzenie głowicy zgodnie z wybranym wzorcem trajektorii,
- sterowanie prędkością urabiania (poprzez prędkość ruchu wysięgnika kombajnu) w sposób ograniczający przeciążenia i zużycie maszyny oraz poprawiający efektywność urabiania,
- analiza zależności między mocą silnika organu a wydajnością urabiania oraz kontrola stopnia zużycia noży urabiających.

3. Podsumowanie – wnioski

Etap wirtualnego prototypowania wydaje się nieodzowny w przypadku kombajnu chodnikowego. Zbudowa doświadczalnego sterownika na obiekcie rzeczywistym wymaga bowiem zmian w całym układzie hydraulicznym i elektrycznym kombajnu.

Badania symulacyjne pozwolą na uniknięcie wielu błędów, które mogłyby powstać podczas tradycyjnego projektowania układu sterowania. Prowadzenie badań symulacyjnych na opracowanym modelu pozwoli w szybki i tani sposób na weryfikację algorytmu i programu sterującego kombajnem chodnikowym. Wyniki symulacji umożliwią wprowadzenie korekt w programie i skrócą czas wdrażania układu sterowania w rzeczywistej maszynie.

Budowany układ sterowania kombajnu chodnikowego zostanie wykonany jako układ adaptacyjny, reagujący na szybko zachodzące zmiany w przestrzeni roboczej maszyny. Zastosowane zostaną metody sztucznej inteligencji, wspomagające analizę warunków pracy maszyny (rodzaj urabianej skały, wielkość wyrobiska, głębokość zabioru), ułatwiające wyciąganie wniosków, dotyczących zmian nastaw parametrów pracy.

Wykorzystanie opracowanego stanowiska badawczego do budowy stanowiska szkoleniowego dla operatorów maszyny może zapewnić warunki szkoleniowe, zgodne z współczesnymi standardami i trendami w tym obszarze.

Literatura

1. Kotwica K.: Kierunki rozwoju technologii i technik mechanizacyjnych stosowanych do drążenia wyrobisk korytarzowych udostępniających i przygotowawczych w polskich kopalniach węgla kamiennego. Materiały na konferencje KOMTECH 2007 „Innowacyjne i bezpieczne urządzenia dla górnictwa węgla kamiennego”, Szczyrk 2007.
2. Jonak J., Prostański D., Dudek M., Jasiulek D., Rogala J.: Model matematyczny trajektorii głowicy urabiającej kombajnu chodnikowego. Materiały na konferencje KOMTECH 2007 „Innowacyjne i bezpieczne urządzenia dla górnictwa węgla kamiennego”, Szczyrk 2007.
3. Jasiulek D., Tejszerski J., Jendrysik S., Świder J., Rogala J.: Model adaptacyjnego układu sterowania drążenia wyrobiska chodnikowego za pomocą kombajnu. Materiały na konferencję: KOMTECH 2006 „Innowacyjne i bezpieczne systemy mechanizacyjne do eksploatacji surowców mineralnych”, t. 1, Zakopane, 14-16 listopada 2006 s. 217-224.
4. Gerer R., Lammer E., Sifferlinger N. A., Wels F.: Bezpieczne maszyny górnicze firmy Voest Alpine Bergtechnik GmbH. Systemy ograniczające zagrożenia w procesach eksploatacji maszyn i urządzeń. KOMTECH, Zakopane 2005.

Artykuł wpłynął do redakcji w marcu 2008 r.

Recenzent: prof.dr hab.inż. Teodor Winkler

Dr inż. Mariusz OSOBA
Centrum Mechanizacji Górnictwa KOMAG

Nowe osadzarki wodne pulsacyjne KOMAG w instalacjach do przeróbki węgla kamiennego i kruszyw mineralnych

Streszczenie

W artykule pokazano nowe zastosowania wodnych osadzarek pulsacyjnych KOMAG do przeróbki węgla kamiennego i kruszyw mineralnych. Opisano możliwości ich współpracy z systemami sterowania różnych producentów. Przedstawiono ich podstawowe parametry techniczne. Omówiono wyniki pracy osadzarki wydzielającej zanieczyszczenia organiczne z nადawy żwirowo-piaskowej w warunkach kopalni kruszyw.

Summary

New applications of KOMAG pulsation water jigs for hard coal and mineral aggregates processing were presented in the paper. Possibilities of their cooperation with the control systems of different manufacturers were described. Their technical parameters were given. Results of tests of jig's operation, which separates organic impurities from gravel-an-sand feed in conditions of minerals aggregates mine, were discussed.

1. Wstę

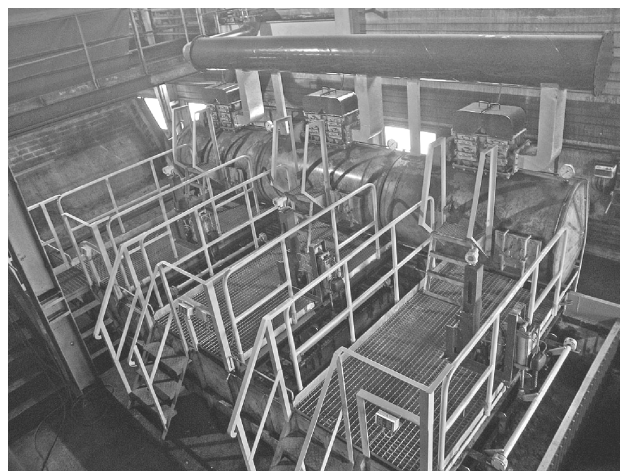
W zakładach przeróbczych węgla kamiennego i kopalniach kruszyw mineralnych powszechnie stosowanymi urządzeniami do rozdziału kopaliny surowej są wodne osadzarki pulsacyjne. Z uwagi na swą uniwersalność, tj. szeroki zakres pozyskiwanej klasy ziarnowej oraz stosunkowo niskie koszty eksploatacji [2], w porównaniu z innymi urządzeniami wzbogacającymi, osadzarki stosuje się do wzbogacania węgla surowego w klasach ziarnowych 120(200)-20(50) mm – osadzarki ziarnowe, 50-0,5 mm – osadzarki średnio ziarnowe i 20-0,5 mm – osadzarki miałowe, oraz do pozyskiwania żwiru, w klasie ziarnowej 16(32)–2(0) mm, z równoczesnym wydzielaniem zanieczyszczeń organicznych i mineralnych. Dobór odpowiedniego urządzenia do tych procesów uzależniony jest od uziarnienia i składu grawimetrycznego materiału wejściowego oraz występujących w nim rodzajów zanieczyszczeń (odpadów).

Osadzarki typu KOMAG mogą współpracować z aktualnie dostępnymi na polskim rynku systemami sterowania, produkowanymi i dostarczonymi przez takie firmy, jak: CEiAG EMAG Katowice [1], PPUH MICRO Otmuchów czy Zakład Automatyki BGG Katowice [4], według decyzji inwestora. W najbliższym czasie możliwości wyboru zostaną rozszerzone, gdyż w CMG KOMAG trwają zaawansowane prace nad opracowaniem nowego systemu, który w przyszłości powinien stanowić integralną część osadzarek KOMAG (prototypowy układ pracuje od kilku miesięcy w KWK „Pniówek”). W chwili obecnej w zakres opracowania dokumentacji technicznej nie wchodzi dokumentacja systemu sterowania, który jest wydawany w wykazach zespołów osadzarki jako element handlowy. W związku z tym producent systemu sterowania powinien być znany w momencie rozpoczęcia wykonywania dokumentacji osadzarki przez CMG KOMAG, celem dosto-

sowania rozwiązań konstrukcyjnych, co gwarantuje jej poprawną pracę pod względem jakości uzyskiwanych produktów wzbogacania węgla oraz oczyszczania żwiru z zanieczyszczeń organicznych i mineralnych.

2. Nowe osadzarki do przeróbki węgla kamiennego

Na rysunku 1 pokazano osadzarkę miałową OM20 ze stali nierdzewnej w KWK „Rydułtowy-Anna”, z systemem sterowania BOSS 2000 zaprojektowanym przez CEiAG EMAG z Katowic, wyprodukowaną przez firmę WRĘBOWA Sp. z o.o. w Rybniku. Jej parametry techniczne przedstawiono w tabeli 1. W osadzarce tej zastosowano pneumatycznie sterowane pulsacyjne zawory talerzowe dozujące powietrze robocze do poszczególnych przedziałów osadzarki oraz pneumatycznie sterowane układy odbioru produktów ciężkich [3].



Rys.1. Widok osadzarki OM20 w KWK „Rydułtowy-Anna”

Na rysunku 2 pokazano osadzarkę miałową OM30 w KWK „Szczygłowice” z systemem sterowania wyko-

nanym przez ZA BGG z Katowic, wyprodukowaną przez WAMAG S.A. w Wałbrzychu. Jej parametry techniczne zawarto w tabeli 2. W osadzarce tej zastosowano pneumatycznie sterowane pulsacyjne zawory tarczowe dozujące powietrze robocze do poszczególnych przedziałów osadzarki oraz hydraulicznie sterowane układy odbioru produktów ciężkich.

**Parametry techniczne osadzarki OM20
w KWK „Rydułtowy-Anna”**

Tabela 1

Parametr	Jednostka	Wielkość
Wydajność	t/h	250–500
Ilość przedziałów roboczych	szt.	3
Wymiary przedziałów roboczych (dł. x szer.)	m	2,3x2,9
Całkowita powierzchnia robocza	m ²	20
Powietrze robocze: - zapotrzebowanie - ciśnienie	m ³ /min MPa	80–90 0,030–0,035
Woda dolna: - zapotrzebowanie - ciśnienie	m ³ /h bar	400–800 ¹⁾ 1,0
Zasilanie elektryczne: - system elektronicznego sterowania	kW/V	0,5/230
Wymiary skrzyni dolnej (dł. x szer. x wys.)	m	2,3x3,2x2,1
Wymiary osadzarki (dł. x szer. x wys.)	m	6,9x3,2x5,8
Masa osadzarki	t	25,90
¹⁾ wielkość zależna od wydajności osadzarki		



Rys.2. Widok osadzarki OM30 w KWK „Szczygłowiec”

**Parametry techniczne osadzarki OM30
w KWK „Szczygłowiec”**

Tabela 2

Parametr	Jednostka	Wielkość
Wydajność	t/h	500–600
Ilość przedziałów roboczych	szt.	6
Wymiary przedziałów roboczych (dł. x szer.)	m	2,5x2,4
Całkowita powierzchnia robocza	m ²	30
Powietrze robocze: - zapotrzebowanie - ciśnienie	m ³ /min. MPa	125 0,030–0,035

Woda dolna: - zapotrzebowanie - ciśnienie	m ³ /h bar	400–800 ¹⁾ 1,0
Zasilanie elektryczne: - stacja hydrauliczna - system elektronicznego sterowania	kW/V	2x3/500 0,5/230
Wymiary skrzyni dolnej (dł. x szer. x wys.)	m	2,5x2,68x2,6
Wymiary osadzarki (dł. x szer. x wys.)	m	7,5x6,68x5,68
Masa osadzarki	t	61,84
¹⁾ wielkość zależna od wydajności osadzarki		

W tabeli 3 przedstawiono parametry techniczne osadzarki miałowej OM30, a w tabeli 4 osadzarki ziarnowej OZ18 w KWK „Halemba”, z systemem sterowania wykonanym przez ZA BGG z Katowic, wyprodukowanej przez WAMAG S.A. w Wałbrzychu. W obu osadzarach zastosowano hydraulicznie sterowane pulsacyjne zawory tarczowe dozujące powietrze robocze do poszczególnych przedziałów osadzarki oraz hydraulicznie sterowane układy odbioru produktów ciężkich.

**Parametry techniczne osadzarki OM30
w KWK „Halemba”**

Tabela 3

Parametr	Jednostka	Wielkość
Wydajność	t/h	500–600
Ilość przedziałów roboczych	szt.	6
Wymiary przedziałów roboczych (dł. x szer.)	m	2,5x2,2
Całkowita powierzchnia robocza	m ²	30
Powietrze robocze: - zapotrzebowanie - ciśnienie	m ³ /min MPa	130 0,030–0,035
Woda dolna: - zapotrzebowanie - ciśnienie	m ³ /h bar	700–900 ¹⁾ 1,0
Zasilanie elektryczne: - stacja hydrauliczna - system elektronicznego sterowania	kW/V	2x3/500 0,5/230
Wymiary skrzyni dolnej (dł. x szer. x wys.)	m	2,6x2,4x2,6
Wymiary osadzarki (dł. x szer. x wys.)	m	7,6x5,4x6,2
Masa osadzarki	t	56
¹⁾ wielkość zależna od wydajności osadzarki		

Parametry techniczne osadzarki OZ18 w KWK „Halemba”

Tabela 4

Parametr	Jednostka	Wielkość
Wydajność	t/h	450
Ilość przedziałów roboczych	szt.	4
Wymiary przedziałów roboczych (dł. x szer.)	m	2,5 x 2
Całkowita powierzchnia robocza	m ²	18
Powietrze robocze: - zapotrzebowanie - ciśnienie	m ³ /min MPa	130 0,040–0,045

Woda dolna: - zapotrzebowanie - ciśnienie	m ³ /h bar	900 ¹⁾ 1,1
Zasilanie elektryczne: - stacja hydrauliczna - system elektronicznego sterowania	kW/V	2x3/500 0,5/230
Wymiary skrzyni dolnej (dł. x szer. x wys.)	m	2,7x2,4x2,65
Wymiary osadzarki (dł. x szer. x wys.)	m	5,6x5,7x6,6
Masa osadzarki	t	36,6
¹⁾ wielkość zależna od wydajności osadzarki		

3. Nowe osadzarki do przeróbki kruszyw mineralnych

Wieloletnie doświadczenia CMG KOMAG w konstruowaniu i doborze technologicznym osadzarek do wzbogacania węgla surowego pozwoliły na ukierunkowanie badań i rozwoju konstrukcji tych maszyn w celu ich zastosowania w przemyśle kruszyw do pozyskiwania żwiru i piasku w klasie ziarnowej 16–2(0) mm, z równoczesnym wydzielaniem zanieczyszczeń organicznych i mineralnych. Wykonane badania technologiczne procesu wydzielania zanieczyszczeń organicznych z nadawy żwirowo-piaskowej w klasie ziarnowej 16–2(0) mm potwierdziły celowość zastosowania tych urządzeń w procesach przeróbki żwiru i piasku i umożliwiły wdrożenie do przemysłu nowej generacji osadzarek typu KOMAG [6, 7, 8, 9].

Na rysunku 3 pokazano osadzkę K-100 dla PRInż. Surowce Sp. z o.o. w Żwirowni w Januszkowicach, a na rysunku 4 osadzkę K-100 dla PUH M+ Sp. z o.o. w Zakładzie Produkcji Betonów w Zdzeszowicach w wersji mobilnej na płozach, na własnej konstrukcji wsporczej, z systemem sterowania zaprojektowanym i wykonanym przez firmę MICRO z Otmuchowa, wyprodukowaną przez HYDROTECH S.A. z Rybnika.



Rys.3. Widok osadzarki K-100 w Żwirowni w Januszkowicach

W tabeli 5 przedstawiono jej parametry techniczne. W obu osadzarkach zastosowano pneumatycznie ste-

rowany pulsacyjny zawór talerzowy dozujący powietrze robocze do komory roboczej oraz specjalnej konstrukcji elektronicznie sterowany układ odbioru żwiru z obrotowym odbieralnikiem.



Rys.4. Widok osadzarki K-100 w Zakładzie Produkcji Betonów w Zdzeszowicach

Parametry techniczne osadzarki K-100

Tabela 5

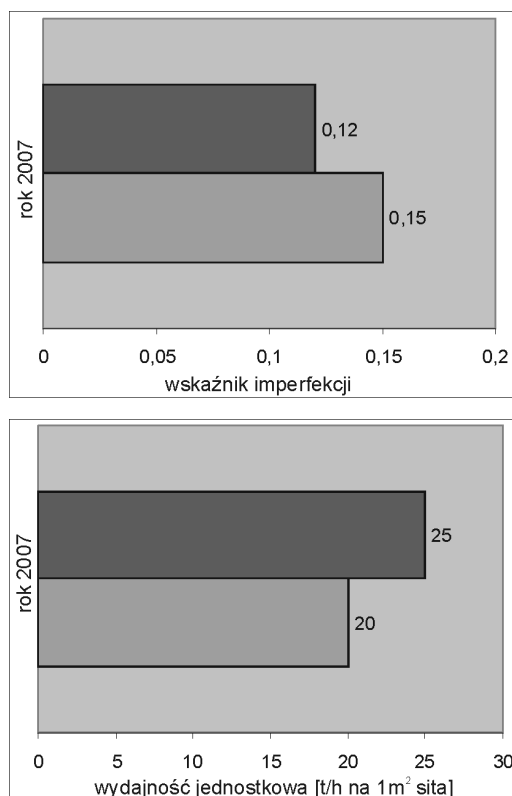
Parametry techniczne osadzarki K-100	Jednostka	Wielkość
Wydajność nominalna	t/h	do 100
Uziarnienie nadawy	mm	16–2(0)
Całkowita powierzchnia robocza łoża	m ²	4
Powietrze robocze: - zapotrzebowanie - ciśnienie	m ³ /min. MPa	20 0,03
Woda dolna: - zapotrzebowanie - ciśnienie	m ³ /h bar	150-200 1,0
Moc zainstalowana	kW	4,4
Moc zainstalowana dmuchawy	kW	18,5
Moc zainstalowana sprężarki	kW	7,5
Masa	t	około 9

4. Wyniki jakościowe pracy osadzarek KOMAG

4.1. Parametry jakościowe osiągane przez osadzarki KOMAG do wzbogacania węgla

Analizując efekty pracy wodnych osadzarek pulsacyjnych KOMAG z różnymi systemami sterowania, stosowanych w polskich zakładach przeróbki węgla kamiennego, w oparciu o badania technologiczne przeprowadzone przez CMG KOMAG, w których określano takie wskaźniki jakościowe, jak wydajność jednostkowa, zaproszenie prawdopodobne, gęstość rozdziału, zapozielenie koncentratu i odpadów, udział odpadów w koncentracie, straty węgla w odpadach oraz imperfekcję, można stwierdzić, że możliwe do osiągnięcia wyniki jakościowe ich pracy są podobne w porównywalnych warunkach eksploatacyjnych dla zbliżonych parametrów technologicznych wzbogacanego mate-

riału. Osiągane w 2007 roku wartości graniczne wskaźnika imperfekcji i wydajności jednostkowej pokazano na rysunku 5.



Rys.5. Parametry jakościowe osiągnięte w osadzarkach KOMAG do wzbogacania węgla kamiennego – wartości graniczne

4.2. Sprawność procesu wydzielania zanieczyszczeń organicznych z nadawy żwirowej, osiągnięta w osadzarkach KOMAG

Badania technologiczne procesu wydzielania zanieczyszczeń organicznych z nadawy żwirowo-piaskowej w klasie ziarnowej 16(20)–2(0) mm zostały przeprowadzone na osadzarkach K-100 z systemem sterowania firmy MICRO, zabudowanej w wytypowanej kopalni kruszyw. Wykonano dwie serie badań przy różnych udziałach ziaren piaskowych < 2 mm oraz różnej wielkości obciążeń nadawą, w granicach 80-100 t/h. Określono w nich składy granulometryczne nadawy i produktów oraz udziały materiału > 1,8 g/cm³ i < 1,8 g/cm³ w nadawie i produktach w klasach ziarnowych 20–4, 4–2 i 2–0 mm oraz w klasach ziarnowych otrzymanych na podstawie analiz granulometrycznych na sitach o rozmiarach 20, 16, 10, 6, 4, i 2 mm. Dla obu serii sprawność S procesu wydzielania zanieczyszczeń organicznych z nadawy żwirowej wyliczano według zależności (1):

$$S = 100 - [(A_1 / C_1) \cdot 100] \quad (1)$$

gdzie:

A_1 – wychód ziaren frakcji lekkiej w produkcie żwirowym, %,

C_1 – wychód ziaren frakcji lekkiej w nadawie, %.

W tabelach 6 i 7 przedstawiono wyniki badań sprawności S procesu wydzielania zanieczyszczeń organicznych z nadawy żwirowej uzyskane w serii pierwszej, a w tabelach 8 i 9 przedstawiono wyniki uzyskane w serii drugiej.

Sprawność S procesu wydzielania zanieczyszczeń organicznych w procesie przeróbki żwiru – seria pierwsza próba 1

Tabela 6

Klasa ziar- nowa mm	Nadawa			Produkt żwirowy (udział = 84,56%)			Sprawność S %	
	Udział %	Udział > 1,8 g/cm³ %	Udział < 1,8 g/cm³ %	Udział %	Udział > 1,8 g/cm³ %	Udział < 1,8 g/cm³ %		
20-4	49,40	48,47	0,93	58,32	58,20	0,12	87,10	88,96
4-2	24,10	23,40	0,70	26,44	26,38	0,06	91,43	
2-0	26,50	26,06	0,44	15,24	15,18	0,06	86,36	
Suma	100,00	97,93	2,07	100,00	99,76	0,24	88,41	

Sprawność S procesu wydzielania zanieczyszczeń organicznych w procesie przeróbki żwiru – seria pierwsza próba 2

Tabela 7

Klasa ziar- nowa mm	Nadawa			Produkt żwirowy (wychód = 85,86%)			Sprawność S %	
	Udział %	Udział > 1,8 g/cm³ %	Udział < 1,8 g/cm³ %	Udział %	Udział > 1,8 g/cm³ %	Udział < 1,8 g/cm³ %		
20-4	49,40	48,47	0,93	57,43	57,37	0,06	93,55	91,12
4-2	26,20	26,44	0,76	28,33	28,24	0,09	88,16	
2-0	24,40	24,00	0,40	14,24	14,17	0,07	82,50	
Suma	100,00	98,91	2,09	100,00	99,78	0,22	89,47	

Sprawność S procesu wydzielania zanieczyszczeń organicznych w procesie przeróbki żwiru – seria druga próba 1

Tabela 8

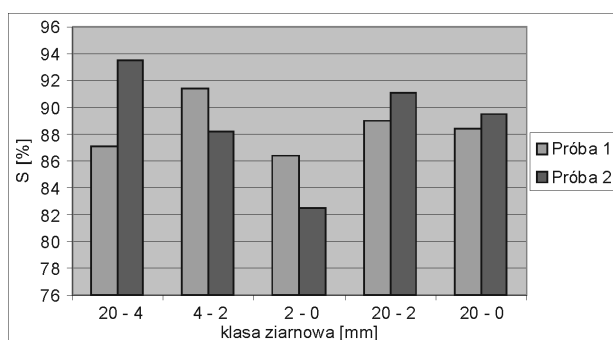
Klasa ziar- nowa mm	Nadawa			Produkt żwirowy (wychód = 86,75%)			Sprawność S %	
	Udział %	Udział > 1,8 g/cm ³ %	Udział < 1,8 g/cm ³ %	Udział %	Udział > 1,8 g/cm ³ %	Udział < 1,8 g/cm ³ %		
20–16	3,00	3,00	-	3,46	3,46	-	-	89,32
16–10	13,94	13,88	0,06	15,98	15,98	-	100,00	
10–6	16,77	16,54	0,23	19,16	19,16	-	100,00	
6–4	18,01	17,36	0,65	19,71	19,62	0,09	86,15	
4–2	20,30	19,18	1,12	21,06	20,93	0,13	88,39	
2–0	27,98	27,08	0,90	20,63	20,50	0,13	85,56	
Suma	100,00	97,04	2,96	100,00	99,65	0,35	88,18	

Wyniki sprawności S procesu wydzielania zanieczyszczeń organicznych w procesie pozyskiwania żwiru, zawarte w tabeli 6 i tabeli 7, pokazano na rysunku 6, natomiast wyniki zawarte w tabeli 8 i tabeli 9 przedstawiono na rysunku 7.

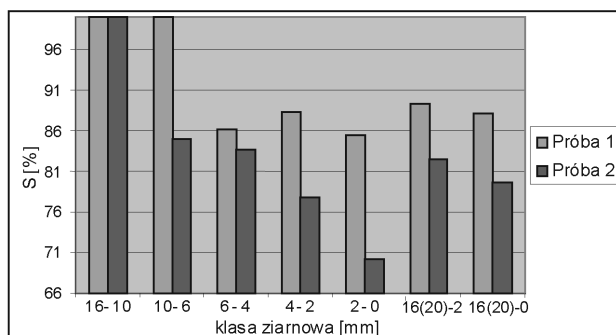
**Sprawność S procesu wydzielania zanieczyszczeń organicznych w procesie pozyskiwania żwiru – seria druga
próba 2**

Tabela 9

Klasa ziar- nowa mm	Nadawa			Produkt żwirowy (wychód = 95,00%)			Sprawność S %	
	Udział %	Udział > 1,8 g/cm ³ %	Udział < 1,8 g/cm ³ %	Udział %	Udział > 1,8 g/cm ³ %	Udział < 1,8 g/cm ³ %		
> 20	0,47	0,47	-	0,50	0,50	-	-	82,54
20-16	8,47	8,47	-	8,89	8,89	-	-	
16-10	18,97	18,79	0,18	19,74	19,74	-	100,00	
10-6	24,05	23,85	0,20	24,69	24,66	0,03	85,00	
6-4	25,10	24,49	0,61	24,65	24,55	0,10	83,61	
4-2	17,07	16,17	0,90	16,92	16,72	0,20	77,78	79,67
2-0	5,87	5,30	0,57	4,61	4,44	0,17	70,18	
Suma	100,00	97,54	2,46	100,00	99,50	0,50		



Rys.6. Wykres sprawności S wydzielania zanieczyszczeń organicznych < 1,8 g/cm³ – seria pierwsza



Rys.7. Wykres sprawności S wydzielania zanieczyszczeń organicznych < 1,8 g/cm³ – seria druga

5. Podsumowanie

Współczesne, nowoczesne osadzarki konstruowane są jako maszyny jednostkowe, dostosowane do wymaganej wydajności i technologii oraz warunków lokalizacyjnych, związanych z ograniczoną przestrzenią zabudowy, w konkretnym zakładzie przeróbczym. Każda osadzarka składa się z podstawowych zespołów, które podczas eksploatacji są badane i dostarczają informacji do dalszego doskonalenia maszyny. Znaczny postęp w rozwoju konstrukcji i technologii

wzbogacania węgla w osadzarkach w Polsce jest efektem szeregu prac i wynika z wieloletniego doświadczenia CMG KOMAG w konstruowaniu i doborze technologicznym osadzarek do wzbogacania węgla kamiennego [5].

Prowadzone od wielu lat prace w Zakładzie Systemów Przeróbczych CMG KOMAG, w dwóch grupach tematycznych – ds. konstrukcji maszyn przeróbczych i ds. technologii przeróbczych oraz od niedawna w laboratorium badań paliw stałych, oparte są na ścisłej współpracy z innymi jednostkami badawczo-rozwoowymi, uczelniami, producentami maszyn i ich użytkownikami i pozwalają na powstawanie innowacyjnych rozwiązań, które znalazły zastosowanie w przeróbce węgla kamiennego, a w ostatnich latach w przemyśle kruszyw. Zastosowanie odpowiednio dostosowanego systemu sterowania oraz nowej konstrukcji podstawowych zespołów osadzarki dało możliwość dowolnego kształtowania charakterystyki cyklu pulsacji wody dla wzbogacania węgla i procesu pozyskiwania żwiru i pozwoliło na powstanie nowej generacji nowoczesnych osadzarek KOMAG. Dało też możliwość ich zabudowy i eksploatacji w ciągu technologicznym dowolnego zakładu przeróbki węgla kamiennego lub produkcji kruszywa, spełniającego wymagania norm jakościowych oraz dostosowanie parametrów technologicznych produktów do wymagań rynku.

Uzyskiwany aktualnie dla osadzarek wzbogacających węgiel kamienny wskaźnik imperfekcji na poziomie od 0,15 do 0,12 oraz dla osadzarek do przeróbki żwiru uzyskiwana sprawność wydzielania zanieczyszczeń organicznych z nadawy o uziarnieniu 16-2(0) mm sięgająca 91%, dają gwarancję otrzymania wyników jakościowych produktów handlowych zgodnych z wymaganiami użytkownika.

Literatura

1. Będkowski Z.: Aktualny poziom i perspektywy automatyzacji procesów przeróbki węgla metodą wzbogacania w wodnych osadzarkach pulsacyjnych. Automatyzacja Procesów Przeróbki Kopalin, X Konferencja, Politechnika Śląska, Szczyrk 2004.
2. Będkowski Z.: Aspekt ekonomiczny postępu technicznego w dziedzinie stosowanych urządzeń sterowania procesem wzbogacania węgla w osadzarkach węglowych typu KOMAG. Automatyzacja Procesów Przeróbki Kopalin, X Konferencja, Politechnika Śląska, Szczyrk 2004.
3. Będkowski Z., Skruch B.: Sprawność i skuteczność wzbogacania trójskładkowego w osadzarkach typu KOMAG ze zmodernizowanym układem odbioru na przykładzie KWK Rydułtowy-Anna. KOMEKO 2006 – materiały konferencyjne, CMG KOMAG, Zakopane 2006.

-
4. Głowiak S., Jędo A., Śmiejek Z.: Polska wodna osadzarka pulsacyjna sterowana elektronicznie – 25 lat istnienia produktu w krajowych i zagranicznych instalacjach przerobczych. KOMEKO 2004 – materiały konferencyjne, CMG KOMAG, Ustroń 2004.
 5. Lutyński A., Osoba M.: Wpływ charakterystyki pulsacji wody w wodnych osadzarkach pulsacyjnych na proces pozyskiwania wybranych produktów mineralnych. Prace Naukowe – Monografie CMG KOMAG nr 18, CMG KOMAG, ISBN 978-83-60708-06-4, Gliwice 2007.
 6. Osoba M., Lutyński A.: Nowa generacja osadzarek pulsacyjnych typu KOMAG do pozyskiwania żwiru i piasku. KOMEKO 2004 – materiały konferencyjne, CMG KOMAG, Ustroń 2004 oraz Maszyny Górnicze Nr 98/2004.
 7. Osoba M.: Osadzarki wodne pulsacyjne typu KOMAG – maszyny sprawdzone w przeróbce surowców mineralnych. Maszyny Górnicze nr 4/2005.
 8. Osoba M.: Osadzarki wodne pulsacyjne typu KOMAG do przeróbki kruszyw mineralnych. KOMEKO 2006 – materiały konferencyjne, CMG KOMAG, Zakopane 2006, Maszyny Górnicze Nr 2/2006.
 9. Osoba M.: Osadzarki wodne pulsacyjne KOMAG do przeróbki żwiru i piasku. Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej Nr 119, Seria: Konferencje Nr 48, Kruszywa Mineralne - Szklarska Poręba 2007, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2007.
- Artykuł wpłynął do redakcji w marcu 2008 r.
Recenzent: prof.dr hab.inż. Aleksander Lutyński*

Czy wiesz, że...

...radni hrabstwa Kent w Wielkiej Brytanii opowiedzieli się za budową nowej elektrowni węglowej. Pierwsza od 24 lat elektrownia wykorzystująca węgiel miała być zlokalizowana w Kingsnorth koło Rochestaru. Ostateczną decyzję podejmie rząd. Budowę zakładu planuje koncern energetyczny E.ON. W miejsce zburzonego istniejącego obiektu powstałaby elektrownia zmniejszająca o 20% emisję zanieczyszczeń w chwili rozruchu i docelowo o 50% (do 2030 roku). Węgiel przeznaczony do spalania byłby magazynowany w specjalnie przystosowanych komorach powstałych po wybraniu ropy naftowej, znajdujących się pod dnem Morza Północnego.

World Coal 2008 nr 1 s. 8

System sterowania osadzarką KOMAG

Streszczenie

Specjaliści CMG KOMAG, dysponując wiedzą i doświadczeniem w konstruowaniu osadzarek pulsacyjnych oraz wiedzą z zakresu doboru parametrów pracy tych maszyn, opracowali autorski system sterowania osadzarki pulsacyjnej. Prace objęły opracowanie konfiguracji sprzętowej systemu, jego algorytmu sterowania oraz budowę układu sterowania opartego na sterowniku PLC. Przeprowadzono testy układu na laboratoryjnym modelu osadzarki pulsacyjnej w CMG KOMAG oraz, rozpoczęte w połowie 2007 roku, testy przemysłowe realizowane na wybranej osadzarce w Zakładzie Przeróbczym KWK „Pniówek”. W artykule przedstawiono strukturę, zasady działania i możliwości systemu, oraz rezultaty testów i wynikające z nich wnioski.

Summary

KOMAG specialists, having experience and knowledge to design pulsating jigs and knowledge in selection of operational parameters of these machines, have developed an author's control system to control the pulsation jig. The project included a development of configuration of system's hardware, its control algorithm as well as building of control system based on PLC controller. Testing of the system on the laboratory model of pulsation jig was carried out in the KOMAG Centre and industrial tests carried out on the selected jig have started in mid of 2007 in the Processing Plant of Pniówek Colliery. Structure of the system, operational principles and possibilities of the system as well as test results with conclusions were given.

1. Wstęp

Specjaliści CMG KOMAG posiadają wieloletnie doświadczenia w konstruowaniu osadzarek pulsacyjnych oraz wiedzę z zakresu doboru parametrów pracy tych maszyn. Uwzględniając kluczową rolę systemu sterowania dla poprawnej pracy osadzarki, rosnące wraz z rozwojem układów automatyki możliwości tworzenia rozbudowanych, efektywnych i niezbyt drogich systemów sterowania, oraz możliwość wykorzystania posiadanej wiedzy i zwiększenia stopnia kompleksowości oferty systemów wzbogacania, specjaliści Zakładu Systemów Przeróbczych wraz z Laboratorium Mechatroniki CMG KOMAG podjęli prace nad budową własnego układu sterowania osadzarki pulsacyjnej.

Zrealizowane prace objęły opracowanie konfiguracji sprzętowej systemu, jego algorytmu sterowania oraz budowę układu sterowania opartego na sterowniku PLC, testy układu na laboratoryjnym modelu osadzarki pulsacyjnej w CMG KOMAG oraz, rozpoczęte w połowie 2007 roku, testy przemysłowe realizowane przy współpracy z KWK „Pniówek”.

2. Struktura i zasady działania systemu

System sterowania osadzarką został opracowany w taki sposób, aby poprzez wprowadzenie czujników w kluczowe miejsca osadzarki pulsacyjnej oraz poprzez kontrolę lub współpracę z wieloma urządzeniami wspomagającymi, pozwolić operatorowi osadzarki na pełniejszą, w stosunku do istniejących obecnie systemów, kontrolę procesu wzbogacania.

Podstawowymi elementami systemu sterowania są:

- sterownik PLC, współpracujący z elementami wykonawczymi osadzarki, zbierający dane z zainstalowanych czujników, komunikujący się z urządzeniami interfejsu operatorskiego, realizujący pętle regulacyjne i kontrolne,
- panel operatorski przy osadzarce, zapewniający wizualizację podstawowych parametrów procesu wzbogacania oraz wprowadzanie bieżących nastaw systemu sterowania,
- stacja operatorska w dyspozytorni zakładu przeróbczego, zapewniająca pełną wizualizację procesu i stanu urządzeń.

Testowy system sterowania, zabudowany na istniejącej osadzarce, wyposażonej w podstawowe urządzenia wykonawcze i pomiarowe realizuje zasadnicze funkcje, obejmujące przede wszystkim:

- sterowanie pulsacją wody,
- regulację rozdziału odprowadzanych produktów.

Pełen system sterowania, uwzględniający dodatkowe urządzenia i mierniki, który umożliwia ponadto m.in. zautomatyzowanie regulacji:

- ciśnienia powietrza w kolektorze osadzarki,
- natężenia przepływu wody dolnej,
- zawartości popiołu w produkcie wzbogaconym.

System sterowania zapewnia monitoring pracy i kontrolę prawidłowości działania maszyny, automatyczne awaryjne wyłączanie oraz zdalne ręczne sekwencyjne zatrzymywanie i uruchamianie osadzarki i urządzeń z nią współpracujących.

Praca systemu jest monitorowana przez autorski system wizualizacyjny umiejscowiony w pomieszczeniu wskazanym przez kopalnię, pozwalający na pełny przegląd trendów sygnałów pochodzących z wszystkich czujników zabudowanych w systemie, m.in. ruchu pływaka, przepustu, progu, ciśnienia w komorach pulsacyjnych.

2.1. Sterowanie pulsacją

Automatyczny system sterowania stale kontroluje zmiany położenia pływaka oraz ciśnienia w komorach powietrznych, określając parametry syntetyczne:

- minimalną, maksymalną i średnią wysokość położenia pływaka w cyklu pulsacji,
- amplitudę ruchu pływaka,
- minimalne, maksymalne i średnie ciśnienie w cyklu pulsacji.

System pozwala na utrzymywanie cyklu czasowego pulsacji, a także na utrzymywanie zadanych parametrów syntetycznych pulsacji, poprzez automatyczne korekty długości faz cyklu.

Nastawialne parametry pracy zaworów obejmują: częstotliwość cykli pulsacji, przesunięcia początku i zakończenia faz wlotu i wylotu powietrza, a także amplitudę pulsacji i średnie ciśnienie w komorach powietrznych.

System może pracować:

- w cyklu jednofazowym, o pojedynczym wlocie powietrza roboczego, któremu odpowiada jeden wylot,
- w cyklu wielofazowym, w którym kilku fazom wlotu powietrza roboczego, oddzielonym pauzami, odpowiada jeden wylot.

2.2. Sterowanie przepustem oraz progiem

Układ regulacji odbioru produktu ciężkiego koryguje położenie przepustu, w oparciu o różnicę między zadaną i aktualną wartością wskaźnika położenia czujnika pływakowego (minimalnego, maksymalnego lub średniego, w jednym lub kilku cyklach), z ewentualnymi korektami, uwzględniającymi m.in. stopień otwarcia przepustu. Położenie przepustu jest stale mierzone. Kontrola realizacji zleceń ruchu przepustu umożliwia m.in. jego automatyczne odblokowywanie, przez chwilowe zwiększanie otwarcia.

Ruchomy próg może być sprzężony mechanicznie z przepustem, regulującym wielkość szczeliny odprowadzającej produkt dolny lub posiadać sterowanie niezależne, umożliwiające korektę związku między położeniem progu i stopniem otwarcia przepustu. W tym przypadku sterowanie progiem, połączone z kontrolą położenia realizowane jest również przez system. Regulacja położenia przepustu i progu ruchomego może być realizowana poprzez napędy hydrauliczne lub pneumatyczne.

2.3. Parametry kontrolowane przez system

System sterowania osadzką CMG KOMAG jest przygotowany do pracy z każdym rodzajem osadzarki, umożliwiając obsługę wielu urządzeń współpracujących.

System może obsłużyć następujące czujniki:

- czujnik położenia pływaka w każdym przedziale,
- czujnik położenia przepustu w każdym przedziale,
- czujnik położenia progu (nie związanego mechanicznie z przepustem), w każdym przedziale,
- czujnik ciśnienia w komorze pulsacyjnej w każdym przedziale,
- czujnik przepływu wody dolnej, dopływającej do każdego przedziału,
- czujnik ciśnienia wody dolnej, dopływającej do każdego koryta,
- czujnik ciśnienia wylotowego z dmuchawy,
- czujnik istnienia nadawy w każdym z koryt.

System może sterować urządzeniami wspomagającymi, obejmującymi między innymi:

- dmuchawę,
- przepustnicę bocznikową, stabilizującą ciśnienie powietrza wylotowego z dmuchawy,
- pompę hydrauliczną z czujnikami ciśnienia wylotowego, poziomu i temperatury oleju w zbiorniku,
- system doprowadzania nadawy i odprowadzania produktów, z przełącznikami i czujnikami stanu.

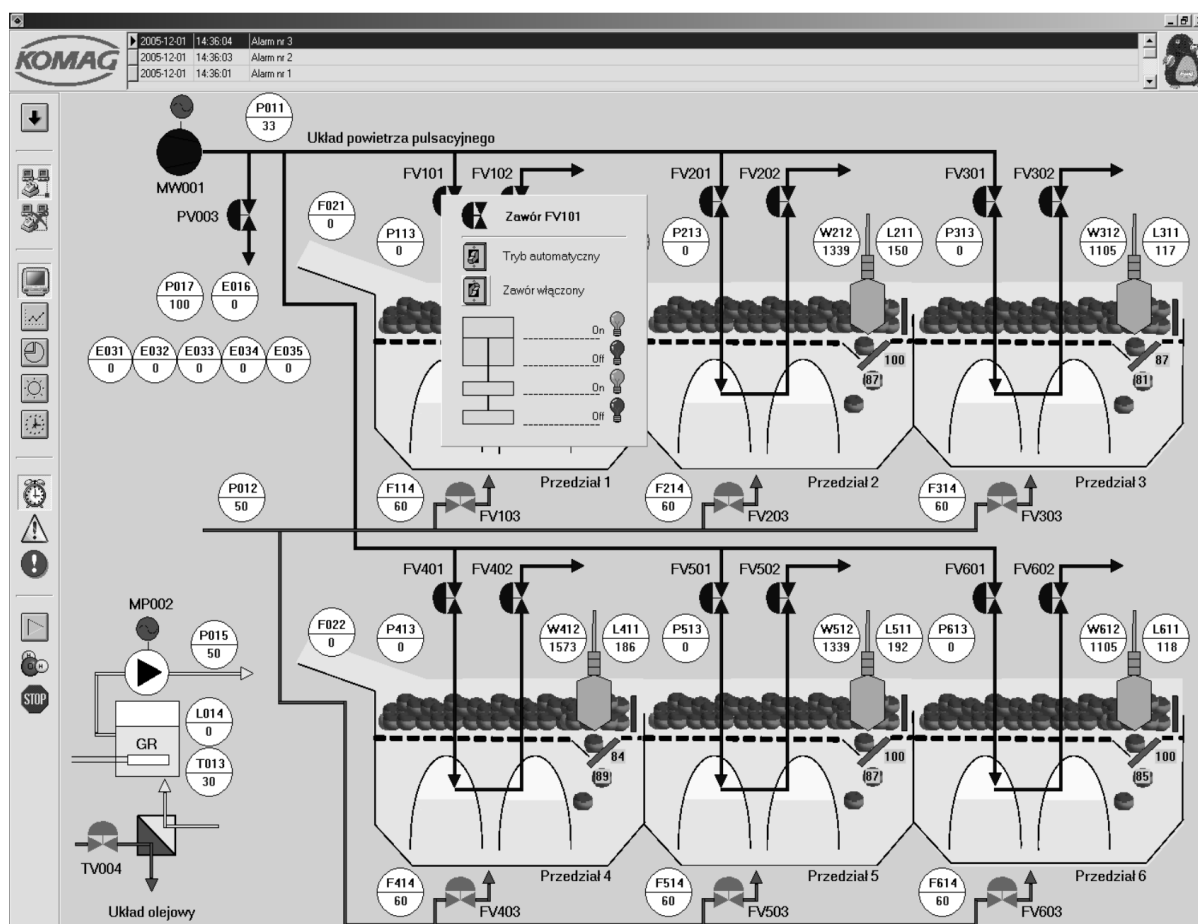
Schemat technologiczny osadzarki, w formie ekranu synoptycznego stacji operatorskiej przedstawia rysunek 1.

2.4. Struktura sprzętowa systemu

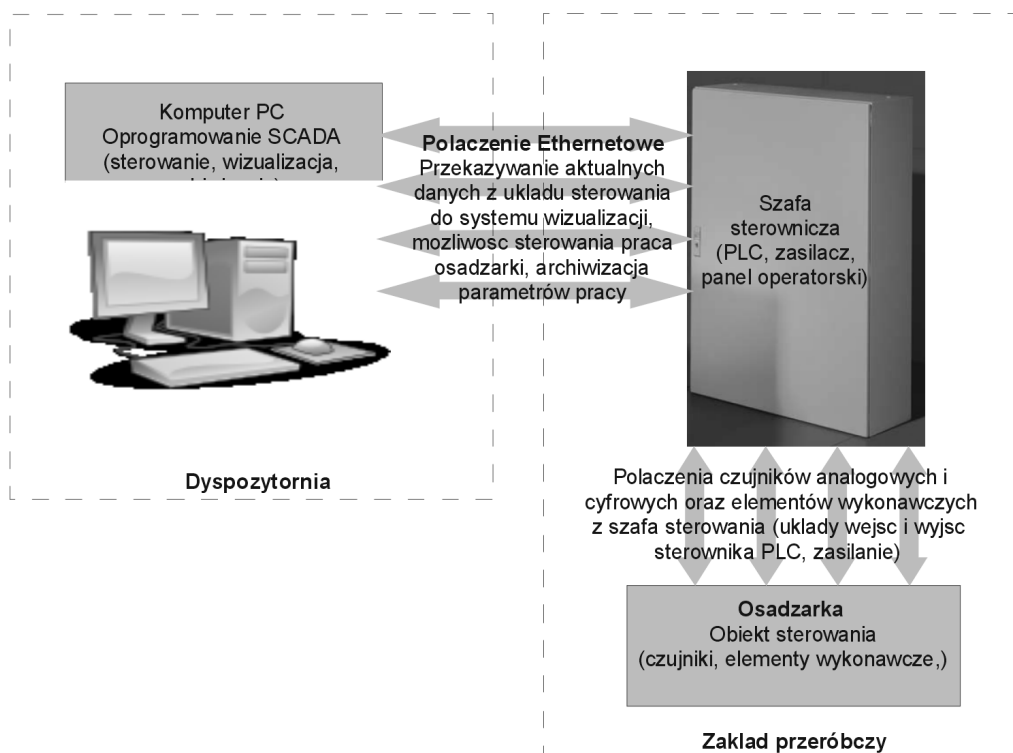
System sterowania osadzką obejmuje sterownik, czujniki, stację operatorską w dyspozytorni, graficzny panel operatorski oraz pomocniczy tekstowy panel informacyjny. Strukturę systemu przedstawiono na rysunku 2.

Sterownik (Beckhoff CX 1000) wraz z zespołem kart wejścia/wyjścia i komunikacyjnych zapewnia odczyt parametrów mierzonych, odbiór sygnałów indykacyjnych i przesył sygnałów sterujących do obiektu, sygnalizację i wyłączenia alarmowe, realizację pętli regulacyjnych, procedur obsługi urządzeń i sekwencji przełączających oraz komunikację ze stacją i panelami operatorskimi.

Stacja operatorska, obejmująca komputer, monitor kolorowy, klawiaturę i drukarkę, zlokalizowana jest w dyspozytorni. Zapewnia ona możliwość zdalnego ręcznego sterowania poszczególnymi urządzeniami i zmian nastaw pętli regulacyjnych oraz podstawowych stałych procesu, sygnalizację alarmową, archiwizację parametrów mierzonych, generację raportów, prezentację przebiegów czasowych parametrów (w szczegó-



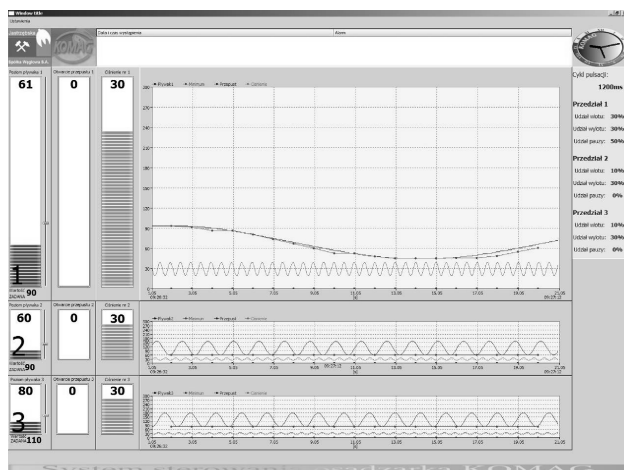
Rys.1. Schemat technologiczny osadzarki pulsacyjnej



Rys.2. Struktura sprzętowa systemu sterowania osadząrką

ności przebiegu pulsacji zaworów i ciśnienia w formie wykresów oscyloskopowych), a także bieżącą wizualizację pracy osadzarki w formie ekranu synoptycznego oraz okienek urządzeń i mierników.

Autorski program narzędziowy obsługujący stację zapewnia znaczne obniżenie kosztu, przy pełnym dostosowaniu do zadań systemu. Przykładowe widoki podstawowych ekranów stacji przedstawiono na rysunkach 1 i 3.



Rys.3. Główny ekran synoptyczny systemu wizualizacji

Graficzny panel operatorski, lokowany w pobliżu osadzarki, w zamkniętej szafce z oknem, dostępnej dla operatora osadzarki, zapewnia tekstową i graficzną sygnalizację alarmową oraz możliwość obserwowania przebiegu procesu, w formie zestawień parametrów lub wykresów przebiegów czasowych, a także zmiany nastaw podstawowych pętli regulacyjnych, za pomocą odpowiednich klawiszy panelu. Przykładowy wygląd ekranu panelu przedstawiono na rysunku 6.

W szafce panelu zlokalizowany jest przycisk awaryjnego wyłączenia całej osadzarki oraz zespół przycisków, służących do ręcznego miejscowego sterowania podstawowymi urządzeniami – przepustami i programami ruchomymi poszczególnych przedziałów.

Przewidziano również możliwość przyciskowej symulacji zmian zastępczej gęstości pływaka (w ograniczonym zakresie), zastępującej zmiany mechaniczne, dokonywane przy użyciu nakładanych ciężarków.

3. Badania w warunkach laboratoryjnych

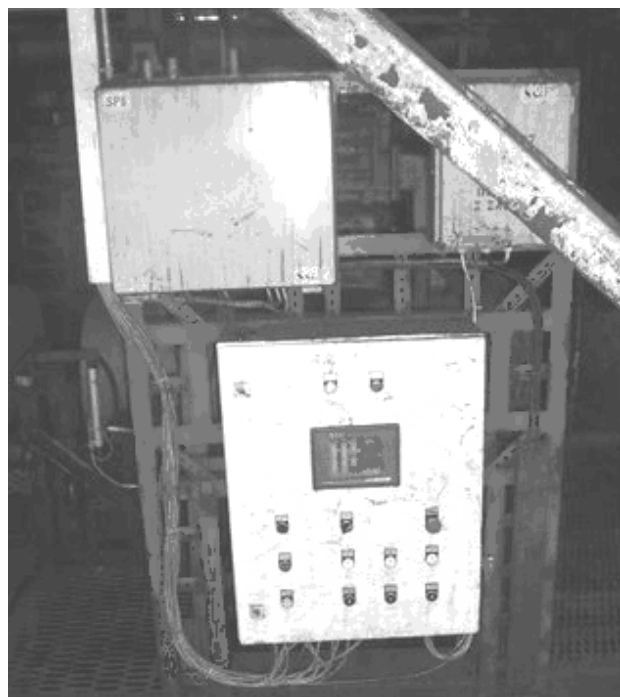
Pierwszym etapem testów systemu sterowania osadzarki pulsacyjnej była instalacja na laboratoryjnym modelu osadzarki. Testy systemu w warunkach laboratoryjnych pozwoliły na dopracowanie algorytmów sterowania oraz rozwiązań komunikacyjnych pomiędzy stacją operatorską a sterownikiem. Pozytywne zakończenie testów laboratoryjnych pozwoliło na zabudowę układu w warunkach przemysłowych.



Rys.4. Badania laboratoryjne systemu sterowania osadzarką

4. Instalacja systemu sterowania osadzarką pulsacyjną w KWK „Pniówek”

Badania przemysłowe systemu sterowania, zrealizowano przy znaczącej współpracy przedstawicieli Zakładu Przeróbczego KWK „Pniówek”. System zabudowano na jednym korycie dwukorytowej osadzarki nr 1. Oprogramowanie wizualizacyjne zainstalowano w dyspozytorni zakładu przeróbczego. W trakcie testów wykonano szereg modyfikacji w zakresie doboru czujników i oprogramowaniu osadzarki, poprawiających pewność działania i funkcjonalność systemu.



Rys.5. Szafa sterownicza

Testowany system zabudowano w sposób umożliwiający jego natychmiastowe bezpieczne awaryjne przełączenie na istniejący układ sterowania BGG, przy zachowaniu funkcji wizualizacyjnych i archiwizacyjnych.

4.1. Zmiany sprzętowe

W trakcie prowadzonych w kopalni testów, konieczne było wprowadzenie zmian sprzętowych, wynikających przede wszystkim z potrzeby poprawy funkcjonalności systemu. Czujniki dobrane na etapie projektowania układu zostały zweryfikowane w trudnych warunkach środowiskowych panujących w otoczeniu osadzarki. Część z zastosowanych czujników okazała się nie spełniać żądanych wymogów odporności na warunki otoczenia – co doprowadziło do poszukiwania i zastosowania nowych rozwiązań. Kryterium doboru czujników był wysoki stopień ochrony IP oraz – w przypadku pływaków – bezkontaktowy pomiar położenia pływaka. W trakcie testów systemu okazało się również, że żywotność standardowo zastosowanych przełączników elektromagnetycznych jest zbyt niska w stosunku do ilości koniecznych przełączeń zaworów pulsacyjnych. W związku z tym, opracowane zostały własne, autorskie rozwiązania modułu przełącznikowego optoelektronicznego, nie posiadającego elementów mechanicznych mogących ulec uszkodzeniu.

Wszystkie wprowadzone zmiany sprzętowe pozwoliły na stabilizację pracy systemu sterowania osadzarki oraz zwiększenie odporności układu czujników na niekorzystne warunki otoczenia.

4.2. Zmiany programu sterującego

Konieczność dostosowania układu do konkretnego typu maszyny, wymusiła dokonanie zmian w programie sterującym (algorytmie sterowania). Na etapie testów laboratoryjnych algorytm sterowania został wykonany jako ogólny – możliwy do zastosowania z różnymi typami osadzarek i obsługujący większość stosowanych na osadzarkach czujników i elementów wykonawczych.

Po instalacji na obiekcie rzeczywistym dostrojenia wymagały między innymi pętle regulacji PID, korekty zakresów czujników i wartości granicznych stref alarmowych oraz histereza przepustów hydraulicznych.

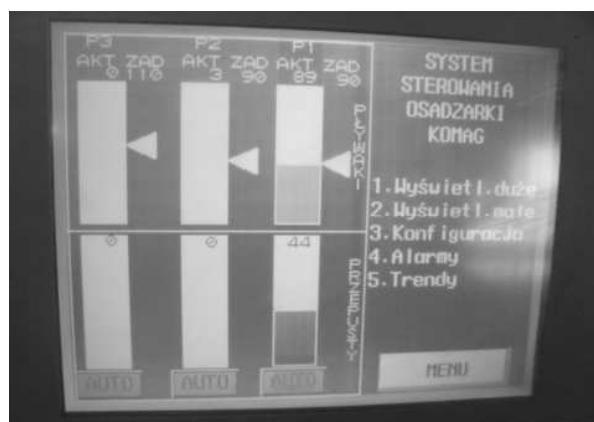
Poza zmianami spowodowanymi dostosowaniem systemu do konkretnego typu maszyny, wprowadzono również zmiany spowodowane koniecznością podniesienia funkcjonalności systemu. Zmiany te można podzielić na dwie części:

- zwiększenie zakresu archiwizowanych danych pomiarowych – archiwizacja danych była bardzo ważnym elementem systemu ze względu na testowy charakter instalacji,
- wprowadzenie zmian na podstawie uwag obsługi osadzarki wynikających z doświadczeń eksploatacyjnych testowanej maszyny.

4.3. Zmiany oprogramowania wizualizacyjnego oraz panelu sterującego

Konieczność dostosowania zakresu archiwizacji oraz poprawy funkcjonalności systemu, wymusiła dokonanie zmian w oprogramowaniu wizualizacyjnym. Informacje o koniecznych zmianach w zakresie sposobu wyświetlanych parametrów osadzarki uzyskano od dyspozytora zakładu przerobczego. Na tej podstawie zbudowano graficzny interfejs systemu przedstawiony na rysunku 3.

Zmiany związane z panelem sterującym obejmowały przede wszystkim przeprojektowanie głównego ekranu synoptycznego (wprowadzenie wykresów słupkowych położenia czujników pływakowych oraz czujników liniowych przepustu) oraz wprowadzenie możliwości przełączania przepustów w tryb ręczny i sterowania nimi z głównego ekranu synoptycznego panelu. Aktualny wygląd panelu operacyjnego przedstawia rysunek 6.



Rys.6. Zmieniony wygląd panelu operacyjnego

5. Podsumowanie

Specjaliści CMG KOMAG, dysponując wiedzą i doświadczeniem w konstruowaniu osadzarek pulsacyjnych oraz wiedzą z zakresu doboru parametrów pracy tych maszyn, opracowali autorski system sterowania osadzarki pulsacyjnej. Prace objęły opracowanie algorytmu sterowania systemem osadzarek i jego implementację w sterowniku PLC, testy układu sterowania na laboratoryjnym modelu osadzarki pulsacyjnej w CMG KOMAG oraz rozpoczęcie w połowie roku 2007 testy przemysłowe, realizowane przy współpracy z KWK „Pniówek”, po zainstalowaniu systemu na wybranej osadzarce w zakładzie przerobczym kopalni.

Przy znaczącej współpracy pracowników KWK „Pniówek” przeprowadzone zostały potwierdzające gotowość systemu do zastosowań przemysłowych. Wprowadzone w trakcie testów zmiany pozwoliły na znaczną poprawę funkcjonalności i dopasowanie układu sterowania do potrzeb użytkownika.

Układ w obecnej postaci gotowy jest do instalacji na dowolnej osadzarce, po uprzednim dostosowaniu go zgodnie z potrzebami klienta oraz określeniem zakresu obsługiwanych czujników i elementów wykonawczych.

Artykuł wpłynął do redakcji w marcu 2008 r.

Recenzent: prof.dr hab.inż. Adam Klich

Mgr inż. Anna LOSTER
Centrum Mechanizacji Górnictwa KOMAG

Model dyspersji zanieczyszczeń pyłowych a pomiary środowiskowe – porównanie na przykładzie miasta Łodzi

Streszczenie

Modelowanie procesów rozprzestrzeniania i przemian zanieczyszczeń w atmosferze odgrywa istotną rolę, zarówno w ocenie stanu bieżącego oraz opracowaniu i wdrażaniu przedsięwzięć naprawczych i zapobiegawczych. W pierwszej części artykułu przedstawiono krótką charakterystykę metody pomiarowej wykorzystanej do obliczeń rozprzestrzeniania zanieczyszczeń pyłowych. Druga część artykułu obejmuje podstawowe założenia oraz wyniki badań modelowych przeprowadzonych na przykładzie miasta Łodzi. Uzyskane rezultaty porównane zostały ze stężeniami pyłu PM₁₀ uzyskanymi w pomiarach środowiskowych.

Summary

Modelling of processes of propagation and changes of pollutants in the atmosphere plays a significant role both in assessment of present condition and development and implementation of repair and preventive investigations. A short characteristic of measuring method, which was used for calculations of propagation of dust pollutants, was presented in the first part of the paper. The second part of the paper includes basic assumptions and results of model tests, which were carried out on the example of Lodz city. Obtained results were compared with concentrations of PM₁₀ dust obtained during environmental measurements.

1. Wstęp

Obecnie modelowanie rozprzestrzeniania zanieczyszczeń w powietrzu atmosferycznym, w szczególności na obszarach zurbanizowanych, stosowane jest nie tylko do odzwierciedlania zjawisk, jakie już nastąpiły, ale również umożliwieniu symulowania zdarzeń przyszłych oraz przewidywaniu zagrożeń wywołanych emisjami losowymi (np. awarie). W przypadku oceny bieżącej możliwe jest wykorzystanie kombinacji metod pomiarowych i modelowania, lub wyłącznie modelowania. Sytuacje takie szczegółowo opisuje Rozporządzenie Ministra Środowiska (Dz.U. 2002.87.798) [1].

Modelowanie procesów rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w powietrzu atmosferycznym dokonywane jest z użyciem dwóch kategorii modeli [2, 3]: małoskalowych modeli fizycznych lub modeli matematycznych. Obecnie, do opisu procesów rozprzestrzeniania zanieczyszczeń w powietrzu, powszechnie stosowane są modele matematyczne.

Wybór modelu zdeterminowany jest sytuacją, jaką chcemy analizować. Przykładowo, dla zanieczyszczeń emitowanych z pojedynczego źródła zlokalizowanego na płaskim terenie, przy jednorodnych warunkach meteorologicznych i emisji stosuje się proste modele obliczeniowe (np. model Gaussa). W przypadku bardziej złożonych warunków zastosowanie prostego modelu obliczeniowego nie pozwoli uzyskać satysfakcjonujących wyników. Złożone modele obliczeniowe wiążą się również z zapewnieniem wystarczającego zbioru danych wejściowych o odpowiedniej wiarygodności.

Modelowanie uciążliwości poszczególnych ciągów komunikacyjnych, związanej ze wzmożoną emisją

z sektora transportu, stanowi obecnie jeden z ważniejszych etapów w projektowaniu i modernizacji infrastruktury komunikacyjnej. Spotykane modele stosowane do opisu zjawisk dyspersji zanieczyszczeń ze źródeł komunikacyjnych coraz częściej ograniczają się do skali mikro, uwzględniając specyfikę terenów uprzemysłowionych (topografię terenu, w tym wpływ budynków i innych przeszkód). Zwykle do opisu procesu dyspersji zanieczyszczeń stosuje się różne wersje formuł gaussowskich dla źródeł liniowych. Wykorzystywane są również formuły dla źródeł punktowych. W tym przypadku stosowane są dwa podejścia. Pierwsze opiera się na założeniu podziału pierwotnego źródła liniowego na odcinki zastępowane źródłami punktowymi. Drugie podejście traktuje każdy pojedynczy pojazd jako chwilowe źródło punktowe.

2. Metodyka badań modelowych

Do obliczeń modelowych wykorzystano program komputerowy SoundPLAN, z modulem AirPLAN, umożliwiającym modelowanie rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń ze źródeł punktowych, powierzchniowych, liniowych oraz dróg. W programie tym wykorzystano 3 modele obliczeniowe – model Gaussa, MISKAM i AUSTAL2000, w zależności od zaistniałego problemu. Na potrzeby niniejszej pracy, w obliczeniach wykorzystany został model MISKAM.

Model MISKAM jest modelem prognostycznym, który przekształca cechy geometryczne budynków w trójwymiarową strukturę „bloków”, a następnie symuluje przepływ powietrza na tym obszarze. Przy użyciu programu AirPLAN możliwe jest obliczanie wartości

średnich, percentyli oraz przekroczeń wartości doszacowanych stężeń zanieczyszczeń. Mapa wiatrów pozwala na ukazanie cech aerodynamicznych modelu, w tym prędkości i kierunku wiatru. W modelu MISKAM wykorzystywane są następujące typy obiektów: źródła punktowe, powierzchniowe i liniowe, drogi, budynki oraz obszar obliczeniowy i szorstkość terenu. Ukształtowanie terenu nie jest brane pod uwagę, dlatego teren powinien być relatywnie płaski. Drogi obrazowane są w postaci pasów, a szerokość drogi zdefiniowana we właściwościach obiektu określa szerokość źródła w oczku siatki.

Model MISKAM zalecany jest jako jeden z najbardziej dostępnych modeli, które potrafią rozwiązywać problemy dotyczące jakości powietrza. W szczególności model ten nadaje się do rozbudowanych przestrzeni zurbanizowanych, gdzie drogi osadzone są pomiędzy budynkami (konieczność modelowania przepływu turbulentnego).

Obliczenia wykonywane są wewnątrz obszaru, którego wielkość w postaci ilości oczek w siatce obliczeniowej, odległości między oczkami (gęstość siatki) oraz ilości warstw, w których dokonywane są obliczenia stężeń zanieczyszczeń, definiowana jest przez użytkownika. Budynki znajdujące się wewnątrz obszaru obliczeniowego traktowane są jako przeszkody. Możliwe jest również szacowanie wpływu mniejszych, rozproszonych przeszkód. Wpływ ten określany jest za pomocą parametru aerodynamicznej szorstkości terenu z_0 .

W modelu MISKAM wykorzystywane są statystyki meteorologiczne. Tworzone są one poprzez określenie ilości sektorów opisujących kompletną różę wiatrów. Klasyfikacja statystyki jest kompletna, gdy podane zostaną kierunki wraz z prędkościami wiatru (dla Polski wyróżnionych jest 36 różnych sytuacji meteorologicznych wynikających z 6 stanów równowagi atmosfery, którym odpowiadają zakresy prędkości wiatru ze skokiem co 1 m/s).

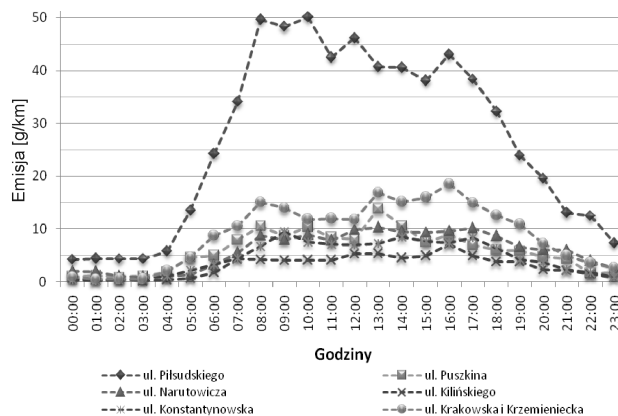
2.1. Teren badawczy

Badania modelowe przeprowadzono dla 4 punktów pomiarowych zlokalizowanych w mieście Łodzi. Są to: skrzyżowania ulic Narutowicza i Kilińskiego, ulic Puszkina i Piłsudskiego oraz skrzyżowania ulic Konstancyńskiej, Krzemienieckiej i Krakowskiej. Badania modelowe poprzedzone zostały pomiarami środowiskowymi stężenia pyłu PM10 i PM2,5 w powietrzu atmosferycznym.

2.2. Obliczenie wielkości emisji pyłu PM10 na podstawie danych o natężeniu ruchu

Wielkość emisji z pojazdów samochodowych określona została na podstawie pomiarów natężenia ruchu, z rozróżnieniem na samochody osobowe ($< 3,5$ t) oraz samochody ciężarowe ($> 3,5$ t), na podstawie zaleceń Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska i Ministerstwa Środowiska zawartych w opracowaniu „Wskazów-

ki dla wojewódzkich inwentaryzacji emisji na potrzeby ocen bieżących i programów ochrony powietrza” (4). W obliczaniu emisji zastosowano wskaźnikową metodę profesora Chłopka, gdzie wielkość emisji z pojazdów uzależniona jest od rodzaju pojazdu oraz jego prędkości. W obliczeniach przyjęto prędkość pojazdów 50 km/h jako prędkość obliczeniową. Wyniki obliczeń emisji przedstawione zostały na wykresie.



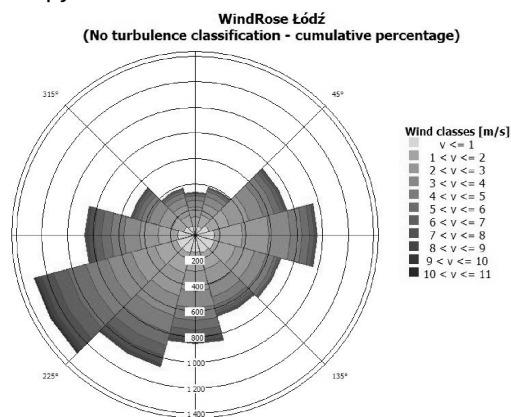
Rys.1. Wielkości emisji pyłu PM10 z pojazdów na wybranych ciągach komunikacyjnych

W obliczeniach modelowych przyjęto, że całość pyłu emitowanego przez pojazdy stanowi frakcja pyłu PM10 (oznacza frakcję pyłu zawieszonego o średnicach ziarna mniejszych od 10 μm).

2.3. Statystyka meteorologiczna

Dane dotyczące warunków meteorologicznych uzyskano z Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej (Stacja Meteorologiczna w Łodzi). Statystyka meteorologiczna zawierająca prędkości i kierunki wiatrów jest średnią roczną z wieloletni (lata 1966–1995). Na podstawie wyżej wymienionych informacji otrzymano graficzną interpretację danych meteorologicznych, przedstawioną w postaci róży wiatrów.

Dodatkowo w obliczeniach rozprzestrzeniania zanieczyszczeń wykorzystano dane o warunkach meteorologicznych pozyskane z Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Łodzi. Dane te obejmują dni, w których przeprowadzono pomiary środowiskowe stężenia pyłu.



Rys.2. Roczna róża wiatrów dla miasta Łodzi

2.4. Geometryczny model terenu

W celu wykonania obliczeń rozprzestrzeniania zanieczyszczeń dla każdego rozpatrywanego punktu pomiarowego opracowano geometryczny model terenu. W każdym przypadku określono siatkę obliczeniową ze skokiem co 10 m. Obliczenia wykonane zostały dla 15 różnych wysokości warstw. W modelu tym nie wzięto pod uwagę ukształtowania terenu ponieważ: (i) dla tak niewielkich obszarów różnice w wysokości terenu są pomijalnie małe, (ii) model MISKAM traktuje teren jako płaski. W modelu geometrycznym uwzględniono natomiast zabudowę terenu w pobliżu rozpatrywanych punktów pomiarowych (kształt oraz wysokość otaczających budynków), jak również przebieg i szerokość pasów drogowych. Współczynnik aerodynamicznej szorstkości terenu przyjęto jednakowy dla wszystkich punktów pomiarowych $z_0 = 10$ cm.

3. Wyniki badań modelowych

W każdym przypadku obliczenia przeprowadzone zostały dla 15 różnych wysokości (warstw). Ze względu na charakter rozprzestrzeniania zanieczyszczeń, uwagę skupiono na warstwie znajdującej się na wysokości pomiędzy 1 a 2 metrem, ponieważ największe stężenia zanieczyszczeń emitowanych przez pojazdy samochodowe występują w przybliżeniu na wysokości 1,5 m. Na potrzeby niniejszej pracy posłużono się średnimi wartościami stężeń pyłu PM10. Wielkości te zestawiono w tabeli 1.

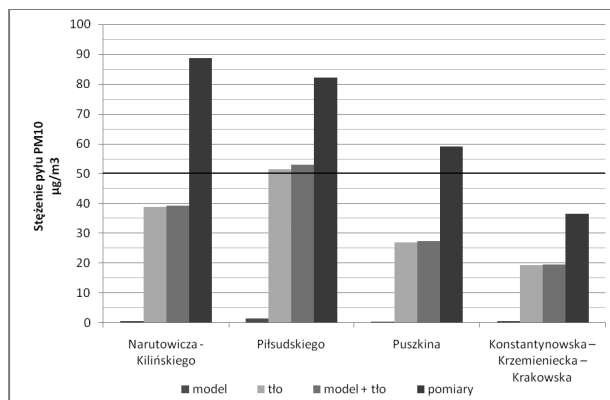
Średnie wielkości stężeń występujących w poszczególnych punktach, w których wykonano obliczenia modelowe

Tabela 1

Numer punktu pomiarowego	Miejsce wykonywanych pomiarów	Średnie stężenie pyłu PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
1	Narutowicza - Kilińskiego	0,570
2	Piłsudskiego	1,570
3	Puszkina	0,420
4	Konstantynowska – Krzemieniecka – Krakowska	0,670

Na podstawie przeprowadzonych badań modelowych stwierdzono, iż stężenie pyłu PM10 w wybranych punktach pomiarowych wynosi od $0,42 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (przy ulicy Puszkina) do $1,57 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (przy ulicy Piłsudskiego). Wstępna analiza porównawcza wykazała znaczne rozbieżności pomiędzy wynikami obliczeń modelowych a wielkościami stężeń pyłu PM10 z pomiarów. W tym celu, na podstawie danych uzyskanych z Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Łodzi, dla wybranych punktów pomiarowych wyznaczono poziom tła pyłu zawieszonego. Poziom ten został uśredniony dla 24 godzin i zsumowany z wielkościami stężeń pyłu będącymi wynikiem modelowania. Kolejne wielkości stężeń (wynikające z obliczeń modelowych, poziomu tła dla wybranego punktu pomiarowego, sumy poziomu

pyłu PM10 uzyskanego z obliczeń modelowych i poziomu tła oraz stężeń pyłu PM10 uzyskanego w pomiarach środowiskowych) zestawione zostały na poniższym wykresie.



Rys.3. Porównanie stężeń pyłu PM10

Podsumowując, można powiedzieć, że poziom pyłu zawieszonego PM10 pochodzącego z badanego ruchu ulicznego jest o wiele niższy od wartości zmierzonych podczas pomiarów środowiskowych. Znacznie mniejsze rozbieżności uzyskujemy, gdy w obliczeniach uwzględnione zostaje tło zanieczyszczeń (stężenia pyłu tego samego rzędu). Stężenia pyłu uzyskane z modelowania kształtują się podobnie jak stężenia uzyskane w pomiarach środowiskowych. Przy uwzględnieniu tła zanieczyszczeń, dopuszczalny poziom pyłu uśredniony dla 24 godzin ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) przekroczony został przy ulicy Piłsudskiego.

4. Wnioski

- Wykorzystany model rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń MISKAM znajduje zastosowanie do szczegółowej analizy przepływu i pola stężeń wokół budynków i innych przeszkód i przeznaczony jest w szczególności do modelowania rozkładu stężeń w złożonych strukturach miejskich, jak np. kaniony uliczne.
- Badania modelowe rozprzestrzeniania się pyłu PM10 w obrębie wybranych szlaków komunikacyjnych wykazały, że stężenia wahają się w granicach od $0,42 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (przy ulicy Puszkina) do $1,57 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (przy ulicy Piłsudskiego). W obliczeniach tych nie uwzględniono tła zanieczyszczeń.
- Stężenia otrzymane w wyniku badań modelowych z wykorzystaniem modelu rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń MISKAM były znacznie niższe od stężeń pyłu PM10 wynikających z pomiarów środowiskowych, gdy w badaniach nie uwzględniono tła zanieczyszczeń.
- Po uwzględnieniu tła zanieczyszczeń, można powiedzieć, że dopuszczalny poziom pyłu uśredniony dla 24 godzin ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) przekroczony został przy ulicy Piłsudskiego osiągając wartość $53 \mu\text{g}/\text{m}^3$,

-
- Wbudowany moduł graficzny programu umożliwia interpretację graficzną wyników badań modelowych w postaci izolinii stężeń.

Literatura

1. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 5 grudnia 2002 r. w sprawie wartości odniesienia dla niektórych substancji w powietrzu. Dz.U. z 2002 r., nr 1 poz. 12.
2. Brzozowska L., Brzozowski K.: Komputerowe modelowanie emisji i rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń samochodowych. Wydawnictwo Śląsk, Katowice 2003.
3. Markiewicz M.: Podstawy modelowania rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w powietrzu atmosferycznym. Warszawa, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2004.
4. Łobocki L.: Wskazówki metodyczne dotyczące modelowania matematycznego w systemie zarządzania jakością powietrza. Warszawa, Ministerstwo Środowiska. Główny Inspektorat Środowiska, 2003.

Artykuł wpłynął do redakcji w marcu 2008 r.
Recenzent: prof.dr hab.inż. Teodor Winkler

Czy wiesz, że...

...powstała nowa lampa górnicza KS-7700. Jej twórcy uważają, że stanowi ona kamień milowy w rozwoju techniki oświetleniowej w górnictwie. Lampa, przewidziana do mocowania bezpośrednio na hełmie, nie wymaga odrębnego akumulatora i kabla. Przy jej tworzeniu wykorzystano kombinację nowatorskiej technologii jonów litu i diody elektroluminescencyjnej (LED). Waży zaledwie 130 gramów, zwiększając ergonomiczność i bezpieczeństwo pracy.

Glückauf 2007 nr 12 s. 589-592

Dr inż. Antoni KOZIEŁ
 Mgr inż. Tadeusz MAZURKIEWICZ
 Centrum Mechanizacji Górnictwa KOMAG

Scenariusze rozwoju technologii mechanizacji przemysłu wydobywczego do 2020 roku w ocenie ekspertów

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki oceny scenariuszy rozwoju technologii mechanizacji przemysłu wydobywczego przeprowadzonej metodą Delphi. Powyższa problematyka jest realizowana w ramach projektu celowego typu foresight pt.: „Scenariusze rozwoju technologicznego przemysłu wydobywczego węgla kamiennego” koordynowanego przez Główny Instytut Górnictwa w Katowicach we współpracy z Akademią Górniczo-Hutniczą w Krakowie, IGSMiE PAN w Krakowie, Politechniką Śląską w Gliwicach, EMAG w Katowicach oraz Centrum Mechanizacji Górnictwa KOMAG w Gliwicach. Przedstawiane wyniki oceny pozwalają na ustalenie hierarchii technologii mechanizacji, etapów ich przewidywanego wdrożenia oraz wyznaczenie priorytetowych kierunków prac naukowo-badawczych, umożliwiających osiągnięcie zamierzonych celów.

Summary

Results of assessment, made by Delphi method, of scenarios of development of mechanization technology in the mining industry were presented in the paper. The above mentioned problem is realized within a targeted project of a foresight type entitled: “Scenarios of technological development of hard coal mining industry”, which is coordinated by Central Mining Institute in Katowice in cooperation with AGH University of Science and Technology in Cracow, IGSMiE PAN in Cracow, Silesian University of Technology in Gliwice, EMAG in Katowice and KOMAG Mining Mechanization Centre in Gliwice. Presented assessment results enable to determine a hierarchy of mechanization technology, stages of predicted implementation and priority directions of scientific-and-research work, which enables to reach the set objectives.

1. Wprowadzenie

Wzrost gospodarczy każdego kraju jest związany ze zwiększoną konsumpcją energii, która w wielu przypadkach jest wytwarzana w elektrowniach węglowych. Brak własnych zasobów gazu naturalnego i ropy naftowej oraz innych źródeł wytwarzania energii wskazuje na dominującą rolę węgla kamiennego, również w Polsce.

W świetle koniecznych zmian związanych z ochroną środowiska oraz potrzebą zwiększenia bezpieczeństwa w przemyśle wydobywczym węgla kamiennego rodzi się pytanie: jakie technologie powinny być brane pod uwagę w przyszłości i jak należy je oceniać, uwzględniając potrzebę inwestorów, jak i społeczną akceptację?

Realizacja powyższych celów wymaga zastosowania nowych innowacyjnych technologii tzn.: zapewnienia zdolności wytwarzania nowych produktów i usług, podjęcia dodatkowej działalności gospodarczej i stworzenia nowych powiązań rynkowych.

Realizowany projekt celowy typu foresight pt.: „Scenariusze rozwoju technologicznego przemysłu wydobywczego węgla kamiennego” ma na celu identyfikację innowacyjnych technologii oraz opracowanie wariantów scenariuszy ich rozwoju do 2020 roku, co pozwoli na przygotowanie materiałów do opracowania strategii rozwoju technologicznego branży przemysłu wydobywczego węgla kamiennego.

2. Ogólny zarys tworzenia scenariuszy rozwoju technologii mechanizacji przemysłu wydobywczego

W ramach projektu, zgodnie z metodą tworzenia scenariuszy [2] przeprowadzono analizę strukturalną procesu produkcji węgla kamiennego w aspekcie rozwoju technologicznego.

Zdefiniowano strukturę procesu produkcji węgla kamiennego, jako układu cząstkowych procesów, czynności i operacji technologicznych, realizowanych w określonym czasie i przestrzeni, przez zespoły ludzkie, przy użyciu środków technicznych [7].

Cząstkowe procesy technologiczne związane z produkcją węgla kamiennego podzielono na:

- przygotowawcze (roboty udostępniające i przygotowawcze),
- podstawowe (roboty wybierkowe i przeróbcze),
- pomocnicze (wentylacja, transport, inne),

oraz procesy towarzyszące (ochrona środowiska, bezpieczeństwo) [6].

Przeprowadzona w projekcie identyfikacja technologii górnictwa objęła:

- technologie podstawowe, tj.:
 - technologie udostępniające,
 - technologie przygotowawcze,

- technologie eksploatacyjne,
- technologie przeróbki mechanicznej, oraz technologie pomocnicze – infrastrukturalne, tj.:
- technologie transportu,
- technologie wentylacji,
- technologie odwadniania.

Wyszczególnione technologie poddano ocenie innowacyjności, na podstawie kryteriów ogólnych i szczegółowych, a następnie stworzono wstępne scenariusze mechanizacji procesów eksploatacji.

W opisach scenariuszy zawarto:

- wyróżniki technologii (maszyny i urządzenia),
- opis technologii charakteryzujący stan obecny i docelowy, w oparciu o rozwiązania krajowe i światowe,
- ewolucję technologii od stanu obecnego do 2020 r.,
- czynniki warunkujące rozwój, tj.: zasoby, warunki górnictwo-geologiczne, zagrożenia i inne,
- odniesienie do kryteriów ogólnych i szczegółowych,
- kierunki prac badawczo-rozwojowych związanych z rozwojem technologii [5].

3. Metoda badań

Prognozowanie rozwoju technologicznego w odniesieniu do branży górnictwa węgla kamiennego jest trudne ze względu na ilość i specyfikę czynników, z jakimi mamy do czynienia. Część z nich występuje w obszarze decyzji nie związanych ściśle z górnictwem węgla kamiennego. Stąd w procesie foresightu technologicznego zastosowano metodę Delphi opracowaną w latach 50. XX wieku w Rand Corporation, w Santa Monica w Kalifornii.

Metoda opisana jest „jako ściśle zrestrukturyzowany proces komunikacji grupowej, na tematy, co do których dostępna wiedza jest niekompletna i niepewna, a opinie wydawane są przez ekspertów” (Häder i Häder, 1995, p.12) [4].

Wechsler opisuje standardową metodę Delphi następująco: „badanie stosowane przez grupę monitorującą, składające się z kilku cykli grup eksperckich, anonimowych wobec siebie i na podstawie których, subiektywno-intuicyjnych prognoz budowany jest konsensus w badanej kwestii. Po każdym cyklu badań formułowana jest standardowa informacja zwrotna na temat statystycznej opinii grupy, obliczana z mediany i kwantyli pojedynczych prognoz i jeśli to możliwe, podawane są argumenty i kontrargumenty dla opinii najbardziej rozbieżnych” (Wechsler 1978 pp.23F).

Metoda Delphi, odwołująca się do intuicji i wiedzy ekspertów, wywodzi się z „burzy mózgów” i polega na opracowaniu szczegółowych ankiet oraz stopniowym uzgadnianiu opinii, poprzez informowanie ich o wyni-

kach ankiet. Na podstawie analizy statystycznej uzyskuje się uogólnioną opinię ekspertów dotyczącą prognozy określonego zjawiska [1].

Prognozowanie przebiegało w kilku fazach badawczych:

- Przygotowanie ankiet - wybór problemów, które mają być przedmiotem prognozy. W tym etapie formułuje się pytania. W celu sprawdzenia poprawności zbioru pytań oraz wyeliminowania zależności przeprowadza się ankietę próbną, w wąskim gronie ekspertów.
- Wybór grupy ekspertów. Jest to najważniejszy aspekt prezentowanej metody. Powinna to być grupa osób kompetentnych, o zróżnicowanych poglądach, niezależnych od siebie.
- Rozesłanie ankiety do grupy ekspertów. Ankietą rozsyłana jest anonimowo.
- Analiza otrzymanych odpowiedzi. Jeśli eksperci prezentują zgodną opinię, kończy się badanie. W przypadku rozbieżności opinii, ankietę wraz z wynikiem pierwszej tury, wysyła się ponownie do ekspertów.
- Rozesłanie ankiety II do grupy ekspertów. Ankietą drugiej tury jest identyczna jak w turze pierwszej. Procedura metody wymaga jednak zapoznania się z wynikami I tury, co skłania do przyjęcia pozycji większości. Dzięki tej metodzie eliminuje się odpowiedzi ekstremalne. Przywilejem eksperta jest podtrzymanie swojego stanowiska.
- Analiza II tury ankietyzacji i ostateczne opracowanie jej wyników.

4. Analiza wyników ankietowania

Analizę odpowiedzi ekspertów przeprowadzono w dwóch etapach. Pierwszy etap badań i analizy przeprowadzono w okresie październik–listopad 2007 r., natomiast drugi etap odbył się w okresie styczeń–luty 2008 r. [8].

Do określenia perspektyw rozwoju technologii mechanizacji (jeden z obszarów ankiety) krajowego przemysłu wydobywczego do 2020 r. wybrano ekspertów związanych zawodowo z górnictwem i posiadających wiedzę oraz wieloletnie doświadczenie. Byli to eksperci z kopalń, urzędów, uczelni oraz jednostek badawczo-rozwojowych.

Wyniki analizy przedstawiają uśrednione wartości odpowiedzi po II etapie ankietowania.

W hierarchii **ważności obszarów technologii mechanizacji procesów eksploatacji**, w skali 1÷3 (1 - niska, 2 - średnia, 3 - wysoka) ocena ekspertów była następująca:

1. wprowadzenie systemów skutecznej i efektywnej wentylacji oraz klimatyzacji – 2,83,
2. wprowadzenie efektywnych systemów zwalczania zapylenia – 2,75,

3. zwiększenie efektywności i bezpieczeństwa systemów transportu materiałów i urządzeń oraz przewożenia ludzi – 2,64,
 4. zwiększenie bezpieczeństwa w rejonie skrzyżowania ściana-chodnik poprzez wprowadzenie specjalistycznych obudów – 2,50,
 5. wzrost trwałości i niezawodności systemów mechanizacyjnych – 2,49,
 6. zwiększenie bezpieczeństwa i wydajności transportu pionowego wraz z pogłębiającymi się poziomami eksploatacji – 2,37,
 7. wzrost efektywności technologii kombajnowych (system ścianowy) – 2,36
 8. stopnia pewności ruchu układów przenośników taśmowych – 2,30,
 9. wzrost innowacyjności i konkurencyjności maszyn i urządzeń poprzez zintegrowane sterowanie, a w konsekwencji automatyzację – 2,24,
 10. wprowadzenie mechanizacji stawiania obudowy w wyrobiskach korytarzowych – 2,23,
 11. wprowadzenie innowacyjnych technologii drażenia wyrobisk korytarzowych – 2,13,
 12. wprowadzenie systemów mechanizacji kotwienia wyrobisk korytarzowych – 2,07,
 13. wzrost innowacyjności kombajnów dla ścian niskich – 2,06,
 14. wprowadzenie efektywnych technologii strugowych – 2,01,
 15. zwiększenie stopnia wykorzystania samodzielnej obudowy kotwionej i obudowy podporowo-kotwionej – 1,93.
3. systemy transportu poziomego z napędem własnym eliminujące przeładunki na drogach transportu – do 2015 r. – 93% ankietowanych,
 4. kompleksowe systemy mechanizacyjne drażenia wyrobisk korytarzowych – do 2015 r. – 54,4% ankietowanych,
 5. zautomatyzowana technologia eksploatacji strugowej o dużej efektywności – do 2015 r. – 55,7% ankietowanych,
 6. obudowa zmechanizowana o regulowanej podporności wstępnej „on-line”, zmniejszająca energochłonność procesu skrawania – do 2015 r. – 57,9% ankietowanych,
 7. zmechanizowana obudowa skrzyżowana o regulowanej szerokości – do 2015 r. – 84,8% ankietowanych,
 8. automatyczny układ monitoringu i sterowania odpylaniem wyrobisk korytarzowych – do 2015 r. – 74,6% ankietowanych,
 9. kompleksowe systemy klimatyzacji – do 2015 r. – 79,1% ankietowanych,
 10. instalacja skojarzonego układu energetyczno-chłodniczego z zastosowaniem silników zasilanych metanem – do 2015 r. – 18,6% ankietowanych,
 11. systemy mechanizacji kotwienia wraz z układem monitoringu obudowy – do 2015 r. – 65,5% ankietowanych,
 12. system transportu z wykorzystaniem samojezdnych wozów oponowych – do 2015 r. – 61,9% ankietowanych.

Wyłoniono również **priorytety badawcze i hierarchię ich ważności** (w skali 1÷3) oraz przewidywany okres ich realizacji.

W opinii ekspertów wdrożenie technologii mechanizacji procesów eksploatacji węgla wymaga podjęcia następujących prac badawczych:

- | | |
|---|-------|
| 1. bezpieczeństwo | 3,00, |
| 2. niezawodność | 2,88, |
| 3. skuteczność | 2,75, |
| 4. wydajność | 2,60, |
| 5. wpływ na środowisko | 2,47, |
| 6. energochłonność i materiałochłonność | 2,46, |
| 7. dostępność technologii | 2,29, |
| 8. stopień informatyzacji i automatyzacji | 2,13, |
| 9. uniwersalność | 2,12. |
1. zautomatyzowana technologia mechanizacji kombajnowej (ścianowej) o dużej wydajności – do 2015 r. – 88,7% ankietowanych,
 2. urządzenia transportu pionowego z układami sterującymi nowej generacji – do 2015 r. – 48,7% ankietowanych,
 3. rozwój ścianowej obudowy zmechanizowanej w aspekcie minimalizacji masy i doboru jej podporności oraz obudowy skrzyżowania i monitoringu obciążeń w strefie skrzyżowania ściana-chodnik – 2,53 – do 2015 r. – 55,4% ankietowanych,
 4. zwiększenie skuteczności systemów odpylania wyrobisk korytarzowych, poprzez zastosowanie urządzeń o większej wydajności i automatycznej regulacji parametrów zasilania – 2,37 – do 2015 r. – 66,1% ankietowanych,

5. opracowanie systemu automatycznego sterowania kompleksem ścianowym, systemu monitorowania środowiska górniczego w przodku i systemu transmisji teleinformatycznej – 2,30 – do 2020 r. – 49,7% ankietowanych,
6. doskonalenie systemów ciągnięcia, hamowania, sterowania i kontroli maszyn wyciągowych dla zwiększających się głębokości eksploatacji – 2,21 – do 2015 r. – 55,3% ankietowanych,
7. technologia wykorzystania metanu do zasilania energetycznego urządzeń chłodniczych – 2,26 – do 2015 r. – 55% ankietowanych,
8. opracowanie technologii eksploatacji pokładów cienkich – 2,33 do 2020 r. – 52,6% ankietowanych,
9. nowe bezpieczne technologie zbrojenia ścian i alokacji wyposażenia ścianowego z zastosowaniem wozów oponowych – 2,08 – do 2015 r. – 37,2% ankietowanych,
10. zastosowanie technologii kotwionej w zmieniających się warunkach geomechanicznych – 2,05 – do 2015 r. – 52,1% ankietowanych,
11. opracowanie innowacyjnych technologii wiertniczych – 2,08 – do 2015 r. – 47,8% ankietowanych,
12. opracowanie układu kontroli położenia i sterowania maszyn wchodzących w skład autonomicznych kompleksów chodnikowych, z systemami podobnymi do GPS – 1,73 – do 2020 r. – 42,2% ankietowanych.

W końcowej części ankiety oceniono **hierarchię ważności obszarów instytucjonalnych**, w których powinny koncentrować się działania państwa, umożliwiające rozwój wytypowanych technologii mechanizacyjnych i osiągnięcie celów strategicznych górnictwa węgla kamiennego.

W skali 1 do 5 (1 - nieistotne, 2 - mało ważne, 3 - ważne, 4 - bardzo ważne, 5 - decydujące) eksperci wydali następującą opinię:

1. stworzenie warunków prawnych i instytucjonalnych umożliwiających rozwój technologiczny branży i osiągnięcie celów strategicznych – 4,56,
2. efektywne wykorzystanie możliwych źródeł finansowania rozwoju technologicznego – 4,36,
3. określenie obszarów koniecznych zmian w prawie – 4,34,
4. stworzenie warunków do przyciągnięcia kapitału – 4,22,
5. poszerzenie bazy szkolnictwa zawodowego, średniego i wyższego – 3,93,
6. rozwijanie skutecznej kampanii informatycznej pozwalającej przekonać społeczeństwo o kluczowym znaczeniu górnictwa dla gospodarki – 3,92,
7. integracja przemysłu górniczego z władzami regionalnymi w zakresie planowania przestrzennego – 3,81,
8. identyfikacja silnych zespołów badawczych – 3,62.

5. Podsumowanie

W artykule przedstawiono ogólny zarys tworzenia scenariuszy rozwoju technologii mechanizacji przemysłu wydobywczego węgla kamiennego do 2020 r., z zastosowaniem metody Delphi, na podstawie wyrażenia statystycznej opinii ekspertów.

Pytania zawarte w ankiecie dotyczyły trzech nurtów badawczych. W etapie pierwszym oceniono hierarchię ważności obszarów technologii mechanizacyjnych.

Najwyższą hierarchię przypisano technologiom wentylacji, klimatyzacji i zwalczania zapylenia oraz technologiom zwiększającym bezpieczeństwo systemów transportu oraz technologiom stosowanym w rejonie skrzyżowań ściana–chodnik.

O ile istotność tych technologii wydaje się być oczywista, to zastanawia stosunkowo niska ocena technologii kombajnowej i strugowej dla ścian niskich oraz technologii zwiększających stopień wykorzystania kotwienia.

W ocenie kryteriów technologii mechanizacyjnych na czołowych miejscach znalazły się: bezpieczeństwo, niezawodność, skuteczność, wydajność oraz wpływ na środowisko. Odzwierciedla to oczekiwania użytkowników technologii i potwierdza konieczność uwzględnienia wyżej wymienionych kryteriów we wdrożeniu technologii.

Na podstawie kryteriów ustalono, w etapie drugim, hierarchię innowacyjności technologii.

Najwyżej oceniono zautomatyzowaną technologię eksploatacji kombajnowej o dużej wydajności, urządzenia transportu pionowego z układami sterowania nowej generacji, systemy transportu z napędem własnym, kompleksowe systemy do drażenia wyrobisk korytarzowych oraz zautomatyzowaną technologię eksploatacji strugowej. Ocena ta jest również zgodna z oczekiwaniami, wyszczególnia bowiem najważniejsze ogniwa procesu eksploatacji węgla.

W ocenie kierunków prac badawczo-rozwojowych na najwyższych pozycjach znalazły się priorytety związane z opracowaniem skutecznych metod ograniczania zagrożeń metanowych oraz oddziaływania na środowisko.

W hierarchii ważności obszarów instytucjonalnych, nie związanych z górnictwem, najwyższą ocenę przypisano stworzeniu warunków prawnych i instytucjonalnych, umożliwiających rozwój branży i osiągnięcie celów strategicznych.

Opracowane scenariusze dają obraz rozwoju branży górnictwa węgla kamiennego pożądanego kierunku w zakresie technologii mechanizacji oraz priorytetów prac badawczych, których rozwiązanie warunkują możliwości szybkiego wdrożenia tych nowych technologii mechanizacyjnych.

Literatura

1. Kicki J., Sobczyk E.J.: Perspektywy górnictwa węgla kamiennego na progu XXI wieku – ocena ekspertów. Materiały Konferencyjne Szkoła Eksploatacji Podziemnej, 2006.
2. Kozieł A., Turek M.: Scenariusze rozwoju technologicznego przemysłu wydobywczego. Konferencja KOMTECH 2007, Szczyrk, listopad 2007.
3. Kudelko M., Sobczyk E.J.: Wyniki ankiety „Scenariusze rozwoju technologicznego przemysłu wydobywczego węgla kamiennego”. CMG KOMAG, listopad 2007 – materiał nie publikowany.
4. Przegląd i analiza projektów foresight zrealizowanych w obszarze przemysłu wydobywczego na świecie – praca zbiorcza. IGSMiE PAN Kraków, grudzień 2006 – materiał nie publikowany.
5. Scenariusze rozwoju mechanizacji procesów eksploatacji w górnictwie węgla kamiennego. AGH Kraków, CMG KOMAG, Pol.Śl., wrzesień 2007 – materiał nie publikowany.
6. Turek M.: Analiza struktury procesu produkcji węgla kamiennego w aspekcie rozwoju technologicznego. GIG, czerwiec 2006 – materiał nie publikowany.
7. Zając E.: Organizacja produkcji w kopalniach węgla kamiennego. Śląskie Wydawnictwo Techniczne, Katowice 1994.
8. Wyniki drugiego etapu ankietyzacji w ramach weryfikacji scenariuszy rozwoju technologicznego przemysłu wydobywczego węgla kamiennego. IGSMiE PAN Kraków, CMG KOMAG, Pol.Śl. – materiał nie publikowany

Artykuł wpłynął do redakcji w marcu 2008 r.

Recenzent: prof.dr inż. Włodzimierz Sikora



UNIA EUROPEJSKA

Projekt współfinansowany ze środków
Europejskiego Funduszu Rozwoju
Regionalnego



UNIA DLA PRZEDSIĘBIORCZYCH
PROGRAM KONKURENCYJNOŚĆ

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

Czy wiesz, że...

...w dniu 1 stycznia 2008 roku nastąpiło połączenie części niemieckiej firmy DBT, produkującej obudowy zmechanizowane dla górnictwa podziemnego, z amerykańską firmą BUCYRUS, stynącą z produkcji urządzeń wykorzystywanych w górnictwie odkrywkowym. Nowe przedsiębiorstwo ma załogę liczącą ponad 6 tysięcy pracowników. Centrala firmy BUCYRUS International znajduje się w Wisconsin w USA.

Bergbau 2007 nr 11 s. 496