

Dr inż. Bogdan GICALA
Dr inż. Marek LENARTOWICZ
Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Symulacja numeryczna mieszania i napowietrzania zawiesiny flotacyjnej w komorze flotownika pneumomechanicznego

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki symulacji numerycznej przepływu zawiesiny flotacyjnej przez komorę flotownika powietrzno-mechanicznego typu IZ-12 dla nominalnych parametrów pracy flotownika. Zawartość komory flotacyjnej potraktowano jako układ dwufazowy: zawiesina flotacyjna-powietrze. Założono występowanie przepływu turbulentnego. Symulację w przestrzeni trójwymiarowej przeprowadzono dla stanu nieustalonego. Wyznaczono pole prędkości zawiesiny oraz dyspersję pęcherzyków powietrza w komorze.

Summary

The results of numerical simulation of suspension flow through the chamber of flotation machine IZ-12 type are presented in the paper. The simulation is carried out for the nominal operation parameters of the machine. The content of flotation chamber is treated as two-phase system: solid particles suspension-air bubbles. The transient simulation was carried out for 3D geometry of the flotation machine. The turbulent flow has been assumed. The velocity flow field and air bubbles distribution have been determined.

1. Wstęp

Podczas flotacji pianowej zachodzą złożone zjawiska chemiczne i fizyczne związane ze wzajemnym oddziaływaniem fazy stałej, ciekłej i gazowej. Zjawiska te w dalszym ciągu nie są w pełni poznane. Najczęściej proces flotacji pianowej jest prowadzony w komorach, w których zassane przez maszyny flotacyjne lub włożone do zawiesiny powietrze jest dyspergowane sposobem mechanicznym w układzie wirnik-stator (maszyny mechaniczne lub pneumomechaniczne).

Wyniki rozdziału (wzbogacania) flotacyjnego zależą od bardzo wielu czynników. Jednym z nich jest intensywność mieszania i napowietrzania zawiesiny flotacyjnej. Ilość powietrza konieczna do zapewnienia prawidłowego przebiegu procesu flotacji zależy od koncentracji części stałych w zawieszynie, zawartości substancji mineralnej rozpuszczalnej w wodzie oraz czynników typu mechanicznego. Odpowiednio dobrane warunki hydrodynamiczne flotacji stanowią gwarancję mineralizacji pęcherzyka gazu. Warunki te może zapewnić odpowiednia charakterystyka ruchu zawiesiny flotacyjnej, wymuszonego obrotami wirnika maszyny flotacyjnej. Optymalne zaprojektowanie układu wirnik-stator oraz kształtu komory ma więc istotny wpływ na efektywność działania maszyny flotacyjnej.

Konwencjonalne zasady projektowania komór flotacyjnych w większości opierają się na zależnościach określonych empirycznie. Jednak w ostatnich latach numeryczna mechanika płynów (Computational Fluid Mechanics – CFD) jest coraz szerzej stosowana do modelowania przepływów układów trójfazowych powietrze-woda-cząstki stałe w komorach flotowników me-

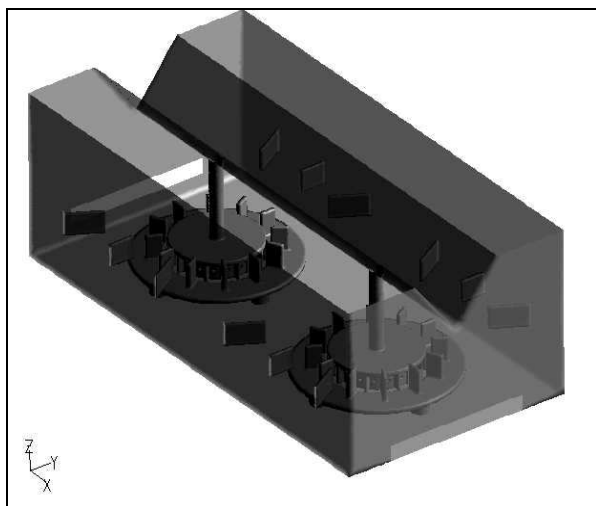
chanicznych [1, 2, 3, 4, 5]. Zastosowanie metody CFD pozwala na szczegółowe określenie warunków hydraulicznych w komorze flotownika, tzn. rozkładu prędkości, ciśnień, naprężeń ścinających oraz stężenia objętościowego faz. Pozwala także na określenie charakterystycznych parametrów pracy flotownika, takich jak: moc mieszania, czas mieszania, czas zatrzymania powietrza w komorze flotacyjnej, co stanowi podstawę do optymalizacji konstrukcji urządzeń flotacyjnych.

W pracy przedstawiono wyniki symulacji numerycznej procesu mieszania i napowietrzania zawiesiny w komorze flotownika typu IZ-12 dla określonego składu granulometrycznego i petrograficznego mułu węglowego. O wyborze typu maszyny zdecydowała jej powszechność zastosowania w zakładach przerobczych węgla kamiennego.

2. Maszyna flotacyjna IZ-12

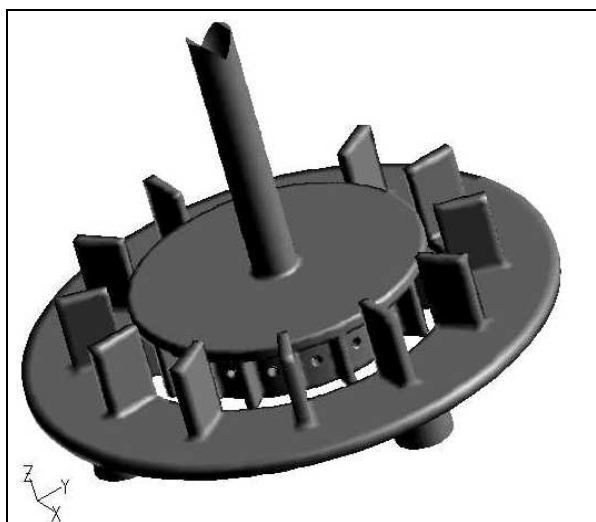
Maszyny te buduje się w zespołach dwuwirnikowych typu korytowego z dwustronnym odbiorem zmineralizowanej piany flotacyjnej (rys. 1). W przedziale roboczym, na pionowym wydrążonym wale osadzony jest wirnik pracujący wewnątrz statora. Łopatki statora umocowane są do poziomej płyty ustawionej powyżej dna przedziału roboczego. Tarcza statora posiada centralnie umieszczony otwór, przez który wirnik zasysa zawiesinę flotacyjną. Do ściany przedniej i tylnej przedziału roboczego przytwierdzone są płaskie łopatki rozmieszczone promieniowo w stosunku do osi wału napędowego. Służą one do uspokojenia ruchu wirowego zawiesiny flotacyjnej. Powietrze sprężone dostarczane jest do kolektora powietrznego, z którego prze-

wodami doprowadzane jest przez tuleje łożyskowe do wnętrza wydrążonych wałów napędowych. Zawieszinę flotacyjną doprowadza się do skrzynki nadawczej, z której przepływa ona dolną szczeliną przepływową do przedziału roboczego. W górnej części obu przedziałów roboczych zabudowane są (w ich podłużnej osi) nachylone ścianki służące do kierowania zmineralizowanej piany flotacyjnej w kierunku progów wyladowniczych. Piana flotacyjna zgarniana jest z powierzchni zawiesziny zgarniaczami skrzydełkowymi do koryt odbiorczych zainstalowanych po obu stronach flotownika. Zespoły dwuwirnikowe łączone w pełny flotownik ustawia się kaskadowo, przy czym na jednym poziomie mogą pracować dwa zespoły (cztery przedziały robocze), następnie zespoły łączone są z poprzednimi skrzynką pośredniczącą, ustawiane są niżej przy różnicy poziomów dna przedziałów roboczych wynoszącej minimum 400 mm. Flotownik ten po ostatnim przedziale roboczym, wyposażony jest w skrzynkę odpadową [6, 7].



Rys.1. Model geometryczny komory flotownika IZ-12

Na rysunku 2 przedstawiono zespół wirnika i statora flotownika typu IZ-12.



Rys.2. Wirnik i stator maszyny flotacyjnej IZ-12

Tarcza wirnika stanowi całość z cylindrycznym pierścieniem. Po zewnętrznej stronie pierścienia rozmieszczone są, ułożone promieniowo, łopatki. Pomiędzy łopatkami, w pierścieniu cylindrycznym, wywiercone są otwory. Zawieszina flotacyjna zasysana wirnikiem przez centralny otwór w tarczy statora miesza się z powietrzem dostarczanym przez wydrążony wał, a następnie zostaje wyrzucana siłą odśrodkową pracującego wirnika w przestrzeń aeracyjno-dyspersyjną pomiędzy łopatkami wirnika i łopatkami statora. W obszarze tym następuje silna dyspersja powietrza i nasycanie zawiesziny flotacyjnej pęcherzykami powietrza. W tabeli 1 przedstawiono dane techniczne flotownika, dla którego przeprowadzono symulację.

Dane techniczne flotownika IZ-12 [7]

Tabela 1

Dopuszczalna liczba zespołów na jednym poziomie		2
Minimalna różnica poziomów pomiędzy zespołami	mm	400
Pojemność jednej komory roboczej	m ³	13
Masa zespołu dwukomorowego	kg	9500
Długość zespołu dwukomorowego	mm	5400
Szerokość zespołu dwukomorowego	mm	2700
Szerokość zespołu na wysokości progów odbiorczych	mm	3200
Wysokość zespołu do progów odbiorczych	mm	1900
Nominalne natężenie dopływu zawiesziny	m ³ /min	do 15,0
Nominalne natężenie dopływu powietrza z dmuchawy do jednego wirnika	m ³ /min	do 8,0
Ciśnienie powietrza sprężonego w kolektorze	at	0,3
Średnica wirnika	mm	1000
Prędkość obrotowa wirnika	obr/min	140
Moc silnika napędzającego wirnik	kW	22

3. Model obliczeniowy

Proces flotacji można potraktować jako przepływ turbulentny mieszaniny dwóch faz: zawiesziny cząstek stałych w wodzie (stanowiącej fazę ciągłą) oraz pęcherzyków powietrza podawanego przez układ napowietrzający (stanowiących fazę rozproszoną). Określenie warunków hydraulicznych panujących w komorze flotownika wymaga zatem rozwiązania układu równań różniczkowych opisujących zasadę zachowania masy, pędu oraz wielkości charakteryzujących przepływ turbulentny dla mieszaniny dwóch faz.

Do symulacji przepływu wielofazowego we flotowniku zastosowano tzw. model ASM (Algebraic Slip Model). Model ten został zaimplementowany w komercyjnym pakiecie oprogramowania CFD Fluent 6.3 [8].

Jest uproszczonym podejściem Eulera do modelowania przepływów n-fazowych. Rozwiązane jest jedno równanie pędu dla mieszaniny faz (w równaniu pędu składowe prędkości są wartościami średnimi ważonymi udziałem masowym poszczególnych faz). Częstkom fazy rozproszonej przypisana jest prędkość względna (poślizgu). Oddziaływania międzyfazowe zależą od prędkości względnych i są sformułowane algebraicznie.

Równania opisujące turbulencję i energię są również rozwiązywane w odniesieniu do mieszaniny faz. Równanie transportu dla udziału objętościowego rozwiązywane jest dla każdej fazy rozproszonej. Wyżej wymienione równania można zapisać w następujący sposób:

Równanie ciągłości dla mieszaniny faz [8]:

$$\frac{\partial \rho_m}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_m \bar{u}_m) = 0 \quad (1)$$

Równanie pędu dla mieszaniny [8]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} (\rho_m \bar{u}_m) + \nabla \cdot (\rho_m \bar{u}_m \bar{u}_m) = \\ = -\nabla p + \nabla \cdot [\mu_m (\nabla \bar{u}_m + \nabla \bar{u}_m^T)] + \\ + \rho_m \bar{g} + \bar{F} + \nabla \cdot \left(\sum_{k=1}^n \alpha_k \rho_k \bar{u}_{dr,k} \bar{u}_{dr,k} \right) \end{aligned} \quad (2)$$

Równanie transportu dla udziału objętościowego każdej z faz k [8]:

$$\frac{\partial (\alpha_k \rho_k)}{\partial t} + \nabla \cdot (\alpha_k \rho_k \bar{u}_m) = -\nabla \cdot (\alpha_k \rho_k \bar{u}_{dr,k}) \quad (3)$$

Właściwości mieszaniny zdefiniowano następująco [8]:

$$\rho_m = \sum_{k=1}^n \alpha_k \rho_k \quad (4)$$

$$\mu_m = \sum_{k=1}^n \alpha_k \mu_k \quad (5)$$

$$\bar{u}_m = \frac{1}{\rho_m} \sum_{k=1}^n \alpha_k \rho_k \bar{u}_k \quad (6)$$

W powyższych równaniach:

- ρ_m – gęstość mieszaniny (średnia ważona udziałem objętościowym),
- ρ_p – gęstość fazy ciągłej,
- ρ_k – gęstość k-tej fazy rozproszonej,
- α_p – udział objętościowy fazy ciągłej,
- α_k – udział objętościowy k-tej fazy rozproszonej,
- u_m – prędkość mieszaniny faz (średnia ważona udziałem masowym faz),
- u_k – prędkość k-tej fazy rozproszonej,
- u_p – prędkość fazy ciągłej,
- $u_{dr,k}$ – prędkość unoszenia dla fazy rozproszonej k [8].

$$\bar{u}_{dr,k} = \bar{u}_{pk} - \bar{u}_m \quad (7)$$

u_{pk} – prędkość względna (poślizgu) dla fazy rozproszonej względem prędkości fazy ciągłej [8]

$$\bar{u}_{pk} = \bar{u}_k - \bar{u}_p \quad (8)$$

gdzie:

- g – przyspieszenie ziemskie,
- p – ciśnienie,
- F – siły masowe.

Podstawowym założeniem modelu jest wyrażenie prędkości względnej (poślizgu) za pomocą równania algebraicznego. W pracy [9] Manninen i inni sformułowali wyrażenie na prędkość względną w następujący sposób:

$$\bar{u}_{pk} = \frac{\tau_k (\rho_k - \rho_m)}{f_{drag} \rho_k} \bar{a}_k \quad (9)$$

gdzie:

a_k – przyspieszenie cząstki fazy rozproszonej (w tym przypadku dla pęcherzyka powietrza),

τ_k – czas relaksacji dla cząstki wynosi [8]:

$$\tau_k = \frac{\rho_p d_p^2}{18 \mu_q} \quad (10)$$

gdzie:

- ρ_p – gęstość powietrza
- d_p – średnica pęcherzyka powietrza
- μ_q – lepkość fazy ciągłej (nadawy)

Lepkość nadawy μ_q można w przybliżeniu obliczyć wg formuły [11]:

$$\mu_q = \mu_L (1 + 4.5 \alpha_s) \quad (11)$$

gdzie:

- μ_L – lepkość wody,
- α_s – udział objętościowy cząstek stałych w zawieszynie.

Natomiast średnicę pęcherzyków powietrza można wyznaczyć na podstawie równania [12]:

$$d_p = \left(\frac{\sigma We_{kryt}}{\rho_p \varepsilon^{2/3}} \right)^{3/5} \quad (12)$$

gdzie:

- σ_p – napięcie powierzchniowe,
- ε – współczynnik dyssypacji energii,
- We_{kryt} – wartość krytyczna liczby Webera.

Formuła (12) zakłada, że dla pewnej wartości krytycznej liczby Webera (stosunek napięcia powierzchniowego do naprężeń ścinających wywołanych przez turbulencje), zjawiska koalescencji i rozpadu pęcherzyków powietrza są ze sobą w równowadze.

W wyrażeniu (9) istotne znaczenie ma opór hydrodynamiczny dla pęcherzyka powietrza f_{drag} . W modelu zastosowano formułę Schillera i Naumanna [12]:

$$f_{drag} = \begin{cases} 1 + 0.15 Re^{0.687} & \text{dla } Re < 1000 \\ 0.0183 Re & \text{dla } Re > 1000 \end{cases} \quad (13)$$

gdzie: Re jest liczbą Reynoldsa.

W przypadku przepływu burzliwego należy wyrażenie (9) uzupełnić o człon uwzględniający turbulencje. Wyrażenie to przyjmie wówczas postać [8]:

$$\bar{u}_{pk} = \frac{\tau_k(\rho_k - \rho_m)}{f_{drag}\rho_k} \bar{a}_k - \frac{v_m}{\alpha_k \sigma_D} \nabla \alpha_p \quad (14)$$

gdzie: v_m jest lepkością burzliwą dla mieszaniny obliczaną według standardowego modelu turbulencji k-ε (Launder i Spalding 1974) [13]. σ_D jest współczynnikiem dyspersji Prandtla.

W przyjętym modelu obliczeniowym nadawę postrakowano jako fazę ciągłą, co stanowi istotne przybliżenie, gdyż w rzeczywistości jest to układ wielofazowy zawierający zawieszony w wodzie cząstki stałe o określonym rozkładzie wielkości ziarna. Przybliżenie to jest jednak dopuszczalne ze względu na małe stężenie objętościowe cząstek stałych (typowe stężenie masowe fazy stałej to 80 kg/m^3 , co przy średniej gęstości 1300 kg/m^3 daje stężenie objętościowe na poziomie 6,2%). Niskie stężenie fazy stałej pozwala traktować nadawę jako ciecz w przybliżeniu newtonowską.

W modelu obliczeniowym założono tzw. sprzężenie jednokierunkowe pomiędzy fazą ciągłą i rozproszoną, tzn. faza ciągła oddziałuje na fazę rozproszoną poprzez turbulencje i opór hydrodynamiczny natomiast faza rozproszona nie wywiera istotnego wpływu na ruch fazy ciągłej. Warunkiem słuszności powyższego założenia jest, aby czas relaksacji dla cząstki był wystarczająco krótki.

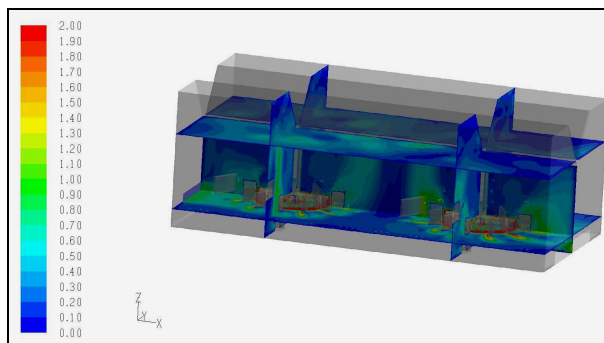
W pracy na podstawie wzorów (8-11) oszacowano czas relaksacji dla pęcherzyków powietrza. Na podstawie [11] przyjęto krytyczną wartość liczby Webera dla pęcherzyka powietrza w wodzie ($We = 2,48$), określono średnicę równowagową ($d_p = 0,002 \text{ m}$) oraz czas relaksacji ($\tau_k = 0,0003 \text{ s}$). Wartość współczynnika dysypacji energii we wzorze (12) wyznaczono jako wartość uśrednioną po objętości na podstawie wstępnych obliczeń symulacyjnych przepływu turbulentnego dla czystej wody. Gęstość nadawy obliczono przy założeniu, że udział masowy cząstek stałych wynosi 80 kg/m^3 .

Czas relaksacji wskazuje, że pęcherzyki powietrza podążają za polem prędkości zawiesiny, zatem warunek stosowalności modelu ASM (Mixture) jest spełniony.

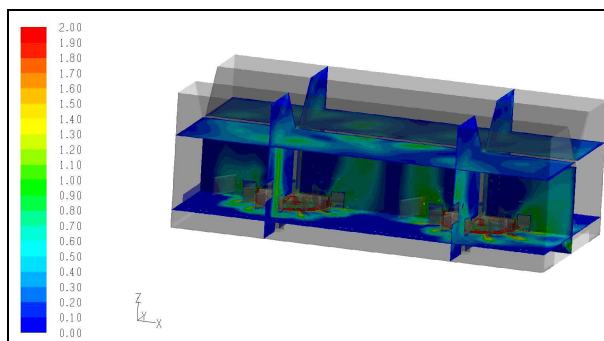
4. Wyniki obliczeń symulacyjnych

Charakterystykę pola prędkości przedstawiono na wykresach konturowych i wektorowych. Na rysunku 3 przedstawiono pole prędkości dla nadawy, natomiast na rysunku 4 pole prędkości dla pęcherzyków powietrza. Różnice wskazują na występowanie pola prędkości poślizgu pomiędzy fazą ciągłą i rozproszoną. Różnice te są również widoczne na wykresach wektorowych przedstawionych na rysunku 5. Sposób cyrkulacji zawiesiny flotacyjnej w zbiorniku zobrazowano na wykresie wektorowym pola prędkości przedstawionym na rysunku 6. Na rysunku widoczne są obszary, w których następuje ruch mieszaniny od powierzchni w kierunku dna komory (nad statorem i wirnikiem), jak również w kierunku przeciwnym (na zewnątrz statora oraz pomiędzy wirnikami). W tym obszarze pęcherzyki po-

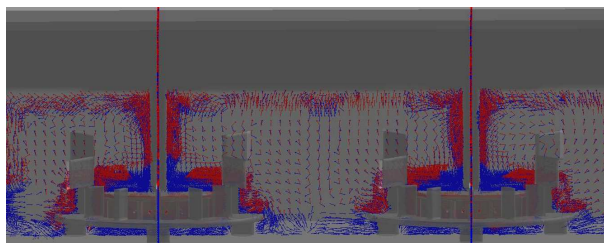
wietrza poruszają się „pod prąd”. W strefie przydennej występuje ruch poziomy zawiesiny. Ruch wirowy występuje tylko w bezpośrednim sąsiedztwie wirnika. Stator i uspokajacze skutecznie przeciwdziałają ruchowi wirowemu zawiesiny.



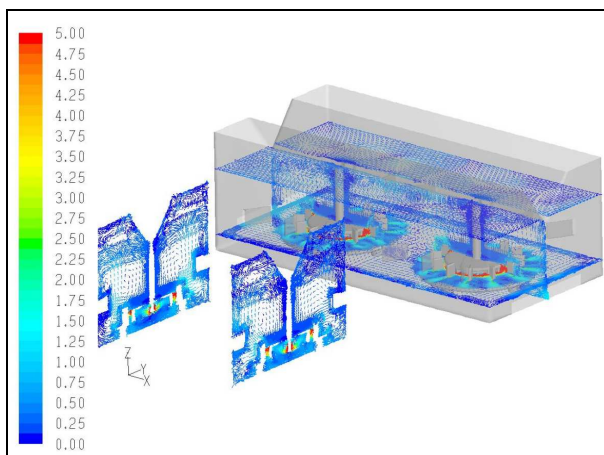
Rys.3. Rozkład prędkości przepływu dla nadawy w wybranych przekrojach zbiornika



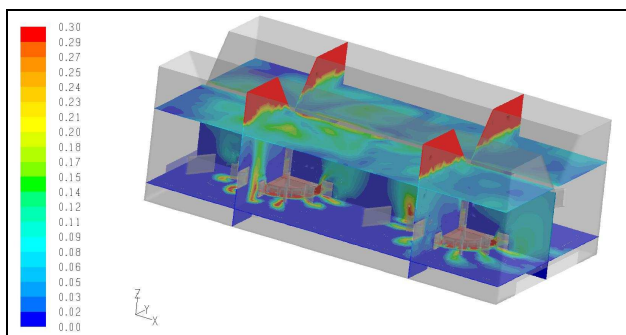
Rys.4. Pole prędkości dla fazy rozproszonej (pęcherzyków powietrza) w wybranych przekrojach zbiornika



Rys.5. Wykres wektorowy prędkości w przekroju pionowym dla nadawy (kolor niebieski) i pęcherzyków powietrza (kolor czerwony)



Rys.6. Wykres wektorowy prędkości w wybranych przekrojach pionowych i poziomych dla nadawy



Rys.7. Rozkład stężenia objętościowego powietrza w zbiorniku w wybranych przekrojach

Pole prędkości dla zawiesiny flotacyjnej determinuje rozkład stężenia pęcherzyków powietrza w komorze. Rozkład ten przedstawiono na wykresie konturowym (rys. 7). Na wykresie widoczna jest poduszka powietrzna formująca się pod wirnikami. Dyspersja powietrza następuje głównie przez otwory w wirnikach. Nasycenie powietrzem w strefach bezpośrednio nad wirnikami jest stosunkowo słabe. Sprzyjają temu małe prędkości przepływu w górnej strefie flotownika.

Charakter pola prędkości i rozkład stężeń powietrza wskazują, że przy przyjętych parametrach pracy komory flotacyjnej należy spodziewać się występowania niekorzystnego zjawiska przechodzenia cząstek hydrofilowych do produktu pianowego w wyniku flotacji mechanicznej z jednej strony (obszary o dużych prędkościach przepływu w kierunku pionowym), jak i przechodzeniu cząstek hydrofobowych do odpadu (obszar przydenny o niskim stężeniu objętościowym pęcherzyków powietrza i poziomym kierunku przepływu).

5. Podsumowanie

W przypadku zastosowań praktycznych metod numerycznych wymaga się, aby model obliczeniowy nie wymagał ekstremalnie długich i kosztownych obliczeń, które wiążą się z bardzo dokładnymi siatkami elementów skończonych. W przypadku flotowników model musi być trójwymiarowy, ze względu na zwykle złożoną geometrię urządzenia.

W pracy do obliczeń zastosowano model ASM, który jest modelem uproszczonym. Dokładniejsze wyniki symulacji można otrzymać przy zastosowaniu pełnego modelu dwóch kontinuu Eulera, gdzie dla każdej z faz równania pędu są rozwiązywane oddzielnie. Metoda ta jednak wiąże się z większym kosztem obliczeniowym.

Otrzymane wyniki świadczą o praktycznych możliwościach zastosowania numerycznej mechaniki płynów do modelowania zjawiska flotacji.

Literatura

1. Koh P.T.L., Schwarz M.P.T., Zhu Y., Bourke P., Peaker R., Franzidis J.P.: Development of CFD Model of Mineral Flotation Cells, Third International Conference in the Minerals and Process Industries, CISRO, Melbourne, Australia 10-12 December 2003.
2. Cuong M. Nguyen and Anh V. Nguyen: Computational Validation And Extension Of The Generalised Sutherland Equation For Bubble-Particle Encounter Efficiency In Flotation, Fifth International Conference on CFD in the Process Industries CSIRO, Melbourne, Australia 13-15 December 2006.
3. Koh P.T.L., Manickam, M., Schwarz, M.P.: CFD simulation of bubble-particle collisions in mineral flotation cells, Minerals Engineering, 13, 1455-1463, 2000.
4. Koh P.T.L., Schwarz, M.P.: CFD modelling of bubble-particle collision rates and efficiencies in a flotation cell, Minerals Engineering, 16, 1055-1059, 2003.
5. Koh P.T.L., Schwarz, M.P.: CFD modelling of bubble-particle attachments in a flotation cell, Centenary of Flotation Symposium 2005, Brisbane, Australia, 2005.
6. Blaschke S., Blaschke W.: Maszyny i urządzenia do przeróbki kopalin. Kraków, AGH 1990.
7. Brzezina R., Sablik J.: Zastosowanie maszyny flotacyjnej IZ-12 do wzbogacania mułów węglowych. Projekty – Problemy, Budownictwo Węglowe nr 3, 1978.
8. Fluent 6.3 User's Guide, September 2006.
9. Manninen M., Taivassalo V., Kallio S.: On the mixture model for multiphase flow. VTT Publications 288, Technical Research Centre of Finland, 1996.
10. Stręk F.: Mieszanie i mieszalniki. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1981.
11. Advanced Multiphase Modelling Course, 2007, Fluent User's Service Centre (materiał internetowy).
12. Schiller L., Naumann Z.: Z. Ver. Deutsch. Ing., 77:318, 1935.
13. Launder B.E., Spalding B.D.: The numerical Computation of Turbulent Flows, Comp. Meths. Appl. Mech. Engng., 3, 269-289, 1974.

Artykuł wpłynął do redakcji w czerwcu 2009 r.

Recenzent: prof.dr hab.inż. Teodor Winkler

Dr inż. Remigiusz MODRZEWSKI
 Prof.dr hab.inż. Piotr WODZIŃSKI
 Politechnika Łódzka

Ruch drgający i proces przesiewania na sicie przesiewacza dwuczęstościowego^{*)}

Streszczenie

Niniejsza praca prezentuje wstępne wyniki programu badawczo-rozwojowego, jaki został rozpoczęty pod koniec 2007 r. w Katedrze Aparatury Procesowej Politechniki Łódzkiej, a poświęconego przesiewaczom dwuczęstościowym. Wiadomo, że kształt toru ruchu drgającego rzeszota przesiewacza, ma decydujące znaczenie dla uzyskania możliwie najlepszych właściwości procesowych maszyny. Dlatego od dawna poszukuje się takich torów ruchu drgającego przesiewaczy, które będą prowadzić do możliwie intensywnej segregacji ziaren w warstwie poruszającej się po sicie przesiewacza. Właśnie tory możliwe do uzyskania w przesiewaczu dwuczęstościowym są sprzyjające intensywnemu przebiegowi procesu przesiewania. Dlatego oczekuje się, iż przesiewacze dwuczęstościowe mieć będą znacznie wyższe wskaźniki procesowe, w porównaniu do klasycznych, obecnie używanych np. w przemyśle wydobywczym przesiewaczy wibracyjnych. Prace prowadzone obecnie w Politechnice Łódzkiej mają na celu przebadanie kinematycznie i procesowo przesiewacza doświadczalnego, którego wymiary sita wynoszą 1,5x0,5 m, a masa rzeszota ≈ 350 kg. Na podstawie wyników badań zostaną opracowane założenia projektowe, a na ich podstawie opracowany zostanie projekt wykonawczy maszyny przemysłowej. Przesiewacz ten będzie zamontowany w krajowym przemyśle wydobywczym i przewidziany do przesiewania drobno lub bardzo drobno ziarnowego.

Summary

Initial results of research project that has been started at the end of 2007 in Division of Processing Apparati at Lodz Technical University, and concerned two-frequency screens were presented in this paper. It is known that trajectory of vibrating screen has decisive meaning in achieving possible best technological parameters of the machine. So we search for such trajectories of vibrating screens which would allow for possibly intensive grains separation in the layer that moves on the screen. Trajectories possible to be obtained on the two-frequency screen favour intensification of separation process. That is why we expect that two-frequency screens can have much better technological parameters in comparison to classical vibrating screens used in the mining industry. Projects currently realized in Lodz technical University are aimed at kinematic and operational tests of experimental screen of dimensions 1.5 x 0.5 metre and weight 350 kg. Foredesign of the industrial machine will be developed on the basis of test results. The screen will be installed in the Polish mining industry and used for screening fine and very fine particles.

1. Badane konfiguracje napędowe przesiewacza dwuczęstościowego

Przesiewacz doświadczalny, którego dotyczy niniejsza praca został zbudowany w laboratorium Katedry Aparatury Procesowej, Politechniki Łódzkiej. Urządzenie to zostało zamontowane na stanowisku badawczym, którego schemat przedstawiono na rysunku 1, widok na rysunku 2.

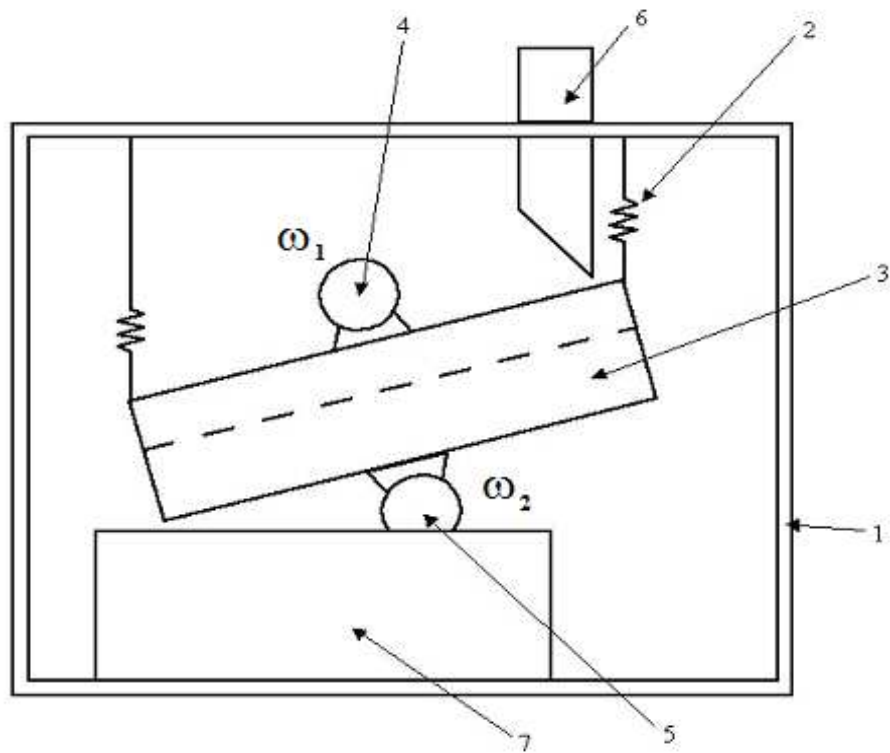
Konstrukcja przesiewacza umożliwi regulację (dla celów badawczych) wszystkich podstawowych parametrów pracy maszyny, w szczególności takich jak:

- nachylenie rzeszota względem poziomu,
- ustawienie silników względem środka rzeszota,
- siły wymuszające wytwarzane przez silniki,
- prędkości obrotowe silników.

Przebadanie pracy przesiewacza w szerokim zakresie zmienności wyżej wymienionych parametrów powinno pozwolić na znalezienie optymalnych rozwiązań konstrukcyjnych pełnowymiarowej maszyny przemysłowej.

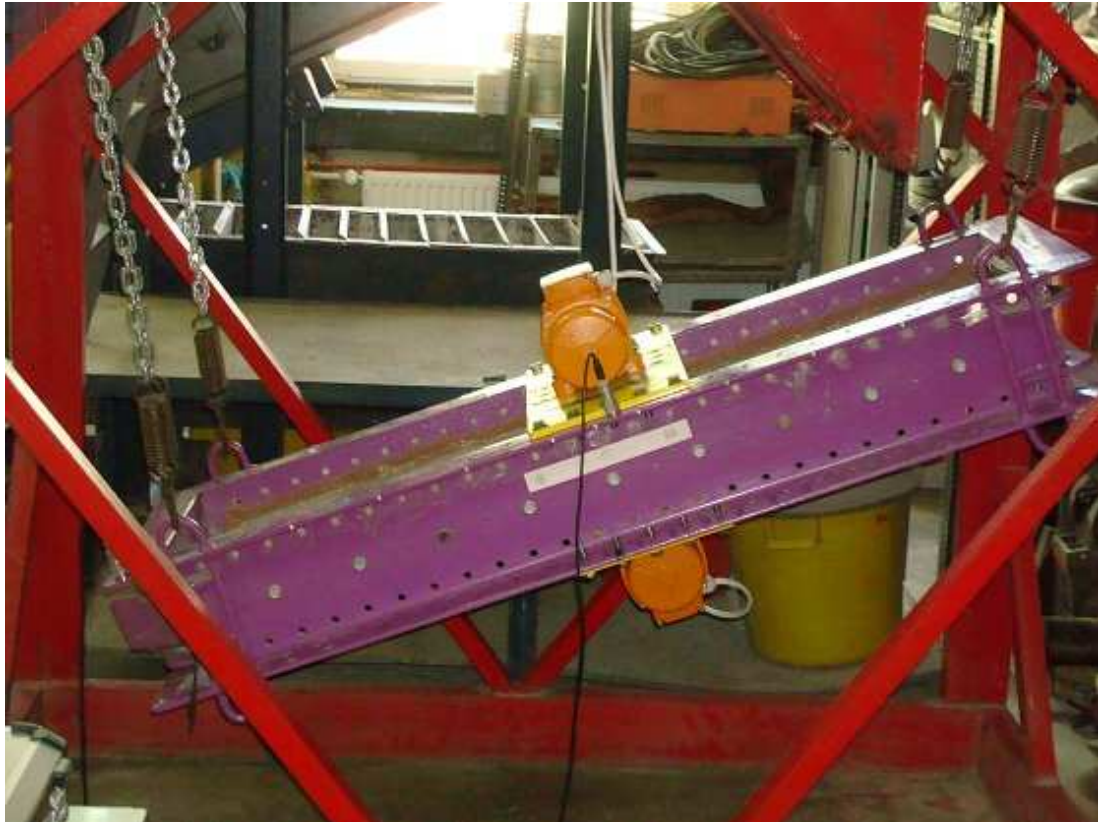
Użyty do badań przesiewacz posiada prostopadłościennie rzeszoto zawieszono sprężysto, takie rozwiązanie umożliwia regulację kąta pochylenia sita w zakresie od 0 do 25 stopni. Konkretnie badania były przeprowadzane dla następujących kątów pochylenia rzeszota względem poziomu: 0, 10, 15, 20 stopni.

^{*)}Praca wykonana w ramach projektu badawczo-rozwojowego MNiSzW nr R 14 01403.



Rys.1. Schemat stanowiska badawczego

1 - konstrukcja nośna, 2 - zawieszenie przesiewacza złożone ze sprężyn i łańcuchów,
 3 - rzeszoto z sitem, 4,5 - elektrowibratory, 6 - lej wyspowy z zasuwą, 7 – pojemnik na produkt podситowy



Rys.2. Przesiewacz doświadczalny

Konstrukcja przesiewacza umożliwiła zmianę ustawienia wibratorów względem środka ciężkości rzeszota. Badania były przeprowadzane dla czterech różnych ustawień silników, tzn. gdy są one rozsunięte względem środka rzeszota: górny w kierunku podajnika, dolny w kierunku końca przesiewacza, na odległość: 0, 110, 220, 380 mm. Zmiana rozstawienia wibratorów powoduje zmianę wartości kątów torów wahań sita β . W przypadku takich ustawień wibratorów jak wymieniono powyżej – kąty torów wahań sita wynoszą odpowiednio: $\beta_1 = 0^\circ$, $\beta_2 = 27,5^\circ$, $\beta_3 = 42,2^\circ$, $\beta_4 = 61^\circ$.

Przesiewacz posiada również możliwość regulacji siły wymuszającej poszczególnych wibratorów napędowych. Odbywa się to poprzez zmianę położenia mas niewyważonych, na wale danego wibratora. Na obu końcach wału wibratora znajdują się masy niewyważone. Na każdym z końców wału wibratora masa składa się z dwóch jednakowych części. Aby móc zmieniać siłę wymuszającą wystarczy rozsunąć jedną z mas względem drugiej o odpowiedni kąt. Badania były przeprowadzane dla trzech wariantów ustawień:

- maksymalna siła wymuszająca,
- $\frac{1}{2}$ maksymalnej siły wymuszającej,
- $\frac{1}{4}$ maksymalnej siły wymuszającej.

Maksymalna siła wymuszająca odczytana z tabliczki znamionowej silnika wynosi 2 kN. Należy zaznaczyć że siła wymuszająca zmniejszana była tylko na jednym z dwóch wibratorów napędowych, tzn. na tym, który obracał się z nominalną częstotliwością obrotową (1500 obr/min). Natomiast na drugim wibratorze, którego częstota obrotów była mniejsza od nominalnej, siła wymuszająca zawsze była maksymalna (2 kN).

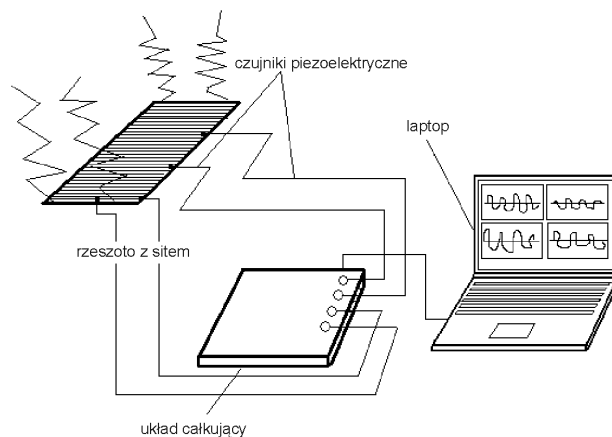
Regulacji prędkości obrotowej silników dokonywano przy użyciu falowników. Badania były przeprowadzane dla kombinacji częstotliwości obrotowych obu wibratorów jak w tabeli 1.

Dla obu wibratorów górnego ω_1 i dolnego ω_2 jako dodatni kierunek obrotów przyjęto obrót w prawo, czyli zgodny z kierunkiem obrotów wskazówek zegara.

W sumie możliwych było zatem 28 różnych kombinacji prędkości i kierunku obrotów.

2. Badania kinematyczne przesiewacza

Pomiary amplitudy drgań rzeszota wykonano za pomocą układu, którego schemat przedstawiony jest na rysunku 3. Składa się on z: czujników piezoelektrycznych, układu całkującego i laptopa wyposażonego w kartę pomiarową, na którym gromadzone były wyniki pomiarów.



Rys.3. Układ do pomiaru torów drgań rzeszota

Dzięki czterem czujnikom zamontowanym na rzeszocie zbierane były dane dotyczące wychYLENIA sita. Czujniki pomiarowe zamontowane były w rzeszocie w taki sposób, aby linie ich pomiaru przecinały się w okolicy środka ciężkości przesiewacza, lub w punktach początkowych i końcowych sita (rys. 4 i 5).

Czujniki pod wpływem przyspieszenia wytwarzają sygnał napięciowy, który jest następnie przesyłany do układu całkującego. Tam sygnał napięciowy, wytworzony przez czujniki jest dwukrotnie całkowany, w wyniku czego otrzymujemy wartość wychYLENIA rzeszota. Sygnały te zbierane były przez kartę pomiarową i zapisywane w pamięci komputera.

Badane konfiguracje prędkości obrotowej wibratorów

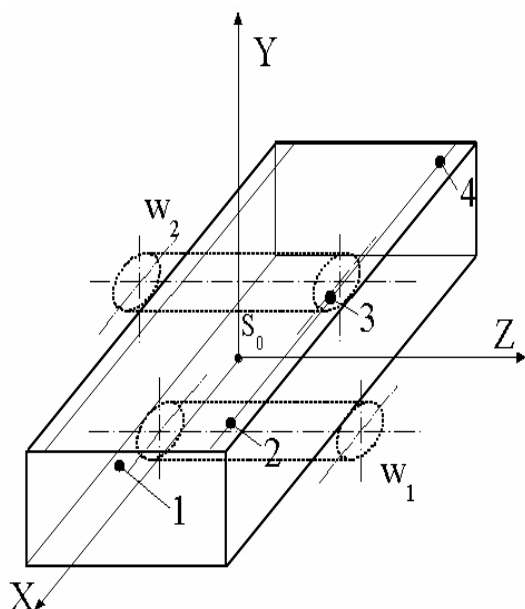
Tabela 1

Wibrator							
Górny (ω_1)	Dolny (ω_2)	Górny (ω_1)	Dolny (ω_2)	Górny (ω_1)	Dolny (ω_2)	Górny (ω_1)	Dolny (ω_2)
Prawo (+)	Prawo (+)	Prawo (+)	Lewo (-)	Lewo (-)	Prawo (+)	Lewo (-)	Lewo (-)
obr/min		obr/min		obr/min		obr/min	
1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500
750	1500	750	1500	750	1500	750	1500
1500	750	1500	750	1500	750	1500	750
1500	1000	1500	1000	1500	1000	1500	1000
1000	1500	1000	1500	1000	1500	1000	1500
1500	500	1500	500	1500	500	1500	500
500	1500	500	1500	500	1500	500	1500

Na rysunkach 6 do 9 przedstawione zostały przykładowe toru ruchu początku, środka i końca rzeszota, dla wybranych konfiguracji napędowych przesiewacza.

Na rysunkach 10 i 11 przedstawione zostały wybrane, przykładowe rozkłady wychyleń rzeszota w kierunku prostopadłym do sita, jakie mają miejsce na początku, środku i końcu rzeszota.

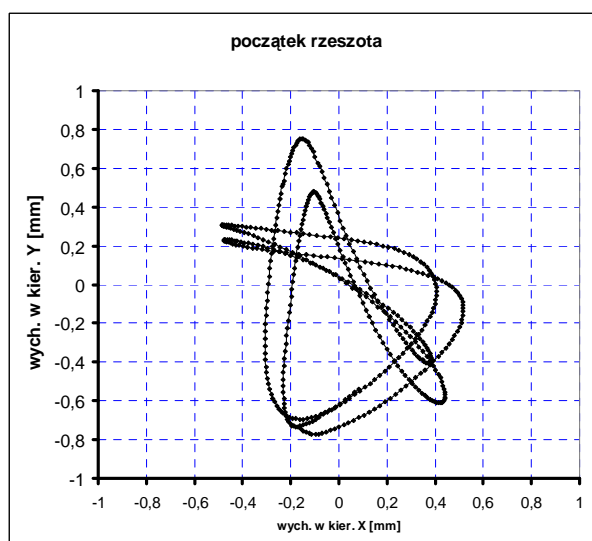
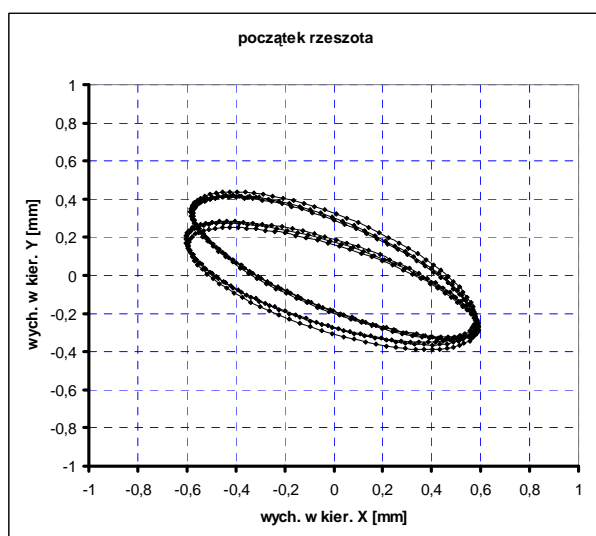
Na podstawie analizy całości uzyskanych do tej pory wyników można stwierdzić, że decydujące znaczenie dla kształtów torów ruchu ma wartość siły wymuszającej oraz prędkości obrotowej elektrowibratorów. W mniejszym stopniu na kształt drgań rzeszota wpływa zmiana kąta β (kąt torów wahań sita). Ogólnie można stwierdzić, że rzeszoto jest bardzo czułe na zmiany konfiguracji napędu i nawet niewielka zmiana wyżej wymienionych parametrów powoduje znaczącą zmianę kształtu toru ruchu sita.

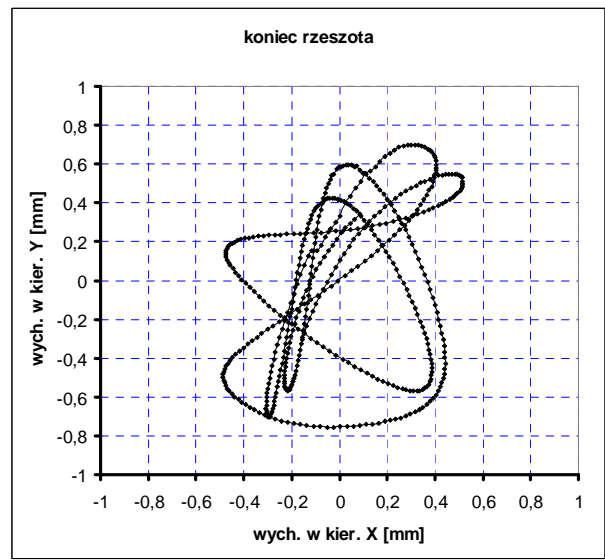
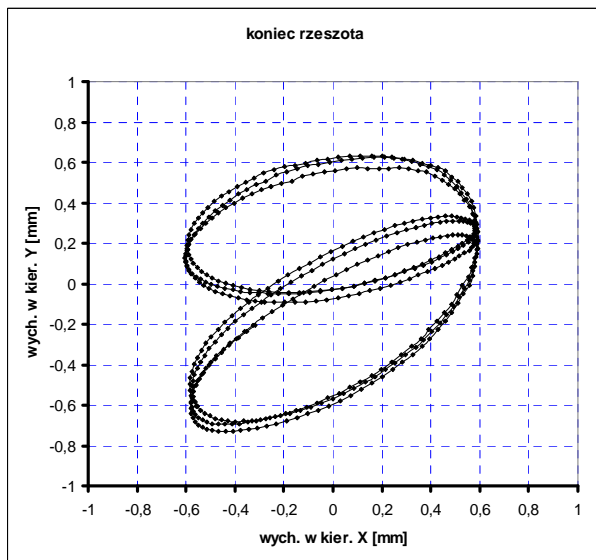
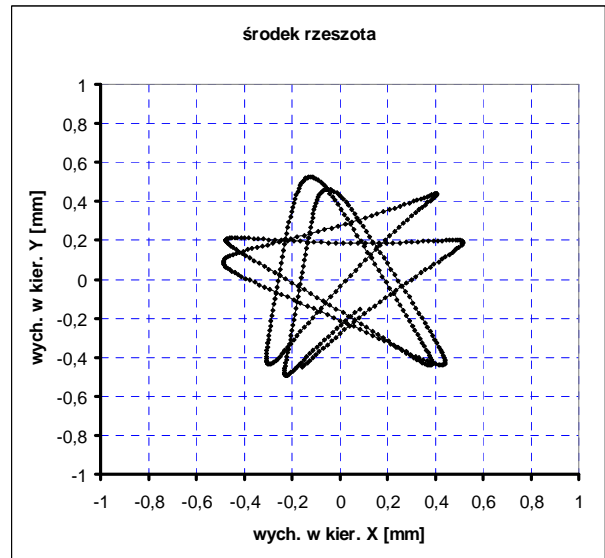
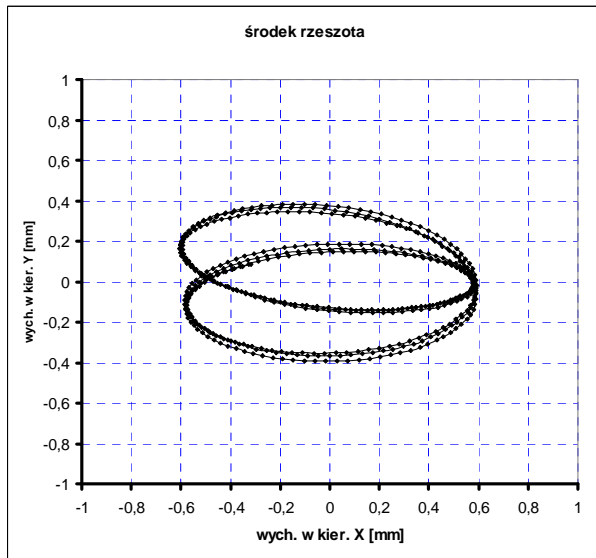


↑ Rys.4. Punkty zamocowania czujników



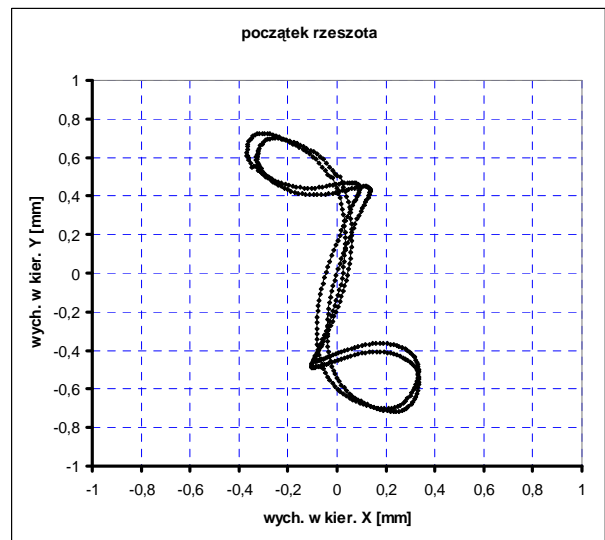
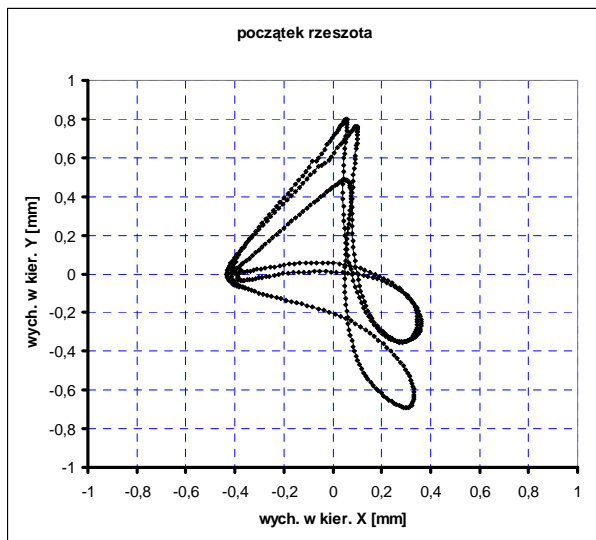
⇒ Rys.5. Przesiewacz z zamontowanymi czujnikami

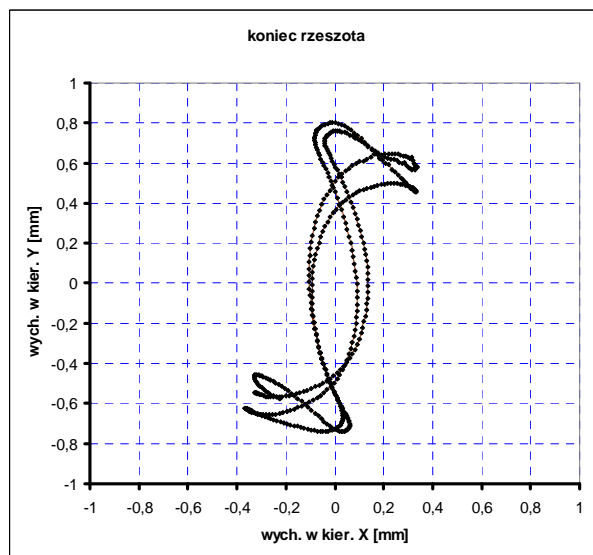
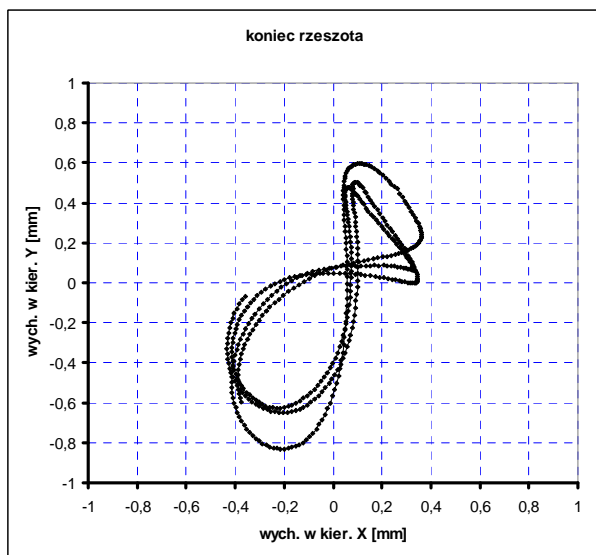
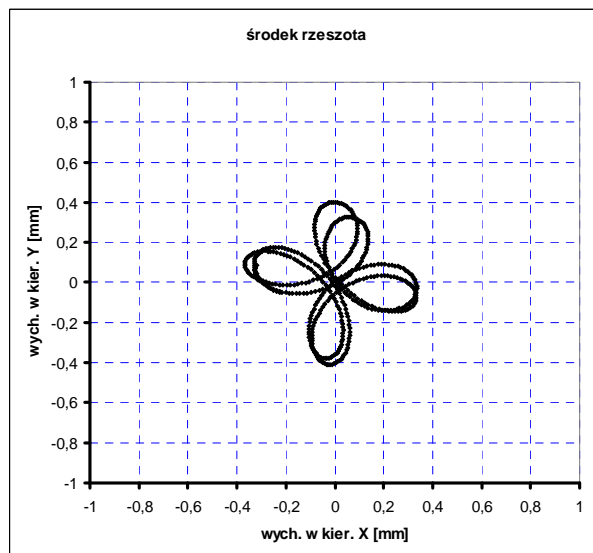
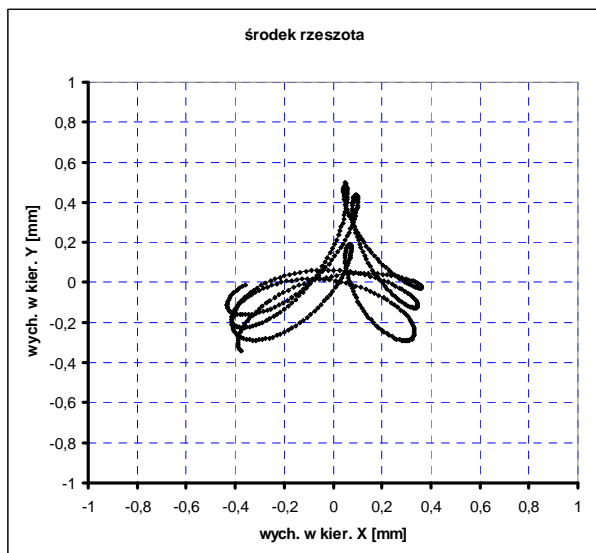




Rys.6. Tor ruchu dla ustawień: $\beta = 0^\circ$, $-\omega_1/\omega_2$, $1/4 F_{\max}$

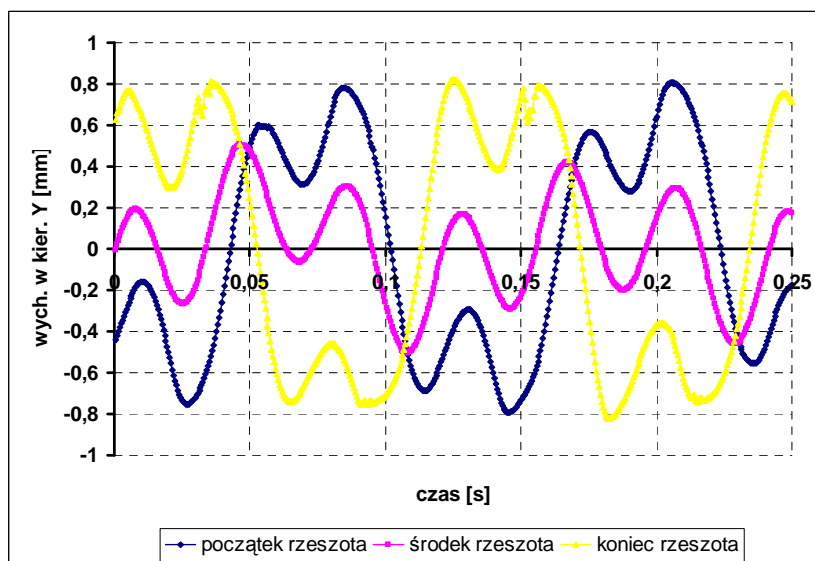
Rys.7. Tor ruchu dla ustawień: $\beta = 0^\circ$, $-\omega_1^2/3\omega_2$, $1/4 F_{\max}$



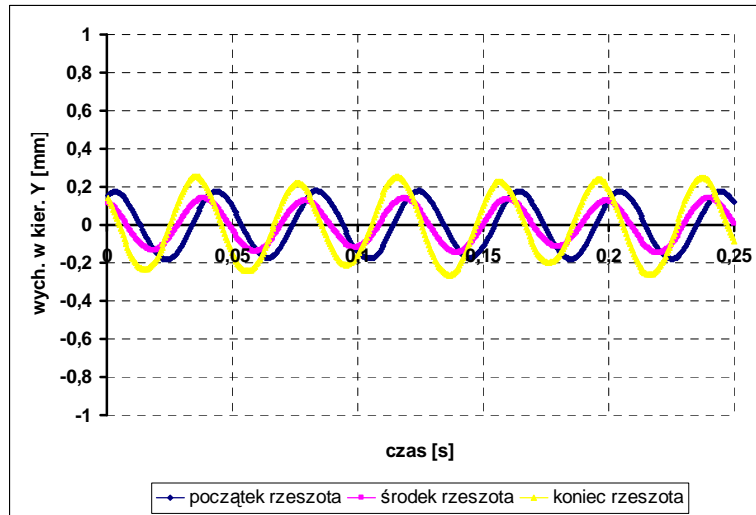


Rys.8. Tor ruchu dla ustawień: $\beta = 0^\circ$, $-\omega_1 / \frac{1}{2}\omega_2$, $\frac{1}{4} F_{\max}$

Rys.9. Tor ruchu dla ustawień: $\beta = 0^\circ$, $-\omega_1 / \frac{1}{3}\omega_2$, $\frac{1}{4} F_{\max}$



Rys.10. Wychylenia rzeszota w kierunku y dla ustawień: $\beta = 0^\circ$, $-\frac{1}{3}\omega_1/\omega_2$, $\frac{1}{2} F_{\max}$



Rys.11. Wychylenia rzeszota w kierunku y dla ustawień: $\beta = 0^\circ$, $-\omega_1/\omega_2$, $1/2 F_{\max}$

3. Badania procesowe przesiewacza

Skład materiału badanego: piasku

Tabela 2

Klasa ziarnowa		Udział procentowy	Masa klasy piasku	suma
d [mm]	U [%]		[kg]	[kg]
0,2	11,25	50%	3,38	30
0,4	16,25		4,88	
0,63	22,5		6,75	
0,85	22,5		6,75	
1	16,25	50%	4,88	
2	11,25		3,38	

Materiałem sypkim wykorzystywanym do badań był piasek (ziarna nie regularne). Materiał został wcześniej odpowiednio przygotowany, tzn. przesiany na wstrząsarkach laboratoryjnych tak, aby połowa masy nadawy stanowiła frakcję górną, czyli ziarna większe od 0,63 mm, a druga połowa frakcję dolną. Późniejsze badania procesowe wykonano właśnie na metalowym sicie tkanym o otworze kwadratowym i boku oczka sita $l = 0,63$ mm.

W czasie badań wykonanych zostało kilkadziesiąt cykli pomiarowych. Dla każdego cyklu ustawiane były parametry pracy przesiewacza, tak samo jak w przypadku badań kinematycznych:

- nachylenie rzeszota względem poziomu,
- ustawienie silników względem środka rzeszota,
- siły wymuszające wytwarzane przez silniki,
- prędkości obrotowe silników.

Dodatkowo regulowano wartość masowego natężenia wypływu nadawy – poprzez zwiększanie lub zmniejszanie szczeliny wysypowej w podajniku.

Do obliczenia sprawności i wydajności procesu przesiewania wykorzystane zostały następujące wzory:

sprawność procesu:

$$\eta = \frac{m_d}{m_n \cdot K_d} \quad (1)$$

wydajność procesu:

$$Q = \frac{m_n}{t_1} \quad (2)$$

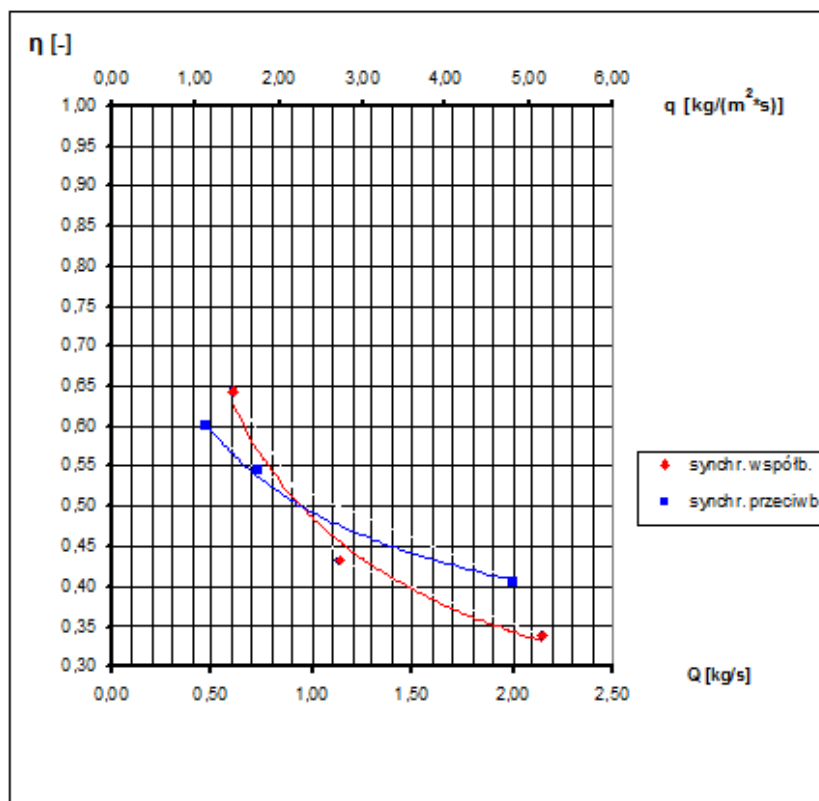
gdzie:

- m_d – masa produktu podsitowego, kg,
- m_n – masa nadawy wynosząca 20 kg,
- K_d – udział klasy dolnej w nadawie 50%,
- t_1 – czas wysypu materiału, s.

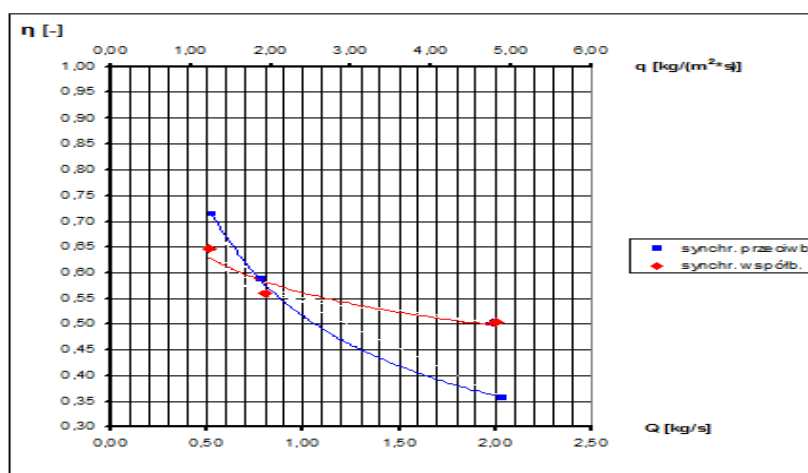
Wyniki badań przedstawione zostały w formie graficznej. Każdy z wykresów sporządzony został na podstawie 3 cykli pomiarowych, odpowiadających 3 różnym prędkościom podawania nadawy. Na dwóch osiach odciętych zaznaczona została wydajność przesiewacza. Dolna oś została wyskalowana w $[\text{kg}/\text{s}]$ (masowe natężenie dopływu nadawy), natomiast oś rzędnych przedstawia sprawność przesiewania. Druga oś odciętych została wyskalowana w $[\text{kg}/\text{m}^2 \text{ s}]$, tzn. jest to wydajność jednostkowa procesu.

Na rysunkach 12 i 13 przedstawiono przebieg wybranych krzywych sprawnościowo-wydajnościowych dla wybranych ustawień wibratorów napędowych.

drgań skrętnych było zbieranie się materiału ziarnistego w centralnej części sita, co następnie prowadziło do zablokowania całego procesu przepływu nadawy.



Rys.12. Wyniki badań procesowych dla ustawień: $\alpha=15^\circ$, $\beta=0^\circ$, $F=2\text{ kN}$, $\omega_1/\frac{1}{2}\omega_2$



Rys.13. Wyniki badań procesowych dla ustawień: $\alpha=15^\circ$, $\beta=0^\circ$, $F=2\text{ kN}$, $\omega_1/\frac{1}{3}\omega_2$

Należy zaznaczyć, iż w niektórych przypadkach nie był zapewniony ruch materiału po sicie. Miało to miejsce przy synchronizacji współbieżnej, maksymalnej sile wymuszającej i stosunku częstości $\omega_1/\frac{1}{2}\omega_2$. Taka konfiguracja rzeszota powodowała powstawanie drgań skrętnych tzn. początek i koniec rzeszota poruszały się z maksymalnymi amplitudami, natomiast część środkowa była prawie nieruchoma. Efektem pojawienia się

W ten sposób w utworzonej warstwie materiału występowała cyrkulacja, podczas której materiał sypał bokami sita w dół przesiewacza do około $\frac{1}{4}$ jego długości, a następnie zawracał w kierunku środka rzeszota. Proces przesiewania zachodził, jednak nie był on dostatecznie efektywny.

4. Podsumowanie

Za główną cechę przesiewacza dwuczęstościowego należy uznać możliwość dowolnego konfigurowania napędu bezwładnościowego, a więc i możliwość jego dostosowania od wymagań stawianych przez proces przesiewania konkretnego materiału ziarnistego. Optymalizacja pracy napędu odbywa się poprzez regulację częstości obrotowej wibratorów, ich siły wymuszającej, oraz wzajemnego położenia i kierunku obrotów.

Jako kryterium oceny jakości pracy urządzenia przyjęto sprawność przesiewania i wydajność masową, które to parametry mają decydujące znaczenie z punktu widzenia ekonomii procesu. Badania procesowe stanowią jedyną drogę osiągnięcia celu, jakim jest optymalizacja układu napędowego, ponieważ nawet poprawna praca układów mechanicznych nie oznacza jeszcze zapewnienia dostatecznie dobrych warunków przesiewania.

Na podstawie przeprowadzonych dotychczas wstępnych badań można stwierdzić, że:

- 1) lepszą z procesowego punktu widzenia jest synchronizacja przeciwbieżna wibratorów;
- 2) lepsze warunki przesiewania zapewnia mniejsze nachylenie sita;
- 3) stosowanie wibratorów o dużej mocy nie jest ekonomicznie uzasadnione – należy obniżyć koszty eksploatacyjne;
- 4) rozmieszczenie wibratorów względem środka masy nie wpływa na proces.

Analiza wyników badań oraz rozważań teoretycznych dotyczących przesiewacza dwuczęstościowego, skłania ponadto do wyciągnięcia szeregu bardziej ogólnych wniosków:

- 1) Układ napędowy przesiewacza umożliwia otrzymanie złożonego ruchu rzeszota, co z kolei umożliwia osiągnięcie wysokich sprawności przesiewania.
- 2) Przesiewacz dwuczęstościowy powinien być przeznaczony do przesiewania materiałów drobnoziarnistych i trudnoodsiewalnych, ponieważ maszyna ta daje intensywne rozluźnienie materiału na sicie.
- 3) Warunkiem prawidłowej pracy przesiewacza jest zapewnienie sztywności rzeszota w płaszczyźnie torów drgań rzeszota.
- 4) Zjawisko samosynchronizacji wibratorów napędowych umożliwia uproszczenie konstrukcji przesiewacza, gdyż nie trzeba stosować żadnych urzą-

dzeń, które by synchronizację wymuszały. Jak pokazały badania samosynchronizacja jest zjawiskiem trwałym, w trakcie pomiarów raz rozpoczęty ruch odbywał się po trajektoriach, które zależały wyłącznie od konfiguracji układu napędowego.

- 5) Konstrukcja przesiewacza umożliwia stosowanie praktycznie wszystkich, znanych dotąd, elementów konstrukcyjnych maszyn przesiewających, co ułatwia w praktyce zastosowanie przemysłowe tego przesiewacza.

Literatura

1. Banaszewski T.: Przesiewacze. Wydawnictwo „Śląsk”, 1990.
2. Wodziński P.: Przesiewanie i przesiewacze. Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, 1997.
3. Wodziński P.: Odsiewanie materiałów ziarnistych. Zeszyty Naukowe PŁ, Rozprawy naukowe z. 40, 1981.
4. Meinel A., Schubert H.: Zu den Grundlagen der Feinsiebung. Aufbereitungs – Technik, 1971, Nr 3.
5. Bock B., Kraemer T.: Siebung mit Gummisiebflächen unterschiedlicher Lochformen. Aufbereitungs – Technik 1984, Nr 7.
6. Turkiewicz W., Banaszewski T.: Wzrost amplitudy drgań podczas zatrzymywania przesiewaczy z napędami bezwładnościowymi. Archiwum Górniczo-Przemysłowe 1982, z. 4.
7. Dunger E., Kuntzsch G., Unger K.: Untersuchungen über den Einsatz von Gummi und Polyurethanen als Siebböden bei Klassierungsgeräten. Neue Bergbautechnik 1975, Nr 3.
8. Szymoński J.: Wyniki badań i ocena efektywności technologicznej stosowania w przeróbce kruszyw sit gumowych i poliuretanowych. Warszawa 1980. Prace Centralnego Ośrodka Badawczo-Rozwojowego Przemysłu Kruszyw, nr 2.
9. Wolff K.: Systemsiebflächen aus Polyurethan für Siebmaschinen. Aufbereitungs – Technik 1979, Nr 7.
10. Wolff K.: Polyurethan – Systemsiebflächen – Bauformen und Anwendungserfahrungen. Aufbereitungs – Technik 1977, Nr 7.
11. Wodziński P.: Przesiewacze wieloczęstościowe. Praca wykonana w ramach projektu badawczo-rozwojowego MNiSzW nr R 1401403.

*Artykuł wpłynął do redakcji w czerwcu 2009 r.
Recenzent: prof.dr hab.inż. Aleksander Lutyński*

Zastosowanie wysoko wydajnych przesiewaczy w technologii klasyfikacji oraz wzbogacaniu ziaren drobnych i bardzo drobnych

Streszczenie

W artykule przedstawiono zastosowanie wysoko wydajnych przesiewaczy w technologii klasyfikacji oraz wzbogacania ziaren drobnych i bardzo drobnych. Stosowanie wysoko wydajnych i sprawnych przesiewaczy w procesach klasyfikacji drobnych ziaren, odciąża obiegi wodne, co w konsekwencji wpływa na niższe zużycie energii elektrycznej. Ponadto w pracy opisano ciekawe rozwiązanie konstrukcyjne firmy DERRICK CORPORATION – pięciopokładowy przesiewacz typu Stack Sizer, wyposażony w sita poliuretanowe o dużym prześwicie.

Summary

Use of sieves of high capacity in classification line as well as in beneficiation of fine and very fine grains were given in the paper. The use of high productive and reliable sieves can ease water circuits, what in result enable reducing power consumption. Very interesting solution of DERRICK CORPORATION – five deck Stack Sizer screen equipped with polyurethane screen of high clearance were described.

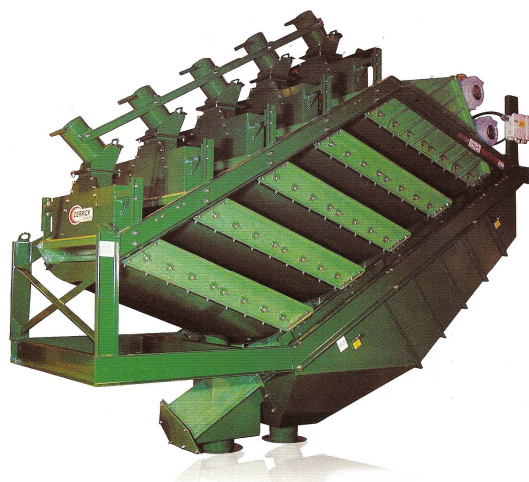
1. Wprowadzenie

Stale rosnące wymagania w zakresie ostrości podziału, obniżania wielkości ziarna podziałowego oraz wzrostu wydajności stawiane przesiewaczom przeznaczonym do klasyfikacji minerałów „na mokro”, zmusiły amerykańską firmę DERRICK CORPORATION do szukania nowych rozwiązań, które doprowadziły do skonstruowania wielopokładowego przesiewacza typu Stack Sizer, dla którego przyjęto założenie, iż dla uzyskania optymalnej wydajności, jak i skuteczności przesiewania „na mokro” istotne znaczenie ma szerokość pokładu sitowego.

Bardzo ciekawym rozwiązaniem konstrukcyjnym wspomnianej firmy jest przesiewacz z pięcioma pokładami sitowymi osadzonymi na rzeszocie z jednym podwójnym napędem wibracyjnym o wysokiej częstotliwości, wyposażonym w sita poliuretanowe o dużym prześwicie (rys. 1). Zasadę działania przedstawiono na rysunku 2.

Przesiewacze typu Stack Sizer znalazły zastosowanie do klasyfikacji „na mokro” ziaren drobnych i bardzo drobnych w kopalniach fosforanu, rud żelaza i miedzi oraz piasków kwarcowych. W tabeli 1 przedstawiono wyniki prób przeprowadzonych w północno-amerykańskiej kopalni fosforanów z przesiewaczem typu Stack Sizer model 2SG48–60W–5STK przeznaczonym do klasyfikacji ziaren 0,5 mm.

Analiza wyników zawartych w tabeli 1, wskazuje, że przy sumarycznej powierzchni przesiewania na pięciu pokładach wynoszącej 9 m² i ziarnie podziałowym 0,5 mm osiągnięto wydajność 19,6 oraz 24,4 Mg/m²h. Uwzględniając zaś szerokość sita 5x1,2 m uzyskano wydajność nadawy wynoszącą odpowiednio 29,3 oraz 39,7 Mg/m² h.

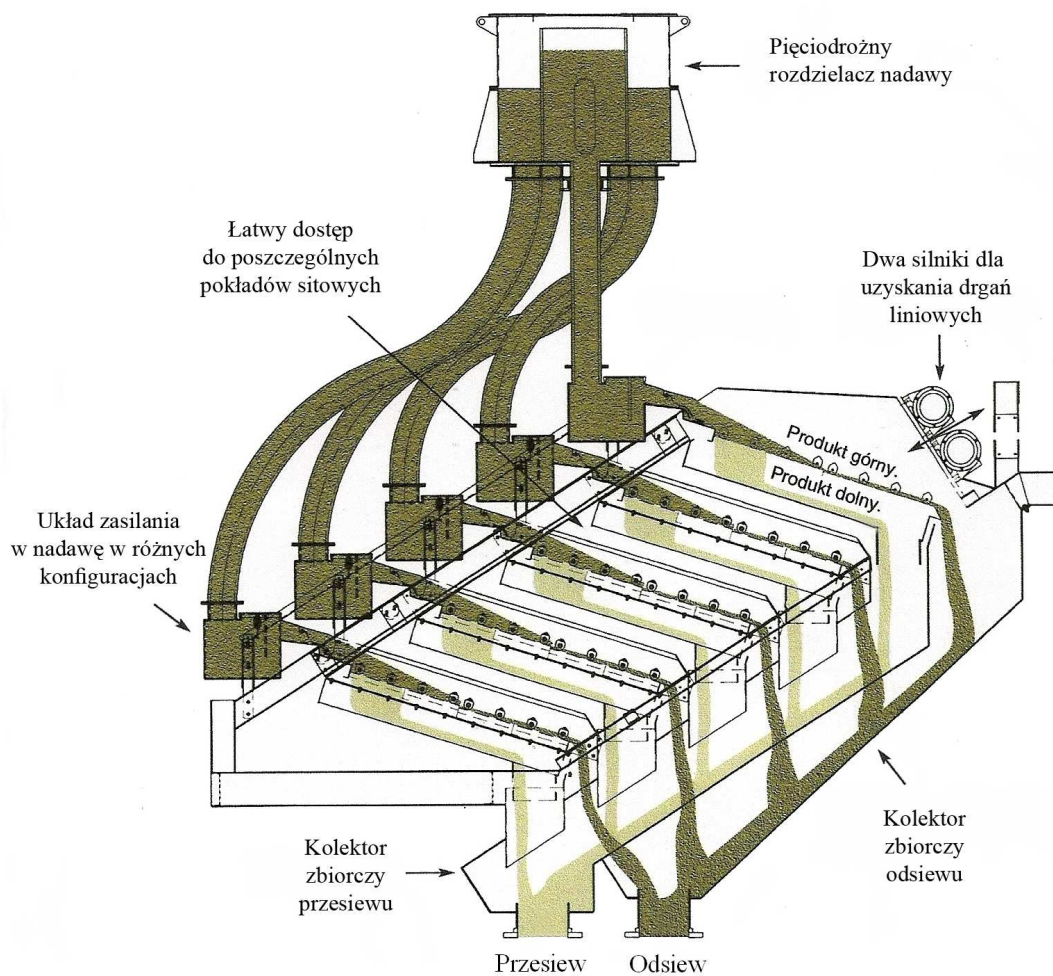


Rys.1. Pięciopokładowy przesiewacz typu Stack Sizer

Jak wskazują wyniki mimo stosunkowo wysokiej zawartości części stałych w zawieszynie nadawy sięgającej ciężarowo 49,9 % dla próby 1, klasyfikacja była skuteczna.

Dla próby 2 zwiększono nadawę, którą jednocześnie bardziej rozcieńczono do 220 Mg/h, tak, że zawartość części stałych w zawieszynie sięgała ciężarowo 39,6%. Większe rozcieńczenie nadawy spowodowało, poprawę skuteczności klasyfikacji, dzięki usunięciu ziaren poniżej 0,075 mm (odmulanie), które utrudniały klasyfikację grubszych frakcji ziarnowych.

Wysoka wydajność oraz skuteczność klasyfikacji uzyskiwana z zastosowaniem przesiewaczy firmy DERRICK CORPORATION zachęciła Zakład Płukania Piasku Kwarcowego PCC Rail Szczakowa S.A. w Jaworznie oraz KGHM Polska Miedź O/ZWR rejon Rudna w Polkowicach, do wykorzystania ich w swoich procesach technologicznych.



Rys.2. Zasada działania pięciopokładowego przesiewacza typu Stack Sizer

Wyniki przeprowadzonych prób przemysłowych klasyfikacji „na mokro” ziaren fosfatu na przesiewaczu Stack Sizer (ziarno podziałowe 0,5 mm)

Tabela 1

Stack Sizer Model 2SG48 - 60W - 5STK												
	Próba nr 1						Próba nr 2					
Nadawa, Mg/h (części stałe)	176						220					
% udział części stałych (wagowo)	49,9						39,6					
Kąt pochylenia sita, stopień	15						15					
Szczelina sita, mm	0,5						0,5					
Pow. całkowita sita, m ²	9						9					
Szerokość sita, m	5 x 1,2 = 6						5 x 1,2 = 6					
Klasa ziarnowa, mm	Nadawa		Przesiew		Odsiew		Nadawa		Przesiew		Odsiew	
	Udział wag [%]	Pozost wag [%]	Udział wag [%]	Pozost wag [%]	Udział wag [%]	Pozost wag [%]	Udział wag [%]	Pozost wag [%]	Udział wag [%]	Pozost wag [%]	Udział wag [%]	Pozost wag [%]
Powyżej 6,35	0,97	0,97			4,77	4,77	1,23	1,23			5,59	5,58
4,0–6,35	3,07	4,04			10,94	15,71	2,54	3,77			12,67	18,26
0,85–4,0	13,44	17,48			48,51	64,22	12,00	15,77			57,45	17,71
0,5–0,85	6,01	23,49	1,88	1,88	16,97	81,19	5,15	20,92	1,49	1,49	19,88	95,59
0,3–0,5	7,39	30,88	7,92	9,80	4,27	85,46	6,64	27,56	6,87	8,36	20,50	98,09
0,18–0,3	10,43	41,31	14,19	23,99	2,57	88,03	9,57	37,13	12,84	21,20	0,38	98,47
0,15–0,18	5,30	46,61	5,18	29,17	0,96	88,99	4,47	41,60	4,65	25,85	0,11	98,58
0,1–0,15	6,62	53,23	9,04	38,21	1,16	90,15	6,44	48,04	8,45	34,30	0,15	98,73
0,075–0,1	6,00	59,23	6,96	45,17	0,96	91,11	5,63	53,67	6,66	40,96	0,13	98,86
Poniżej 0,075	40,77	100,0	54,83	100,0	8,89	100,0	46,33	100,0	59,04	100,0	1,14	100,0
Wychód [%]	72,6	27,4	78,7	21,3								

2. Zakład Płukania Piasku Kwarcowego PCC Rail Szczakowa S.A w Jaworznie

PCC Rail Szczakowa S.A. jest przedsiębiorstwem, które oprócz eksploatacji złóż piasku dla potrzeb górnictwa, produkuje piaski kwarcowe klasyfikowane. Wysoka zawartość SiO₂ sięgająca ca. 99% oraz owalny kształt ziaren sprawia, iż piaski te są poszukiwanym produktem na rynku, szczególnie w odlewnictwie.

Proces klasyfikacji piasków w omawianym zakładzie oparty był na klasyfikatorach przeciwwądowych i wielokomorowych, jednak rosnące wymagania jakościowe rynku na piaski klasyfikowane, skłoniły firmę PCC Rail Szczakowa S.A. do budowy obok istniejącego już Zakładu Płukania i Klasyfikacji Piasku Kwarcowego nowej instalacji do przeróbki o wydajności 50 Mg/h, której zadaniem jest pozyskanie frakcji ziarnowych:

- 0,5(0,43)/ 1 mm,
- 0/0,5(0,43) mm,
- oraz 0/0,25 mm.

Budowy takiego zakładu „pod klucz” podjęli się współpracujący ze sobą QUINTO Sp. z o.o. z Radzionkowa oraz Biuro Projektów i Realizacji Inwestycji „SEPARATOR ROBERTS & SCHAEFER” z Gliwic.

Obok istniejącej dotychczas instalacji wybudowano nową, opartą na wysoko wydajnych przesiewaczach typu Stack Sizer firmy DERRICK CORPORATION, która na podstawie uzyskanych od inwestora analiz, dobrała odpowiednie maszyny, celem uzyskania żądanych produktów.

Do zasilania nowego układu wykorzystano nadawę z istniejącego zakładu o parametrach przedstawionych w tabeli 2.

Procentowy udział uziarnienia nadawy

Tabela 2

Uziarnienie mm	Udział %
1,600	0,0
0,800	1,2
0,630	3,2
0,400	20,3
0,320	21,6
0,200	40,0
0,160	9,1
0,100	4,3
0,071	0,3
0,056	0,2
< 0,056	0,0
Razem:	100,0

Należy podkreślić, że wysoki udział ziaren krytycznych w przedziale ziarna podziałowego spowodował konieczność wykonania instalacji opartej na trzech modułach (rys. 3 i 4).

Moduł I

Składa się z rząpia, skąd pompą zawieszona o zawartości 30–35% części stałych kierowana jest do rozdzielacza nadawy, a następnie na 3-pokładowy przesiewacz typu Stack Sizer. Odsiane i odwodnione grube ziarna o wielkości powyżej 0,5(0,43) mm kierowane są bezpośrednio przenośnikiem taśmowym na składowisko. Natomiast przesiew kierowany jest do rząpia, skąd pompą podawany jest do rozdzielacza modułu II.

Moduł II

Moduł II zbudowany jest analogicznie jak moduł I z tą różnicą, że zawartość części stałych w zawieszaniu wynosi ca. 25%. Odsiane i odwodnione ziarna o wielkości powyżej 0,3(0,35)mm kierowane są przenośnikiem taśmowym na składowisko. Przesiew z rząpia modułu II kierowany jest pompą na moduł III.

Moduł III

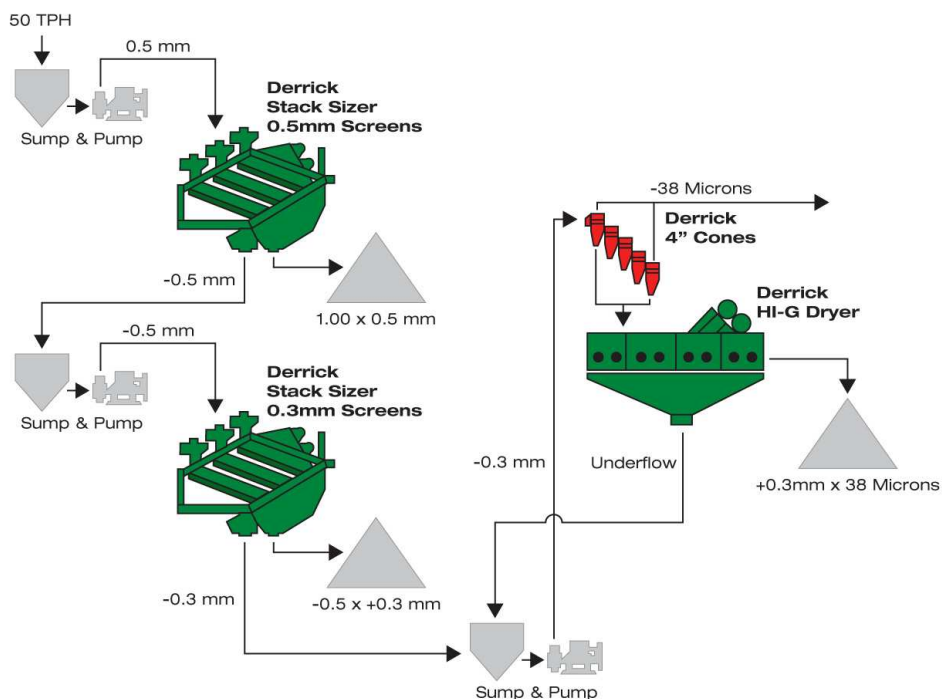
Moduł III stanowi samodzielną jednostkę klasyfikującą i odwadniającą. Składa się z dwunastu 4” hydrocyklonów zagęszczająco-klasyfikujących, na których odcinane są ziarna poniżej 38 µm (odmulanie) oraz przesiewacza odwadniającego. Na tym zespole odwadniającym odwadniana jest frakcja ziarnowa o wielkości poniżej 0,3 mm. Tak uzyskany produkt transportowany jest przenośnikiem na skład.

Część przelewu z hydrocyklonów z ziarnami poniżej 38 µm kierowana jest do rząpia modułu II zaś pozostała część przelewu oraz przesiew (odsącz) z sita odwadniającego kierowane są do stawu osadowego, skąd po sedymentacji woda jest z powrotem pompowana do obiegu.

Wysoka wydajność, niskie zużycie wody oraz ostra klasyfikacja jest podstawową zaletą omawianego układu. Osiągnięte to zostało dzięki konstrukcji przesiewaczy, zastosowaniu sit o dużym prześwicie oraz wibracji o wysokiej częstotliwości przy niskiej amplitudzie drgań.

Warto również podkreślić, że przesiewacze typu Stack Sizer zużywają prawie trzykrotnie mniej energii elektrycznej (0,68 kW/m²) w porównaniu do innych przesiewaczy.

Zastosowanie wysoko wydajnych przesiewaczy pozwala na przeprowadzenie bardzo precyzyjnej klasyfikacji produktu.



Rys.3. Schemat trójmodułowej instalacji do klasyfikacji piasku



Rys.4. PCC Rail Szczakowa S.A. – Zakład do Płukania i Klasyfikacji Piasku Kwarcowego

3. Określenie możliwości techniczno-technologicznych poprawy ostrości klasyfikacji produktów procesu wzbogacania urobku w O/ZWR Rudna

Konieczność poprawy sprawności i efektywności klasyfikowania ziaren drobnych skłoniła KGHM Polska Miedź O/ZWR Rudna do zastosowania przesiewaczy typu Stack Sizer.

Dotychczas proces mielenia w ZWR Rudna prowadzony jest w młynach prętowych, kulowych i cylpowsowych, natomiast klasyfikacja w klasyfikatorach zwojowych oraz hydrocyklonach.

Niedoskonałość procesu klasyfikacji powoduje, że w zależności od stosowanych układów mielenia i klasyfikacji następuje przemielenie ziaren, niedomielenie oraz wzrost obiegu materiału w układach technolo-

gicznych. Występowanie tych zjawisk wynika ze zróżnicowanej prędkości opadania ziaren w cieczy, co oznacza, że są one klasyfikowane nie tylko pod względem wielkości, lecz także pod względem gęstości właściwej. Dlatego małe ziarna o dużej gęstości właściwej zachowują się podobnie jak duże ziarna o małej gęstości właściwej. Powoduje to, że z wylewu hydrocyklonów przedostają się niewielkie ziarna siarczków miedzi, natomiast do przelewów stosunkowo duże ziarna zrostów i impregnacji siarczków miedzi.

W wyniku analizy procesów stwierdzono, że jednym ze sposobów poprawy skuteczności klasyfikacji jest wprowadzenie do węzłów klasyfikująco-mielących przesiewaczy.

Nie ma wątpliwości, że rozdział produktu na przesiewaczu, gdzie jego istotą jest wielkość ziarna, stwarza korzystniejsze warunki klasyfikacji od tych, które uzyskuje się w hydrocyklonach lub klasyfikatorach. Trudność z zastosowaniem przesiewaczy do klasyfikacji w zakładach wzbogacania rudy miedzi wiąże się m.in. z koniecznością ograniczenia w nadawie miazgi drzewnej, złomu metali, itp. bowiem istotnym elementem procesu klasyfikacji w tych zakładach jest wydajność i niezawodność eksploatacyjna urządzeń. W celu sprawdzenia skuteczności klasyfikacji za pomocą przesiewania w 2007 roku przeprowadzono testy technologiczne w siedzibie firmy DERRICK w Buffalo na przesiewaczu typu Stack Sizer (rys. 5 i 6).



↑ Rys.5. Jednoprądowy przesiewacz typu Stack Sizer

⇒ Rys.6. Stanowisko doświadczalne Stack Sizer w Buffalo (USA)

Podczas testów technologicznych wykonano próby na dwóch produktach z procesu technologicznego ZWR Rudna, tj. odpadzie I czyszczenia oraz wylewie z młyna prętowego.

Półprodukty przesiewano na sitach o szczelinach:

- wylew z młyna prętowego: 0,210 mm; 0,300 mm; 0,390 mm; 0,500 mm;
- półprodukt (odpad I czyszczenia): 0,151 mm; 0,100 mm; 0,075 mm;

Wysoka wydajność i skuteczność przesiewania, a szczególnie w przypadku wylewu młyna prętowego mieszcząca się w granicach 88% do 96% spowodowała, że podjęto decyzję przeprowadzenia prób w warunkach przemysłowych.

W tym celu w ZWR Rejon Rudna zostało wybudowane stanowisko doświadczalne wyposażone w jednopokładowy przesiewacz typu Stack Sizer (rys. 7), którego schemat pokazano na rysunku 8.

Na stanowisko doświadczalne składały się:

- jednopokładowy przesiewacz Stack Sizer z pokładami sit typu TH48-30x0,15 MT, TH48-30x0,21 MT oraz TH48-30x0,50 SS,
- przepływomierz nadawy kierowanej do przesiewania,
- przepływomierz wody zraszającej,
- przemiennik częstotliwości do zmiany obrotów pompy podającej nadawę na przesiewacz,
- zbiornik do pomiarów ilości produktu dolnego przesiewacza.



Celem przeprowadzonych prób w warunkach przemysłowych było sprawdzenie możliwości techniczno-technologicznych klasyfikacji na przesiewaczu typu Stack Sizer dla wybranych produktów procesu technologicznego, jak również przedstawienie koncepcji nowego układu technologicznego w przypadku ewentualnego zastosowania przesiewaczu.

W ramach prowadzonych prób sprawdzono możliwość i skuteczność przesiewania następujących produktów:

- wylew młyna prętowego, dla którego przewidziano przesiewanie materiału na sitach oczkach 0,5 oraz 0,21 mm,

- przelew klasyfikatora zwojowego, dla którego przewidziano przesiewanie materiału na sitach o oczkach 15 oraz 0,21 mm,
- wylew młyna kulowego, dla którego przewidziano przesiewanie materiału na sitach o oczku 0,21 mm.

Produkty te posiadają zróżnicowaną charakterystykę granulometryczną, wynikającą m.in. z różnej fazy przygotowania ich do procesu flotacji.

W tabeli 3 przedstawiono charakterystykę granulometryczną, zaś w tabeli 4 charakterystykę jakościowo-ilościową każdego produktu.



Rys.7. Stanowisko badawcze w ZWR Rudna wyposażone w przesiewacz Stack Sizer

Charakterystyka granulometryczna produktów przewidzianych do klasyfikacji na przesiewaczu Stack Sizer

Tabela 3

Klasa ziarnowa mm	Wychód klasy, %								
	Wylew MP				Przelew klasyfikatora zwojowego			Wylew MK	
	2003 r.		2004 r.		2003 r.			2003 r.	2004 r.
	min.	max	śr.	śr.	min.	max	śr.	śr.	śr.
10(8)-5	0,91	3,25	1,80	3,08					
5-2	3,90	8,74	5,92	7,96					
2-1	8,99	15,20	12,53	12,44				2,24	2,20
1,05	9,42	10,75	10,32	9,80	0	0,31	0,09	4,21	5,09
0,5-0,3	5,37	6,77	6,20	18,72	0,50	1,54	0,99	6,32	26,86
0,3-0,2	12,83	16,75	14,79		9,99	15,21	11,56	18,72	
0,2-0,1	20,86	26,27	23,67	23,65	30,06	37,21	32,74	35,11	35,62
0,1-0,075	4,79	6,04	5,40	5,77	8,73	9,36	9,05	9,66	11,01
0,075-0,044	4,04	5,51	4,61	4,38	7,94	9,81	9,11	9,16	7,02
0,044-0	13,90	15,68	14,76	14,20	29,00	39,32	36,46	14,58	12,19
Σ	-	-	100,20	100,00	-	-	100,00	100,00	100,00
powyżej ϕ 0,50	23,22	37,94	30,57	33,28	0	0,31	0,09	6,45	7,29
powyżej ϕ 0,20	41,42	61,46	51,56	52,00	10,49	17,06	12,64	31,49	34,15
powyżej ϕ 0,15									

Charakterystyka jakościowo-ilościowa produktów przewidzianych do klasyfikacji na przesiewaczu Stack Sizer

Tabela 4

Produkt	Ciężar 1 dm ³ g/dm ³	Ilość Mg _{rs} /min	Ilość m ³ /min
Wylew młyna prętowego	1930	14-16	10
Przelew klasyfikatora	1250	7-8	15,5
Wylew młyna kulowego	1780	22	18

Technologiczną ocenę skuteczności procesu przesiewania oparto na analizie uziarnienia nadawy i produktów przesiewania oraz na pomiarach ilości nadawy kierowanej na przesiewacz i ilości produktu dolnego sita. Ocenę uzupełniono o wyliczenie efektywności klasyfikacji wyrażonej następującym wzorem:

$$E_c = \frac{\gamma_d \cdot W_d + \gamma_g \cdot W_g}{100\%}$$

gdzie:

- γ_d – wychód produktu dolnego, %,
- W_d – ilość klasy drobnej w produkcie dolnym, %,
- γ_g – wychód produktu górnego, %,
- W_g – ilość klasy grubej w produkcie grubym, %.

Próby w warunkach przemysłowych przeprowadzone zostały w dwóch etapach.

3.1. Próby przesiewania przelewu klasyfikatora zwojowego

Etap I

Pierwszym testowanym produktem był przelew z klasyfikatora zwojowego, który przesiewany był na sicie o oczku 0,21 i 0,15 mm. W pierwszym etapie nadawano na przesiewacz od 5 do 13 Mg/godz.

Szczegółowe zestawienie wyników z przeprowadzonych prób przedstawiono w tabeli 5 (dla sita 0,21 mm) oraz tabeli 6 (dla sita 0,15 mm).

Dodatkowo w celu porównania wyników klasyfikacji na testowanym przesiewaczu i dotychczasowym układzie, opróbowano hydrocyklony Φ 500. Wyniki tych prób przedstawiono w tabelach 5 i 6 oraz 7 i 8 dla II etapu.

Z uzyskanych danych wynika, że w przypadku przesiewania na sicie 0,21 mm przepływ nadawy wynosi od około 20,6 do 40,5 m³/godz., co stanowi w zależności od gęstości nadawy wydajność od 6,7 do 13,5 Mg/h. Wychód produktu dolnego przesiewania był wysoki i wynosił od 59 do 93%. Całkowita efektywność klasyfikacji wahała się od 74,7 do 89,8%.

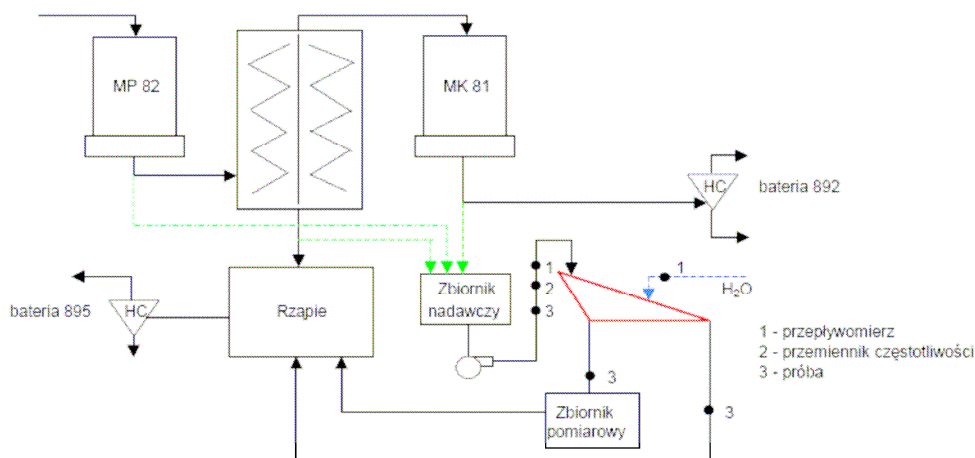
W przypadku hydrocyklonu wychód przelewu był niższy aniżeli wychód dolnego produktu przesiewacza i wynosił od 45 do 58%. Również efektywność klasyfikacji w odniesieniu do klasy poniżej 0,21 mm była niższa aniżeli w przypadku klasyfikacji na sicie i wynosiła od 56 do 65%.

W przypadku przesiewania na sicie 0,15 mm przepływ nadawy do przesiewania był niższy i wynosił od 24,4 do około 37 m³/h, co oznacza w zależności od zagęszczenia podawanej nadawy wydajność od 4,7 do 8 Mg/h. Niższy był również wychód produktu dolnego przesiewania, który mieścił się w przedziale 53 do ponad 73%.

Efektywność całkowita wynosiła 72,5 do 82,5%. W przypadku hydrocyklonu współczynnik efektywności dla tej klasy wynosił 72,5 do 82,5%, przy przelewie kształtującym się na poziomie od 46 do 56%.

Etap II

W przypadku przesiewania przelewu klasyfikatora zwojowego zarówno na sicie o szczeliny 0,21 mm jak i 0,15 mm produkt górny zawierał kilkadziesiąt procent podziarna, zaś produkt dolny do kilkunastu procent nadziarna. Aby temu zapobiec zmniejszono wydajność przesiewania.



Rys.8. Schemat stanowiska badawczego

Charakterystyka wyników klasyfikacji przelewu klasyfikatora zwojowego na przesiewaczu Stack Sizer przy zastosowaniu sита 0,21mm; etap I
Tabela 5

Produkt	Data/ zmiana	Ilość:			wody dodatkowej m ³ /h	Ciężar l dm ³ [g] g cz. stałych w 1 dm ³			Wychód produktu dolnego [%]	Uwagi
		nadawy m ² /h Mg/h	produktu dolnego m ³ /h Mg/h	Nadawa na przesiewacz		Produkty przesiewania:		Przelew klasyfikatora zwojowego (pomiar na prugu)		
						Górny	Dolny			
Przelew klasyfikatora zwojowego	8.07. 1	37,68	28,44	1217	1176	1251	61,23	-		
		13,00	7,96	345	280	400				
	8.07. 2	20,60	23,60	1206	1150	1238	83,38	Woda dolna		
		6,74	5,62	327	238	378				
	9.07. 1	28,53	27,27	1232	1181	1259	74,57	Woda dolna		
		10,50	7,83	368	287	411				
	9.07. 2	39,39	45,50	1166	1124	1208	86,15	Woda górna i dolna		
		10,40	8,96	264	197	330				
	10.07. 1	28,02	28,54	1303	1187	1419	62,95	Woda górna i dolna		
		13,47	8,48	481	297	665				
	10.07. 2	31,68	34,46	1203	1131	1218	72,35	Woda górna i dolna		
		10,20	7,38	322	208	346				
	11.07. 1	34,41	35,09	1192	1152	1213	80,57	Woda górna		
		10,50	8,46	305	241	338				
	15.07	31,50	33,60	1167	1116	1159	74,01	Woda górna i dolna		
		8,35	6,18	265	184	253				
16.07	40,46	39,90	1160	1129	1163	79,57	Woda górna i dolna			
	10,28	8,18	254	205	259					
17.07	39,20	42,54	1190	1142	1256	81,17	Woda górna i dolna			
	11,84	9,61	302	226	407					
18.07	29,50	34,96	1178	1136	1227	90,42	Woda górna i dolna			
	8,35	7,55	283	216	284					
28.07	33,70	38,27	1159	1108	1280	79,13	Woda górna i dolna			
	8,53	6,58	253	172	388					
Produkt	Data/ zmiana	Ciężar l dm ³ [g] g cz. stałych w 1 dm ³			Wychód przelewu [%]					
HC 895	9.07. 16.07.	Nadawa	Przelew	Wylew	wg gęstości	wg sitówki				
		1220	1150	1550	56,21	58,05				
		349	238	874	42,67	45,10				
		1200	1110	1510						
		318	175	810						

Wyniki klasyfikacji przelewu klasyfikatora zwojowego na przesiewaczu Stack-Sizer przy zastosowaniu sita o szczelinie 0,15 mm

Tabela 6

Produkt	Data/ Zmiana	Ilość:				wody dodatkowej m ³ /h	Nadawa na przesiewacz	Cieźar 1 dm ³ [g] g cz. stałych w 1 dm ³			Wychód produktu dolnego [%]	Uwagi
		nadawy m ³ /h Mg/h	produktu dolnego m ³ /h Mg/h	Produkty przesiewania:				Przelew klasyfikatora zwojowego (pomiar na prugu)				
				Górny	Dolny							
Przelew klasyfikatora zwojowego	29.07	31,35 6,93	30,24 3,69	7,68	1139 221	1221 351	1077 122	1238 378	53,25	Woda górna i dolna		
	30.07	25,64 5,49	26,39 3,40	7,73	1135 214	1193 307	1081 129	1200 318	61,93	Woda górna i dolna		
	31.07	37,03 8,00	36,40 5,50	7,75	1136 216	1203 322	1095 151	1281 446	68,75	Woda górna i dolna		
	1.08	20,40 4,69	24,67 3,08	7,60	1145 230	1291 462	1079 125	1264 419	65,67	Woda górna i dolna		
	12.08	19,90 5,97	13,78 3,17	-	1189 300	1289 459	1145 230	1264 419	53,10	-		
	14.08	23,70 6,66	21,88 3,59	5,68	1177 281	1264 419	1103 164	1192 305	53,90	Woda górna		
	20.08	20,65 5,25	23,77 3,07	8,05	1160 254	1286 454	1081 129	1224 356	58,48	Woda górna i dolna		
	Produkt	Data/ zmiana	Cieźar 1 dm ³ [g] g cz. stałych w 1 dm ³				Wychód przelewu [%]					
HC 895	30.07.	1230 365	1160 254	Przelew	Wylew	wg gęstości	wg sitówki					
	14.08.	1210 334	1130 206	1490 778	57,39	55,90	46,18					

Wyniki klasyfikacji przelewu klasyfikatora zwojowego na przesiewaczu Stack-Sizer przy zastosowaniu sita o szczelinie 0,21 mm; etap II

Tabela 7

Produkt	Data/ zmiana	Ilość:			wody dodatkowej m ³ /h	Nadawa na przesiewacz	Ciężar 1 dm ³ [g] g cz. stałych w 1 dm ³			Wychód produktu dolnego [%]	Uwagi	
		nadawy m ³ /h Mg/h	produktu dolnego m ³ /h Mg/h	przelewu			Produkty przesiewania:					
								Górny	Dolny	Przelew klasyfikatora zwojowego (pomiar na progę)		
Przelew klasyfikatora zwojowego	28.10	16,41	19,02	5,50	1286	1374	1179	1321	72,48	Woda górna		
		7,45	5,40		454	594	284	510				
	29.10 1	11,38	16,24	6,87	1310	1444	1165	1315	75,89	Woda górna		
		5,60	4,25		492	705	262	500				
	29.10 2	20,15	25,32	7,80	1273	1399	1174	1312	79,89	Woda górna		
		8,75	6,99		434	634	276	496				
	30.10	28,70	32,74	6,54	1237	1378	1166	1256	80,07	Woda górna		
		10,79	8,64		376	600	264	407				
	18.11	17,10	20,75	5,58	1200	1477	1122	1291	74,08	Woda górna		
		5,44	4,03		318	758	194	462				
19.11	34,40	35,32	6,10	1212	1288	1165	1249	80,41	Woda górna			
	11,59	9,32		337	457	264	395					
20.11	13,30	17,30	5,74	1280	1478	1171	1332	79,56	Woda górna			
	5,92	4,71		445	759	272	527					
Produkt	Data/ zmiana	Ciężar 1 dm ³ [g] g cz. stałych w 1 dm ³			Wychód przelewu [%]							
		Nadawa	Przelew	Wylew	wg gęstości	wg sitówki						
HC 895	29.10.	1235	1140	1690	49,25	49,12						
		373	222	1096								
19.11.		1249	1183	1556	60,53	62,61						
		395	291	883								

Wyniki klasyfikacji wylewu młyna kulowego na przesiewaczu Stack Sizer na sicie o szczelinie 0,21 mm

Tabela 8

Produkt	Data/ zmiana	Ilość:			wody dodatkowej m ³ /h	Ciepła 1 dm ³ [g] g cz. stałych w 1 dm ³				Wychód produktu dolnego [%]	Uwagi
		nadawy m ³ /h Mg/h	produktu dolnego m ³ /h Mg/h	Nadawa na przesiewacz		Produkty przesiewania:		Wylew młyna kulowego (pomiar bezppośredni)			
						Górny	Dolny				
Wylew młyna kulowego	12.09. 1	34,13	17,35	1527	1539	1290	1736	Woda górną i dolną			
		28,57	8,00	837	856	461	1169				
	12.09. 2	26,76	30,59	1192	1813	1109	1739	Woda górną i dolną			
		8,16	5,29	305	1291	173	1174				
	17.09	38,00	33,57	1170	1583	1114	1733	-			
	10,26	6,08	270	926	181	1164					
	18.09 1	40,70	34,50	1250	1658	1178	1751	-			
		16,16	9,76	397	1045	283	1193				
	18.09 2	41,17	28,92	1373	1622	1261	1719	-			
		24,37	12,00	592	988	415	1142				
	19.09	1	39,60	33,06	1326	1487	1212	1746	Woda górną		
			20,51	11,14	518	773	337	1185			
	7.10	1	45,90	39,94	1307	1446	1219	1675	Woda górną		
22,40			13,90	488	708	348	1072				
8.10 1	1	44,40	37,24	1315	1483	1198	1634	Woda górną			
		22,20	11,69	500	767	314	1007				
8.10 2	2	48,25	36,58	1305	1494	1241	1660	Woda górną			
		23,35	14,01	484	785	383	1048				
9.10	1	36,40	28,45	1322	1381	1222	1642	Woda górną			
		18,60	10,04	511	605	353	1020				
Produkt	Data/ zmiana	Ciepła 1 dm ³ [g] g cz. stałych w 1 dm ³				Wychód przelewu [%]					
		Nadawa	Przelew	Wylew	wg gęstości	wg sitowki					
HC 802	12.09.	1640	1437	1982	42,84	40,32					
		1016	694	1560							
	18.09.	1681	1487	1880	36,19	35,48					
		1082	773	1398							
	19.09.	1625	1436	1841	37,18	37,69					
993		692	1336								
8.10.	1648	1470	1796	32,92	33,40						
		1029	746	1264							

Uzyskane wyniki przedstawiono w tabeli 7. Przepływ nadawy wynosił od 11,4 do ponad 34 m³/godz., co odpowiadało ilości przesiewanego materiału w ilości od 5,4 do 11,6 Mg/godz.

Wychód produktu dolnego kształtował się na poziomie 71 do 81% przy efektywności całkowitej w granicach od 84 do ponad 91%.

Wskaźniki porównawcze w hydrocyklonie Φ 500 osiągnięte w tym okresie były znacznie niższe, tj. wychód przelewu wynosił około 49 do ponad 63% przy efektywności całkowitej wynoszącej od 62,3 do 70,7%.

3.2. Próby przesiewania wylewu młyna prętowego

W trakcie prowadzenia prób przesiewania na sicie o szczeliny 0,5 mm wylewu młyna prętowego, wystąpiły problemy techniczne, takie jak: zatykanie się rurociągu, zatykanie się sit miazgą drzewną oraz rozdrobionymi osłonami PCV z przybitki wodnej, kawałkami niezmielonego urobku jak również zaobserwowano niestabilność zagęszczenia nadawy. Wyżej wymienione problemy techniczne wskazały, że skuteczne przesiewanie tego produktu w aktualnych warunkach technicznych było niemożliwe, w związku, z czym odstąpiono od jego badania.

3.3. Próby przesiewania wylewu młyna kulowego

Wylew z młyna kulowego przesiewano na sicie 0,21 mm. Warunki i wyniki przesiewania przedstawiono w tabeli 8.

Przepływ nadawy do przesiewania wahał się od 26,8 do 48,3 m³/godz., co odpowiada wydajności nadawy w zakresie od około 8,2 do ponad 28,6 Mg/godz. Wychód produktu dolnego był na poziomie 50-60%, zaś wychód produktu przelewowego na hydrocyklonie Φ 500 w tym samym czasie był na poziomie 33-40%. Całkowity wskaźnik efektywności przesiewania ponad 68 do ponad 90%. Odpowiedni wskaźnik klasyfikacji na hydrocyklonach był na poziomie 65-68%.

Na podstawie przeprowadzonych testów z przesiewaczem typu Stack Sizer firmy DERRICK można potwierdzić przydatność technologiczną tego typu przesiewaczy do klasyfikacji drobno uziarnionych produktów.

We wszystkich przypadkach klasyfikacja na sitach i dla każdej wydajności skuteczność technologiczna przesiewania była wyższa od klasyfikacji w klasyfikatorze zwojowym oraz hydrocyklonach.

Niezależnie od uzyskanej wyższej skuteczności klasyfikacji na przesiewaczu w porównaniu z hydrocyklonami, przeprowadzono jeszcze inne badania i analizy z produktami przesiewania, takie jak:

- ocena skuteczności rozdziału składników skałotwórczych w funkcji wielkości oczka sita,

- określenie wpływu klasyfikacji z wykorzystaniem przesiewacza na proces przygotowania nadawy do wzbogacania flotacyjnego,
- porównanie układu mielenia i klasyfikacji w układzie dotychczasowym oraz z zastosowaniem przesiewacza w aspekcie technicznym i technologicznym.

Uzyskane wyniki przesiewania przelewu klasyfikatora upoważniły do stwierdzenia, że istnieje możliwość uproszczenia schematu wzbogacania rudy miedzi w O/ZWR rejon Rudna w oparciu o przesiewacze Stack Sizer. Modyfikacja technologii polegałaby na bezpośredniej flotacji produktu dolnego przesiewacza z wydzieleniem odpadu końcowego. Na podstawie laboratoryjnych prób flotacji oraz wyliczonego bilansu materiałowego można stwierdzić, że po ewentualnym zastosowaniu przesiewaczy w technologii wzbogacania rudy miedzi, ilość miedzi w odpadzie końcowym uległaby zmniejszeniu o około 2,5 Mg na dobę.

4. Wykorzystanie możliwości techniczno-technologicznych przesiewaczy typu Stack Sizer w Zakładach Mechanicznej Przeróbki Węgla

Przeprowadzone zarówno w Stanach Zjednoczonych, jak i Polsce badania przesiewaczy typu Stack Sizer wykazały, że mogą one być wykorzystane zarówno w przemyśle węglowym, jak i w procesach wzbogacania innych minerałów.

Przeprowadzone badania we Wschodniej Pensylwanii wykazały, że na trójpokładowym przesiewaczu Stack Sizer z repulacją, można klasyfikować ziarna antracytu na sicie o szczeliny 1,2 mm i osiągnąć wydajność 150 Mg/h przy efektywności sięgającej 90 i 95%.

Dalsze badania wykazały, że na standardowym przesiewaczu typu Stack Sizer z repulacją można na sicie o szczeliny 0,15 mm przesiać ziarna poniżej 0,15 mm, osiągając wydajność 73 Mg/h przy efektywności sięgającej 88 i 91%.

Wyniki te dowodzą, iż konstrukcja omawianych przesiewaczy pozwala na poprawienie jakości węgla o drobnym uziarnieniu, usuwając z niego klasy ziarnowe poniżej 0,15 mm, które zawierają najwięcej popiołu i siarki.

Dla potwierdzenia przedstawionych założeń, przeprowadzono badania z odpadami flotacyjnymi w KWK „Budryk” S.A.

Odpady flotacyjne o średnim zapopieleniu w granicach 61,44% zrzucane są do zagęszczacza Dorre'a w ilości 1300-1350 m³/h i zagęszczeniu 55 g/l, co daje ca. 75 Mg/h części stałych.

Po odsianiu ziaren w przedziale 0,2-0,3 mm można uzyskać z frakcji powyżej 0,2 mm, ca. 9-10 Mg/h węgla o zawartości popiołu w granicach 10-12 %.

Dane wyjściowe przedstawiono w tabeli 9.

Wyniki badań określające udział klas ziarnowych w odpadach flotacyjnych oraz zawartość popiołu w tych frakcjach

Tabela 9

Próba	Próba nr 1	Próba nr 2	Próba nr 3	Próba nr 4
Uziarnienie mm	Udział % Popiół %	Udział % Popiół %	Udział % Popiół %	Udział % Popiół %
Pow. 1,0	0,97 18,1	1,09 8,05	2,2 6,94	1,81 12,1
1,0-0,5	4,45 13,7	2,54 9,4	4,61 8,32	2,94 8,4
0,5-0,2	15,73 18,9	11,48 22,71	12,16 20,37	11,36 18,9
Poniżej 0,2	78,85 70,5	84,89 67,9	81,03 72,7	83,69 70,8
Σ popiół %	61,3	60,6	62,1	61,79

Analiza wyników wskazuje jednoznacznie, że oddzielnie z odpadów flotacyjnych ziaren poniżej 0,2 mm, które zawierają najwięcej popiołu, daje możliwość uzyskania z odsiewu produktu handlowego.

5. Podsumowanie

Klasyfikacja ziaren drobnych i bardzo drobnych za pomocą wysoko wydajnych przesiewaczy daje możli-

wość zastosowania nowych technologii w procesach przerobczych minerałów.

Duża powierzchnia czynna sit poliuretanowych sięgająca 46% dla sita o szczelinie 0,5 mm w przesiewaczach typu Stack Sizer znacząco zmniejsza powierzchnię zabudowy węzła klasyfikacji a duża sprawność i efektywność, jak również niskie koszty eksploatacji korzystnie wpływają na poprawę rentowności zakładów przerobczych.

Stosowanie wysoko wydajnych i sprawnych przesiewaczy w procesach klasyfikacji drobnych ziaren, odciążają obiegi wodne, co w konsekwencji wpływa na niższe zużycie energii elektrycznej.

Literatura

1. Gärtner H.: Nassklassierung im Feinkornbereich mit dem Derrick Stack Sizer. Aufbereitungs Technik Vol 43, nr 7, 2002.
2. Bruder U.: Fine sand processing plant from USA at PCC -Rail in Poland. Aggregates International nr 1, 2009.
3. Skorupka B., Wiśniewski A. i inni: IMN w Gliwice - Sprawozdanie nr 6647/08, grudzień 2008.

Artykuł wpłynął do redakcji w czerwcu 2009 r.

Recenzent: prof.dr hab.inż. Aleksander Lutyński

Mgr inż. Aneta AUGUSTYN
Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Analiza rozkładu pola akustycznego w środowisku wybranych obiektów energetycznych

Streszczenie

Hałas jest czynnikiem niezwykle szkodliwym, którego konieczność ograniczania wynika z negatywnych skutków, jakie on wywołuje. Wytyczne w zakresie ograniczania ponadnormatywnej emisji hałasu zawarto w obowiązujących wymaganiach formalno-prawnych. Istotnymi źródłami przekroczeń dopuszczalnych poziomów dźwięku są obiekty energetyczne, których jedną z najbardziej charakterystycznych cech jest występujące na ich terenie pole akustyczne o cechach pola silnie dyfuzyjnego. Tak skonstruowana charakterystyka źródła utrudnia prowadzenie zarówno badań doświadczalnych, jak i badań modelowych. Niniejszy artykuł jest próbą przybliżenia aktualnie stosowanych metod identyfikacji znaczących źródeł hałasu, jak również określenia rozkładu pola akustycznego. Zaproponowano alternatywną w stosunku do klasycznej metodę prowadzenia analiz rozkładu pola akustycznego obiektów energetycznych. Przeprowadzono również walidację obowiązujących metod badań, udowadniając ich niską przydatność w analizach obiektów energetycznych. Wydaje się, iż dotychczas rzadko stosowana metoda natężeniowa jest jednym ze środków pozwalających na ograniczenie znacznej części błędów pomiarowych, jak również identyfikację zakłóceń akustycznych.

Summary

Noise is extremely harmful factor and the need of its reduction results from negative effects it causes. Guidelines as regards reduction of over-standard noise emission were included in formal requirements which are in force. Power objects are significant sources in exceeding of permissible noise level. Acoustic field of strongly diffusive field features, which is present in the area of power objects, is one of the most characteristic features of power objects. Characteristics of source, which is designed in such way, makes it difficult to carry out both experimental tests and model tests. The paper is an attempt of approaching currently used methods of identification of significant noise sources, as well as determination of acoustic field distribution. A method of conducting the analyses of acoustic field distribution of power objects, which is alternative to classical method, was suggested. A validation of testing methods, which are in force, was also conducted, proving their low usefulness in analyses of power objects. It seems that intensity method, which was rarely used so far, is one of means, which enable reduction of significant part of measuring errors, as well as identification of acoustic disturbances.

1. Hałas i jego oddziaływanie

Hałas jest czynnikiem negatywnie oddziałującym nie tylko na ludzi, ale na wszystkie organizmy żywe. Jego oddziaływanie zawęża przestrzeń życiową zwierząt, jak również zmienia ich naturalne nawyki. Hałas oddziałując na ludzi, wywołuje przede wszystkim skutki funkcjonalne, prowadząc do spadku efektywności i jakości odpoczynku, jak również pracy [5]. Jednakże niezwykle groźne są skutki zdrowotne oddziaływania ponadnormatywnej emisji hałasu na ciało człowieka, do których zaliczyć możemy nie tylko skutki słuchowe, ale i te pozasłuchowe, w tym przede wszystkim niekorzystne oddziaływanie hałasu na układ nerwowy i układ krwionośny [3].

Zakres niekorzystnego oddziaływania ponadnormatywnej emisji hałasu, wymusza konieczność prowadzenia działań w zakresie ograniczania emisji do poziomów dopuszczalnych. Poziomy dopuszczalne, jak i metodykę prowadzenia pomiarów, określono w obowiązujących wymogach formalno-prawnych.

2. Wymagania formalno-prawne

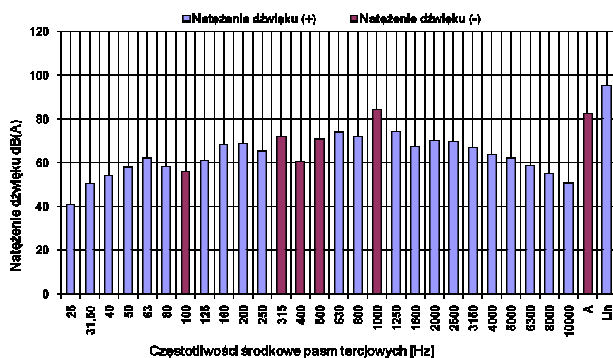
Metodykę prowadzenia badań emisji hałasu określa Załącznik nr 6 Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 4 listopada 2008 r. w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów wielkości emisji oraz pomiarów ilości pobranej wody (Dz.U. z 2008 r. Nr 206, poz. 1291).

Charakterystykę i klasyfikację terenów podlegających ustawowej ochronie przed hałasem, określa Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 14 czerwca 2007 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku (Dz.U. z 2007 r. Nr 120, poz. 826). Rozporządzenie to, określa również dopuszczalne poziomy dźwięku z podziałem na kategorie terenu, jednocześnie odnosząc się do typu źródła, jak również pory emisji hałasu. Ustawodawca wprowadził dwie pory w odniesieniu do czasu emisji hałasu: porę dnia (w godzinach od 6⁰⁰ do 22⁰⁰) i porę nocy (w godzinach od 22⁰⁰ do 6⁰⁰).

3. Obiekty energetyczne, jako źródło ponadnormatywnej emisji hałasu

Jednym z istotniejszych źródeł ponadnormatywnej emisji hałasu w środowisku, są obiekty energetyczne, do których zaliczamy konwencjonalne elektrownie na węgiel kamienny i brunatny, elektrociepłownie, ciepłownie i fermy wiatrowe. Hałas emitowany z terenów energetycznych, charakteryzuje się przede wszystkim znacznym zasięgiem oddziaływania, dochodzącym do ~ 500 m, jak również szerokim widmem emitowanego hałasu, w którym dominują niskie i średnie częstotliwości, co przedstawiono na rysunku 1 [3]. Kolorem niebieskim oznaczono poziom oddziaływania źródła emisji hałasu odniesiony do danej częstotliwości, natomiast kolorem bordowym poziom zakłóceń akustycznych w rejonie badanego źródła, które są tłem akustycznym.

Znaczny zasięg emitowanego hałasu wynika przede wszystkim z dużej mocy zainstalowanych maszyn, urządzeń i aparatów, jak również ze znacznego ich nagromadzenia na stosunkowo niewielkiej powierzchni [1, 2].



Rys.1. Widmo natężenia dźwięku określone w rejonie ściany budynku emitującego hałas - oś istotnego źródła hałasu

Ponadto, często w bezpośredniej bliskości obiektów energetycznych (do odległości 100 m), zlokalizowane są obiekty podlegające ustawowej ochronie przed hałasem, najczęściej na terenie Polski jest to zabudowa mieszkaniowa wielorodzinna i zamieszkania zbiorowego [3]. Rzadziej spotyka się w rejonie obiektów energetycznych zabudowę mieszkaniową jednorodziną i tereny związane ze stałym lub czasowym pobytem dzieci i młodzieży, na których to obowiązują znacznie wyższe wymogi w zakresie dopuszczalnych poziomów emisji hałasu ze źródeł.

Istotne jest również, iż wraz ze wzrostem ogólnoswiatowego zapotrzebowania na energię elektryczną, obserwowana jest tendencja do budowy nowych bloków energetycznych, jak również modernizacji istniejących. Pociąga to dalszy wzrost i tak już wysokiego wskaźnika mocy brutto, rozumianego tutaj jako stosunek zainstalowanej mocy akustycznej przypadającej na jednostkę powierzchni. To z kolei prowadzi do znacz-

nego wzrostu zasięgu emitowanego hałasu, jak również do istotnego poszerzenia pasma oddziaływania [4].

Obserwowane przekroczenia dopuszczalnego poziomu emisji hałasu na terenach chronionych zlokalizowanych w rejonie przedmiotowych obiektów energetycznych nierzadko dochodzą do poziomu 6-8 dB (A), co pociąga za sobą bardzo szeroki zakres działań, których celem jest ograniczenie ponadnormatywnej emisji hałasu. Istotne jest również to, że ograniczenie emisji hałasu w środowisku o tak znaczny poziom, pociąga za sobą konieczność stosowania zabezpieczeń przeciwhałasowych o wysokiej skuteczności tłumienia ponadnormatywnej emisji, a co za tym idzie, niezbędne jest stosowanie pewnych metod identyfikacji widma dominujących źródeł hałasu [1].

4. Identyfikacja źródeł ponadnormatywnej emisji hałasu

Określenie charakterystyk źródeł zlokalizowanych w obiektach energetycznych odbywa się najczęściej metodą pośrednią [6], poprzez bezpośredni pomiar poziomu emisji hałasu metodą ciśnieniową [2]. Następnym krokiem jest wyznaczenie udziałów źródeł na drodze badań modelowych. Badania doświadczalne prowadzone są wyłącznie z użyciem klasycznej metody ciśnieniowej [1], zaś badania modelowe prowadzi się z użyciem metod geometrycznych, najczęściej metody promieni wodzących. Prowadząc badania w obszarach występowania pola dyfuzyjnego, które można w uproszczeniu opisać, jako pole w którym występuje stały poziom dźwięku, proponuje się stosowanie połączenia metody natężeniowej i badań modelowych. Sondę natężeniową dedykowaną do prowadzenia przedmiotowych badań doświadczalnych, przedstawiono na rysunku 2.



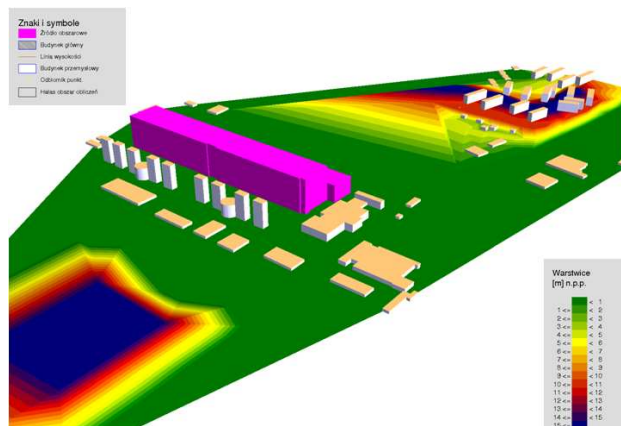
Rys.2. Sonda natężeniowa firmy Brüel&Kjær stosowana przez ITG KOMAG w pomiarach natężenia dźwięku i mocy akustycznej źródeł hałasu

Natomiast dla obiektów energetycznych znamienne jest to, iż w znacznych obszarach pole akustyczne ma właśnie charakter pola dyfuzyjnego. Zastosowanie

metody natężeniowej w określaniu charakterystyk źródeł hałasu, pozwala na identyfikację znacznej części zakłóceń akustycznych, przez co możliwe jest określenie poziomu emisji hałasu na poziomie znacznie bliższym rzeczywistości, niż ma to miejsce w metodzie ciśnieniowej [1].

Jednakże w procesie identyfikacji głównych źródeł hałasu nie mniej istotną rolę odgrywa również etap opracowania modelu obliczeniowego rozkładu pola akustycznego [2]. Model ten zawiera cyfrowy model terenu i model akustyczny. Na cyfrowy model terenu, składają się linie i punkty wysokościowe, jak również istniejące zagospodarowanie terenu w postaci budynków, przegród budowlanych, obszarów zieleni, jak również linii obszarów o zmienionej izolacyjności lub zagospodarowania przestrzennego, itp. Model akustyczny jest uzupełnieniem cyfrowego modelu terenu o parametry akustyczne poszczególnych obiektów, uwzględniając poziom emisji hałasu źródeł, ich kierunkowość i dobowy rozkład oddziaływania w postaci harmonogramu emisji hałasu.

Przykład cyfrowego modelu terenu, wokół typowego obiektu energetycznego, zamieszczono na rysunku 3.



Rys. 3. Cyfrowy model terenu w rejonie typowego obiektu energetycznego

5. Rozkład pola akustycznego w rejonie obiektu energetycznego

Opracowany na podstawie powyższych wytycznych model obliczeniowy rozkładu pola akustycznego, pozwolił na zobrazowanie stopnia oddziaływania typowego obiektu na tereny chronione znajdujące się w jego sąsiedztwie. Pomiar akustyczny wykonany na potrzeby opracowania modelu obliczeniowego przeprowadzono z użyciem metody ciśnieniowej. Pomiar wykonano w pięciu wybranych punktach terenu, oddzielnie dla wysokości $1,5 \pm 0,1$ m i $4,0 \pm 0,1$ m [6].

Określono, iż nawet w odległościach powyżej 330 m oddziaływanie źródeł z terenu przedmiotowego obiektu jest znaczące i w porze nocy przekracza dopuszczalny poziom dźwięku.

Obliczony poziom emisji hałasu z terenu typowego obiektu energetycznego zamieszczono w tabeli 1, odnosząc się do pory dnia i pory nocy, jak również dwóch wysokości H oceny stopnia oddziaływania źródła, tj.: $1,5 \pm 0,1$ m i $4,0 \pm 0,1$ m.

W tabeli 2 natomiast zawarto porównanie poziomu emisji hałasu uzyskanego z obliczeń modelowych i z bezpośrednich pomiarów akustycznych, przeprowadzonych metodą ciśnieniową.

Podstawą obliczeń modelowych była znajomość poziomu emisji hałasu w wyniku wykonanych badań w bezpośrednim sąsiedztwie źródeł oraz cyfrowy model terenu. Analizując uzyskane różnice poziomu emisji hałasu dla poszczególnych punktów obserwacji stwierdzono, iż uzyskane różnice w czterech punktach na pięć (Po2÷Po5) są większe od dopuszczalnej niepewności, której wartość wynosi 2,7 dB(A). Na tej podstawie różnice w poziomach emisji hałasu uznano za istotne.

Poziom emisji hałasu z typowego obiektu energetycznego, w punktach obserwacji zlokalizowanych na terenach chronionych

Tabela 1

Punkt pomiaru	Wysokość H m	Emisja hałasu	
		Pora dnia L_D dB(A)	Pora nocy L_N dB(A)
Po1	1,5	53,2	47,2
	4,0	54,5	48,5
Po2	1,5	53,5	47,5
	4,0	54,7	48,7
Po3	1,5	53,4	47,3
	4,0	54,5	48,5
Po4	1,5	53,0	47,0
	4,0	54,2	48,2
Po5	1,5	51,3	45,3
	4,0	50,7	44,7

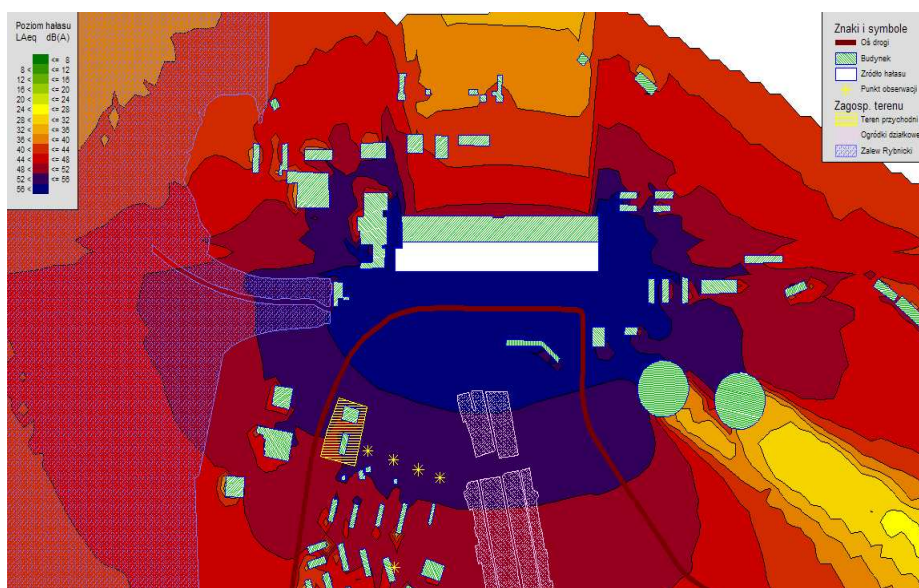
Przyczyną tego może być zastosowana w procesie modelowania rozkładu pola akustycznego metodyka oparta na metodzie ciśnieniowej. Prowadzi ona do uzyskania w badaniach modelowych istotnie większych poziomów emisji hałasu, a tym samym, nie daje rzeczywistego odwzorowania rozkładu pola akustycznego w otaczającym źródło środowisku. Analizie weryfikacji poddać należy użyty w badaniach model obliczeniowy rozkładu pola akustycznego.

Do przyjęcia tezy o błędach wynikających z użycia w pomiarach metody ciśnieniowej skłania rozkład pola akustycznego zamieszczony na rysunkach 4 i 5.

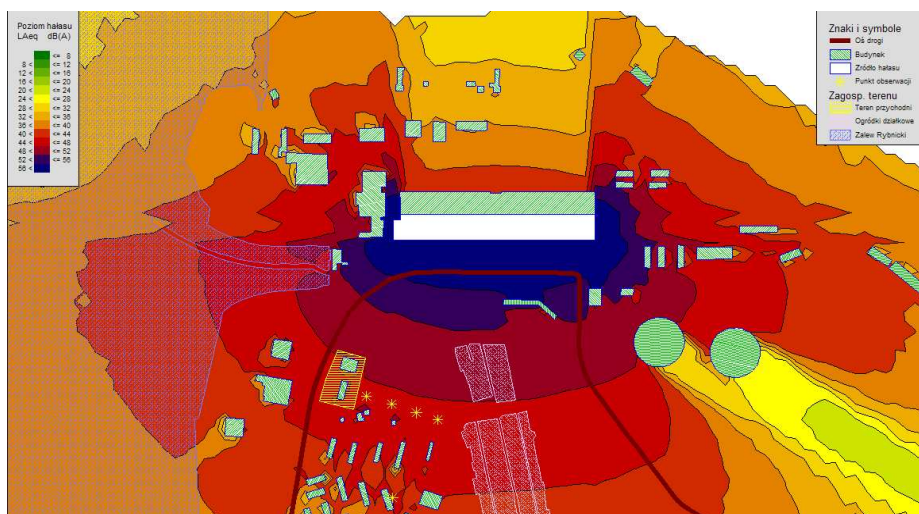
Porównanie poziomów emisji uzyskanych z obliczeń modelowych i z bezpośrednich pomiarów akustycznych przeprowadzonych metodą ciśnieniową

Tabela 2

Punkt pomiaru	Wysokość H m	Emisja hałasu				
		Pomiary akustyczne		Badania modelowe		Różnica
		Pora nocy L _N dB(A)	Pora dnia L _D dB(A)	Pora nocy L _N dB(A)	Pora nocy L _N dB(A)	
Po1	1,5	46,5	53,2	47,2	0,7	
	4.0	46.8	54.5	48.5	1.7	
Po2	1,5	42,9	53,5	47,5	4,6	
	4.0	43.2	54.7	48.7	5.5	
Po3	1,5	43,4	53,4	47,3	3,9	
	4.0	43.5	54.5	48.5	5.0	
Po4	1,5	42,1	53,0	47,0	4,9	
	4.0	42.6	54.2	48.2	5.6	
Po5	1,5	39,4	51,3	45,3	5,9	
	4.0	40.0	50.7	44.7	4.7	



Rys.4. Rozkład pola akustycznego w rejonie typowego obiektu energetycznego opracowany dla pory dnia z użyciem metody ciśnieniowej



Rys.5. Rozkład pola akustycznego w rejonie typowego obiektu energetycznego opracowany dla pory nocy z użyciem metody ciśnieniowej

Rozkład pola akustycznego na rysunku 4 przedstawia jednolite rozmieszczenie izolinii stałego poziomu dźwięku, szczególnie widoczne w kierunku południowym od budynku głównego obiektu energetycznego i przejawia się przebiegiem tych izolinii zbliżonym do okręgu. Taki rozkład pola uniemożliwia identyfikację głównych źródeł hałasu. Można więc stwierdzić, iż klasyczna metoda ciśnieniowa w warunkach pola dyfuzyjnego, z którym niezwykle często mamy do czynienia na terenie obiektów energetycznych, nie pozwala na identyfikację rzeczywistych charakterystyk źródeł, prowadząc niejednokrotnie do błędnej identyfikacji znaczących źródeł emisji. Niniejsze zjawisko szczególnie mocno ujawnia się w analizach charakterystyki kierunkowej źródeł zlokalizowanych w polu stałego poziomu dźwięku.

6. Podsumowanie

Obiekty energetyczne często są przyczyną przekroczeń dopuszczalnego poziomu dźwięku w środowisku, na terenach podlegających ustawowej ochronie przed hałasem. Przyczyną tych przekroczeń, jest znaczna moc zainstalowanych źródeł, jak również znaczne nagromadzenie mocy akustycznej na niewielkiej powierzchni. Kolejną charakterystyczną cechą obiektów energetycznych, jest występowanie na ich terenie pola akustycznego o cechach pola silnie rozproszonego, w tym również pola dyfuzyjnego. Ponadto, szerokie pasmo oddziaływania poszczególnych źródeł, jak również występujące zjawisko „maskowania” emisji hałasu w występującym tam polu dyfuzyjnym, utrudnia prowadzenie skutecznych działań w zakresie ograniczania ponadnormatywnej emisji hałasu.

Badania doświadczalne i modelowe prowadzone na terenie przedmiotowych obiektów energetycznych, skłaniają do weryfikacji przydatności klasycznej metody ciśnieniowej do identyfikacji charakterystyki poszczególnych źródeł. Również modele obliczeniowe opracowane na bazie metody klasycznej, obciążone są znacznymi błędami uwidaczniającymi się na etapie kalibracji modelu obliczeniowego, jak również na etapie analiz rozkładu pola akustycznego, które ma charakter silnie jednorodny.

Literatura

1. Kinsler L., Frey A., Coppens A., Sanders J.: Fundamentals of Acoustics. J. Wiley. New York 1982.
2. Strauss K.: Kraftwerkstechnik. Berlin, Springer Verlag 1994.
3. Pawlas K.: Ocena narażenia na hałas środowiskowy. Instytut Medycyny Pracy i Zdrowia Środowiskowego w Sosnowcu. Krajowy Program Działań na Rzecz Środowiska i Zdrowia. Materiały szkoleniowe. Sosnowiec 2002.
4. NOISE DIRECTIVE: a step forward under the Swedish Presidency. Newsletter of TUTB, No. 17, 2001.
5. Geremek A.: Zabójczy hałas. Zdrowie nr 1 / 2006.
6. Lipowczan A.: Podstawy pomiarów hałasu. Warszawa-Katowice 1987.

*Artykuł wpłynął do redakcji w czerwcu 2009 r.
Recenzent: prof.dr hab.inż. Aleksander Lutyński*

Dr inż. Magdalena ROZMUS
 Laboratorium Metod Modelowania i Ergonomii
 Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Analiza procesu napraw serwisowych maszyn górniczych

Streszczenie

W artykule spośród usług przemysłowych przedmiotem zainteresowania są naprawy, które wykonywane są u usługobiorcy, tj. użytkownika maszyn, na stanowisku pracy maszyny. Naprawy te nazywane są naprawami serwisowymi. Wykonywanie napraw serwisowych przez wytwórnię lub upoważnionego przedstawiciela wytwórni wynika z rozproszenia geograficznego użytkowników maszyn względem wytwórni. Wytwórnia realizuje naprawy u użytkowników maszyn zlokalizowanych w jej pobliżu. Naprawy serwisowe u użytkowników maszyn oddalonych od wytwórni wykonywane są przez upoważnionych przedstawicieli wytwórni.

Summary

Repairs conducted at the contractor site, i.e. user of machine, at the stand of machine operation, are the paper's subject of interest apart from industrial services. These repairs are called servicing repairs. Conducting the servicing repairs by factory or licensed representative of factory results from geographical dispersion of machines' users in relation to the factory. The factory realizes repairs at machines' users who are close to the factory. The servicing repairs at machines' users who are away from factory are conducted by licensed representatives of factory.

1. Wstęp

Obecnie w relacjach między producentami maszyn a ich klientami coraz większą rolę odgrywają usługi przemysłowe. Usługi przemysłowe [1, 3, 4, 5, 6, 7] wspomagają użytkowników maszyn w eksploatacji maszyn. Użytkownikami maszyn (usługobiorcami) są przedsiębiorstwa, których działalność opiera się na wykorzystaniu maszyn. Usługodawcami są przedsiębiorstwa, przeważnie producenci maszyn (zwani dalej wytwórniami) lub ich przedstawiciele (zwani dalej upoważnionymi przedstawicielami wytwórni). Usługi przemysłowe opierają się na długotrwałej współpracy między usługodawcą i usługobiorcą, która jest korzystna dla obu stron.

Przykładami usług przemysłowych są:

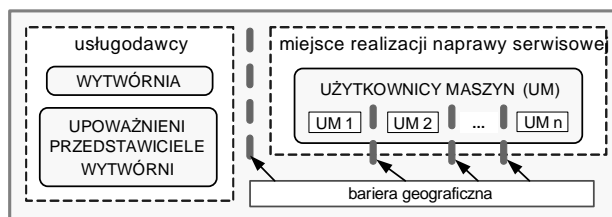
- wspomaganie użytkownika maszyn przy definiowaniu specyfikacji maszyny, tak by odpowiadała jego potrzebom i preferencjom,
- instalacja i uruchomienie maszyny lub wspomaganie użytkownika maszyn w tym zakresie,
- realizacja napraw, zabiegów konserwacyjnych oraz przeglądów maszyny lub wspomaganie użytkownika maszyn w tym zakresie,
- obsługa operatorska maszyny lub wspomaganie użytkownika maszyn w tym zakresie,
- przeprowadzanie modernizacji maszyny,
- przeprowadzanie renowacji maszyny,
- diagnostyka stanu maszyny lub wspomaganie użytkownika maszyn w tym zakresie,
- szkolenie w zakresie użytkowania maszyny i utrzymania ruchu maszyny,
- wspomaganie użytkownika maszyn w zarządzaniu eksploatacją maszyny,

- zaopatrywanie w części zamienne i materiały eksploatacyjne,
- wspomaganie użytkownika maszyn w postępowaniu związanym z wycofaniem maszyny z eksploatacji.

W niniejszym artykule spośród usług przemysłowych przedmiotem zainteresowania są naprawy, które wykonywane są u usługobiorcy, tj. użytkownika maszyn, na stanowisku pracy maszyny. Naprawy te nazywane będą naprawami serwisowymi.

W naprawie serwisowej mogą być zaangażowane wyłącznie zasoby usługodawcy lub także zasoby (w szczególności zasoby ludzkie) usługobiorcy.

Wykonywanie napraw serwisowych przez wytwórnię lub upoważnionego przedstawiciela wytwórni wynika z rozproszenia geograficznego użytkowników maszyn względem wytwórni – rysunek 1. Wytwórnia realizuje naprawy u użytkowników maszyn zlokalizowanych w jej pobliżu. Naprawy serwisowe u użytkowników maszyn znacząco oddalonych od wytwórni wykonywane są przez upoważnionych przedstawicieli wytwórni.



Rys.1. Rozproszenie geograficzne wytwórni i użytkowników maszyn [10]

Dla użytkowników maszyn zlecenie napraw serwisowych jest obligatoryjnym sposobem realizacji na-

praw maszyn w okresie gwarancyjnym. Istnieją sytuacje, w których użytkownicy maszyn są zainteresowani zleceniem napraw serwisowych również w okresie pogwarancyjnym, np. gdy nie posiadają odpowiednio wykwalifikowanego personelu, specjalistycznych narzędzi i sprzętu, dostępu do dokumentacji technicznej maszyny, lub nie mają możliwości zlecenia wykonania naprawy niezależnemu od wytwórni usługodawcy.

Przedmiotem zainteresowania w niniejszym artykule są naprawy serwisowe maszyn górniczych. Świadczenie tych usług odbywa się w ramach procesu, który dalej będzie nazywany procesem napraw serwisowych maszyn górniczych lub nazwą skróconą – procesem NSMG.

2. Proces napraw serwisowych maszyn górniczych (NSMG)

2.1. Uczestnicy procesu

Uczestnikami procesu NSMG są usługodawca i usługobiorca napraw serwisowych, czyli:

- wytwórnia i użytkownik maszyn, lub
- upoważniony przedstawiciel wytwórni i użytkownik maszyn.

W wytwórni / u upoważnionego przedstawiciela wytwórni w proces NSMG bezpośrednio zaangażowani są pracownicy działu obsługi serwisowej:

- dyspozytorzy,
- serwisanci: ślusarze maszynowi oraz elektrycy.

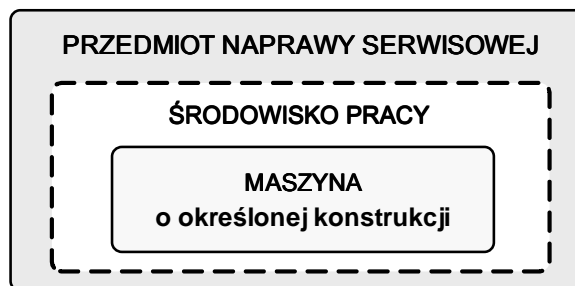
U użytkownika maszyn w proces NSMG bezpośrednio zaangażowani są pracownicy Działu Energomechanicznego:

- personel inżynieryjno-techniczny Działu Energomechanicznego (w skrócie: personel inżynieryjno-techniczny DE):
 - osoby na stanowiskach kierownictwa (Główny Inżynier Energomechaniczny, Główny Mechanik ds. Dołu, Główny Elektryk),
 - osoby na stanowiskach dozoru ruchu (sztygarzy i nadsztygarzy),

- personel naprawczy Działu Energomechanicznego (w skrócie: personel naprawczy DE) - osoby na stanowiskach robotniczych: ślusarze maszynowi i elektrycy.

2.2. Przedmiot napraw serwisowych

Przedmiotem naprawy serwisowej jest konkretna maszyna górnicza o określonej konstrukcji, znajdująca się w danym środowisku pracy – rysunek 2. Przedmiot naprawy serwisowej decyduje o potrzebach w zakresie zasobów rzeczowych i ludzkich sprowadzanych na miejsce naprawy.



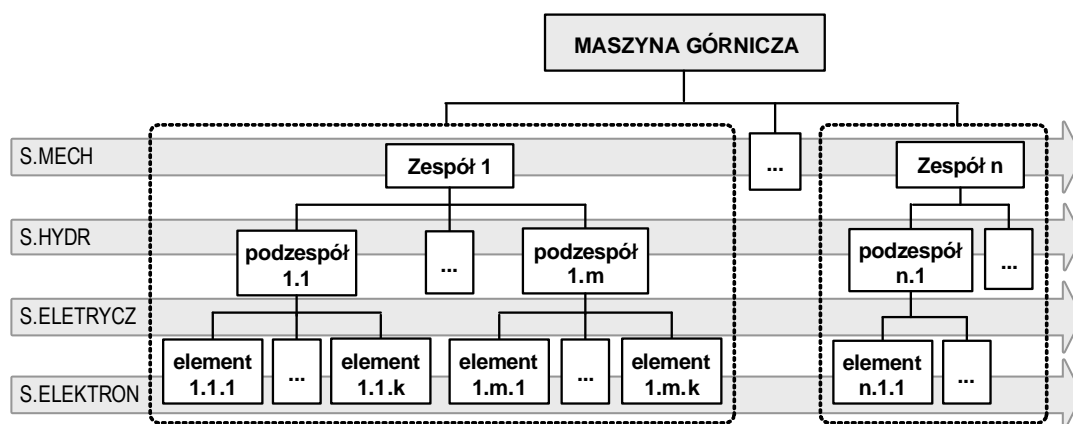
Rys.2. Przedmiot naprawy serwisowej [10]

Konstrukcja maszyn górniczych

Maszyny górnicze, takie jak np. kombajny ścianowe czy kombajny chodnikowe, charakteryzują się złożoną budową. Składają się one ze współpracujących ze sobą systemów: mechanicznego, hydraulicznego, elektrycznego oraz elektronicznego. Strukturę maszyny górniczej przedstawiono w uproszczony sposób na rysunku 3.

Złożona budowa maszyny górniczej decyduje o potrzebach w zakresie zasobów ludzkich wykonujących prace naprawcze. Zasadniczy podział obejmuje dwie grupy pracowników:

- ślusarzy maszynowych - specjalizujących się w naprawach układów: mechanicznego i hydraulicznego,
- elektryków - specjalizujących się w naprawach układów: elektrycznego i elektronicznego.



Rys.3. Uproszczonej struktury maszyny górniczej [10]

S.MECH – system mechaniczny, S.HYDR – system hydrauliczny, S.ELETRYCZ – system elektryczny, S.ELEKTRON – system elektroniczny

Realizacja naprawy dotyczącej jednego z systemów, wiąże się przeważnie z koniecznością ingerencji w inne systemy maszyny. Z tego względu wykonanie prac naprawczych wymaga szerokiej wiedzy na temat budowy i sposobu działania całej maszyny, a nie tylko jej wybranych systemów.

Dla maszyn górniczych charakterystyczne są modyfikacje konstrukcji kolejnych egzemplarzy maszyny danego typu. Różnice w budowie poszczególnych egzemplarzy maszyny danego typu powodują różnice w sposobie wykonywania prac naprawczych. Sposób ten musi być znany pracownikom skierowanym do przeprowadzenia naprawy.

Indywidualna konstrukcja maszyny, której dotyczy naprawa wpływa również na dobór zasobów rzeczowych, tj. części zamiennych, narzędzi oraz środków transportu bliskiego, sprowadzanych na miejsce naprawy.

Środowisko pracy maszyn górniczych

Każda maszyna górnicza pracuje w indywidualnych warunkach, na które składają się wymiary geometryczne i ukształtowanie przestrzeni wokół maszyny itd. (dla kombajnu ścianowego będzie to np. wysokość ściany,

kierunek i kąt nachylenia spągu). Warunki te tworzą środowisko pracy maszyny górniczej.

Środowisko pracy maszyny decyduje o dopuszczalnych, pod względem wykonalności oraz bezpieczeństwa pracy, sposobach realizacji naprawy. Wyznacza możliwości, ograniczenia oraz potrzeby w zakresie zasobów sprowadzanych na miejsce naprawy. Dla zasobów rzeczowych wyznaczana jest ilość i rodzaj stosowanych narzędzi oraz środków transportu bliskiego. Dla zasobów ludzkich możliwości, ograniczenia i potrzeby dotyczą:

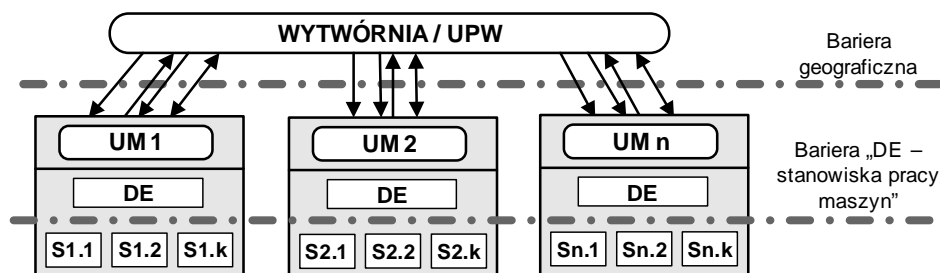
- liczby pracowników wykonujących poszczególne czynności naprawcze,
- cech antropometrycznych pracowników wykonujących poszczególne czynności naprawcze; możliwość wykonywania poszczególnych czynności w określony sposób jest uwarunkowana wzajemnymi relacjami cech antropometrycznych pracowników oraz rozmiarami i kształtem dysponowanej przestrzeni,
- wiedzy pracowników wykonujących poszczególne czynności naprawcze - powinni być zaznajomieni z zalecanymi sposobami wykonywania prac naprawczych w warunkach panujących w miejscu, w którym znajduje się wymagająca naprawy maszyna.



Rys.4. Montaż maszyny górniczej w wytwórni [9]

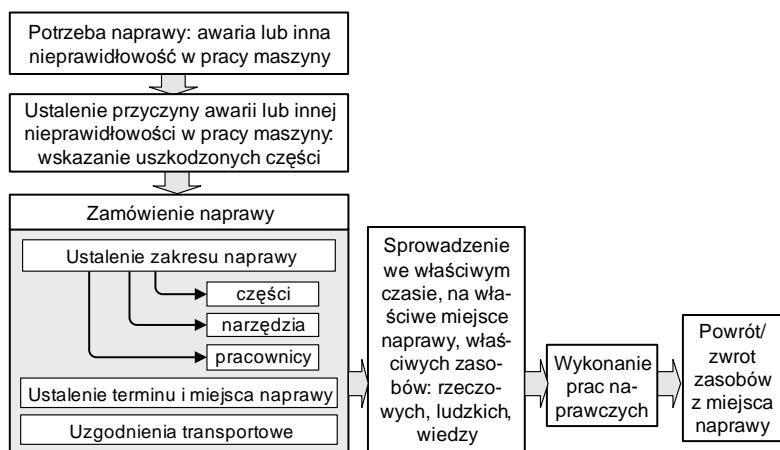


Rys.5. Realizacja naprawy maszyny górniczej u użytkownika maszyn [9]



Rys.6. Warunki realizacji procesu NSMG [12]

UPW - upoważniony przedstawiciel wytwórni, UM - użytkownik maszyn, DE – Dział Energomechaniczny, Sn.k - stanowisko pracy maszyny („n” oznacza użytkownika maszyn, „k” oznacza konkretne stanowisko pracy maszyny u użytkownika maszyn), → części zamienne, ↔ informacje, ↔ narzędzia, serwisanci, zasoby wiedzy



Rys.7. Kluczowe etapy procesu NSMG [12]

Naprawy serwisowe maszyn górniczych polegają na wymianie części maszyny, obejmują więc czynności montażu i demontażu wybranych części maszyny. Środowisko pracy, w jakim czynności te wykonywane są podczas naprawy istotnie różni się od środowiska pracy, w jakim czynności te realizowane są podczas montażu maszyny [11] – rysunki 4 i 5, tabela 1.

Porównanie warunków realizacji czynności demontażu i montażu na hali montażowej oraz na miejscu naprawy w kopalni [10]

Tabela 1

Kryterium porównania	Warunki na hali montażowej	Warunki kopalniane
dysponowana przestrzeń pracy	brak ograniczeń przestrzeni pracy	ograniczenia przestrzenne
podłoże	podłoże równe i suche	podłoże nierówne, pochyłe i śliskie
wspomaganie czynności manualnych	możliwość stosowania narzędzi oraz środków transportu bliskiego	ograniczone możliwości stosowania narzędzi oraz środków transportu bliskiego
oświetlenie	odpowiednie oświetlenie	niewystarczające oświetlenie

Stąd dla każdego z tych środowisk pracy odmienne są wskazania dotyczące zasobów ludzkich, narzędzi oraz środków transportu bliskiego niezbędnych dla realizacji czynności demontażu i montażu części maszyny.

Modyfikacja konstrukcji danego egzemplarza maszyny lub zmiana w środowisku pracy tej maszyny powoduje zmianę przedmiotu naprawy.

2.3. Przebieg procesu NSMG

Maszyny wyprodukowane w danej wytwórni są zainstalowane u wielu użytkowników maszyn, z tego względu realizacja procesu NSMG zachodzi w układzie „1 wytwórnia – wielu użytkowników maszyn” lub w układzie „1 upoważniony przedstawiciel wytwórni - wielu użytkowników maszyn”. Realizacja procesu NSMG w każdym z układów wiąże się z koniecznością dokonania (rys. 6):

- bariery geograficznej, która wynika z rozproszenia geograficznego użytkowników maszyn względem wykonawcy naprawy (wytwórni lub upoważnionego przedstawiciela wytwórni),
- bariery „DE – stanowiska pracy maszyn”, która wynika z rozproszenia stanowisk pracy maszyn względem biur Działu Energomechanicznego.

Na potrzeby naprawy serwisowej do użytkownika maszyn sprowadzane zostają z wytwórni / od upoważnionego przedstawiciela wytwórni zasoby rzeczowe w postaci części zamiennych oraz narzędzi, zasoby ludzkie obejmujące serwisantów oraz zasoby wiedzy. Zasoby te zostają u użytkownika maszyn przemiesz-

czony na miejsca zainstalowania maszyny. W przypadku zaangażowania zasobów rzeczowych, ludzkich oraz wiedzy użytkownika maszyn – zasoby te również zostają sprowadzone na miejsce zainstalowania maszyny. Po wykonaniu naprawy do wytwórni / upoważnionego przedstawiciela wytwórni wracają serwisanci wraz z dysponowanymi przez nich zasobami wiedzy oraz narzędziami. Do wytwórni / upoważnionego przedstawiciela wytwórni mogą zostać także zwrócone części zamienne, które sprowadzono uprzednio na potrzeby danej naprawy, ale nie wykorzystano. Realizacji procesu NSMG towarzyszy także komunikacja uczestników – następuje przepływ zasobów informacyjnych.

Można wyróżnić następujące kluczowe etapy procesu NSMG – rysunek 7.

Ustalenie przyczyny awarii lub innej nieprawidłowości w pracy maszyny jest jednoznaczne z ustaleniem wykazu uszkodzonych części. Na tej podstawie użytkownik maszyn składa w wytwórni / u upoważnionego przedstawiciela wytwórni zamówienie na naprawę. W szczególności dokonane zostają ustalenia dotyczące terminu i miejsca realizacji naprawy oraz wykazu zasobów, jakie zapewni każda ze stron. Dla części zamiennych oraz narzędzi sprowadzanych z wytwórni / od upoważnionego przedstawiciela wytwórni uzgodniony zostaje sposób ich dostarczenia do użytkownika maszyn (uzgodnienia transportowe). Na podstawie uprzednich uzgodnień na miejsce naprawy sprowadzone zostają zasoby. Po wykonaniu naprawy niektóre z zasobów uprzednio sprowadzonych na miejsce naprawy wracają do wytwórni / upoważnionego przedstawiciela wytwórni.

3. Problemy realizacji procesu NSMG

Realizacja procesu NSMG narażona jest na utrudnienia. W szczególności dotyczą one zasobów wiedzy stosowanych przez uczestników procesu oraz realizowanej przez nich komunikacji.

Pracownicy uczestniczący w procesie NSMG są rozproszeni w co najmniej trzech miejscach: 1) w Dyspozytorni wytwórni lub upoważnionego przedstawiciela wytwórni, 2) w biurach Działu Energomechanicznego użytkownika maszyn, 3) w miejscu zainstalowania maszyny u użytkownika maszyn. Ich komunikacja podatna jest na zakłócenia, takie jak:

- Niedoskonałości stosowanego sposobu komunikowania się, wśród których można wymienić:
 - brak możliwości podjęcia rozmowy bezpośrednio z miejsca naprawy,
 - sposób porozumiewania się jest nieadekwatny do przekazywanych treści; występują trudności w takim sformułowaniu komunikatu, by przekazywane informacje były pełne, a ich zrozumienie przez odbiorcę było zgodne z intencjami nadawcy.

- Niedostatki wiedzy u co najmniej jednego uczestnika komunikacji oraz brak możliwości bieżącego uzupełniania brakującej wiedzy.
- Korzystanie z nieaktualnych zasobów wiedzy.
- Niedoskonałe rozwiązania w zakresie gromadzenia danych i udostępniania informacji o dysponowanych zasobach ludzkich i rzeczowych; istotna jest możliwość pozyskania informacji o bieżącej oraz przyszłej 1) dostępności zasobów rzeczowych oraz 2) dyspozycyjności zasobów ludzkich w kontekście konkretnej naprawy.

W procesie NSMG stosowane są zarówno zasoby wiedzy jawnej, jak i zasoby wiedzy ukrytej [2, 8] – tabela 2.

Struktura wiedzy stosowanej w procesie NSMG [10]

Tabela 2

Zakres tematyczny wiedzy	Rodzaj wiedzy	
	jawna	ukryta
konstrukcja maszyny	●	
rodzaje uszkodzeń, jakie mogą wystąpić w maszynie	○	○
objawy uszkodzeń maszyny	○	○
interpretacja wskazań systemu diagnostycznego maszyny	○	○
propagacja uszkodzeń w maszynie		●
sposób przeprowadzania identyfikacji uszkodzonych części maszyny	○	○
kolejność czynności demontażu i montażu poszczególnych części maszyny	○	○
sposób wykonywania czynności demontażu i montażu poszczególnych części maszyny z uwzględnieniem bezpiecznych metod pracy	○	○
wykaz czynności naprawczych wykonywanych podczas poszczególnych napraw	○	○
sposób wykonania poszczególnych czynności naprawczych z uwzględnieniem bezpiecznych metod pracy	○	○
wykaz zasobów rzeczowych i ludzkich niezbędnych dla realizacji poszczególnych czynności naprawczych	○	○

Oznaczenia: ● - wszystkie aspekty, ○ - wybrane aspekty

Stosowana w procesie NSMG wiedza jawna zapisana jest w (tabela 3):

- dokumentacji techniczno-ruchowej maszyny (DTR),
- instrukcjach stanowiskowych.

Zasoby wiedzy jawnej stosowane w procesie NSMG [10]

Tabela 3

Zasoby wiedzy jawnej	Użytkownicy zasobów wiedzy jawnej			Forma prezentacji wiedzy	
	WYTWÓRNIA	UPW	UM	tekstowa	graficzna
DTR	X	X	X	X	X
instrukcje			X	X	

Oznaczenia: UPW – upoważniony przedstawiciel wytwórni, UM – użytkownik maszyn

Analiza stosowania zasobów wiedzy przez uczestników procesu NSMG pozwala sformułować następujące uwagi i wnioski:

- Wiedza stosowana w procesie NSMG jest specyficzna ze względu na przedmiot naprawy, którego uszkodzenie inicjuje ten proces.
- Przystawanie przez uczestników procesu NSMG potrzebnej im wiedzy jest procesem czasochłonnym z uwagi na wysoki stopień złożoności maszyn górniczych, jak również ze względu na różnorodność przedmiotu naprawy.
- Odmienność środowiska pracy na miejscu naprawy oraz środowiska pracy w hali montażowej sprawia, że - przy obecnie stosowanych zasobach wiedzy jawnej - przyswojenie przez serwisantów pełnej wiedzy na temat wykonywania czynności naprawczych wymaga ich udziału w realizacji tych czynności na miejscu naprawy.
- Zasoby wiedzy jawnej obejmują wybrane aspekty wiedzy niezbędnej dla realizacji procesu NSMG. Znaczącą część wiedzy stosowanej w procesie NSMG stanowi wiedza ukryta.
- Wiedza ukryta stosowana przez uczestników procesu NSMG podlega ciągłemu rozwojowi. Użytkownicy maszyn część z tej wiedzy ujawniają w postaci instrukcji tworzonych na własny użytek. Wytwórnia oraz upoważnieni przedstawiciele wytwórni nie ujawniają posiadanej wiedzy ukrytej.
- Ze względu na dysponowane zasoby wiedzy jawnej, zaangażowani w proces NSMG pracownicy wytwórni lub upoważnionego przedstawiciela wytwórni korzystają z wiedzy ukrytej w większym stopniu niż pracownicy użytkownika maszyn.
- Znaczący udział wiedzy ukrytej w zaspokajaniu zapotrzebowania uczestników procesu NSMG na wiedzę niekorzystnie wpływa na przebieg tego procesu, w szczególności w następujących przypadkach:
 - na rynek wprowadzony zostaje nowy typ maszyny – znaczny zakres wiedzy potrzebnej w procesie NSMG powstaje dopiero po przekazaniu maszyny użytkownikowi maszyn, co istotnie wydłuża czas niezbędny na przyswojenie tej wiedzy przez uczestników procesu NSMG; problem potęguje brak systematycznego ujawniania wiedzy ukrytej,
 - u uczestników procesu NSMG występuje luka pokoleniowa wśród pracowników – odejście pokolenia pracowników w wieku emerytalnym, o wieloletnim doświadczeniu w realizacji procesu NSMG, powoduje utratę tej części posiadanej przez nich wiedzy ukrytej, której nie przekazali innym pracownikom (np. podczas realizacji zadań w zespołach pracowniczych),
 - u uczestników procesu NSMG występuje znacząca fluktuacja pracowników – pracownicy podejmują pracę na krótki czas, co powoduje dwa rodzaje skutków: 1) utrata wiedzy ukrytej będącej wyłącznie w posiadaniu tych pracowników, 2) mała liczba fachowców.
- Obecnie stosowane rozwiązania w zakresie rozpowszechniania wiedzy ukrytej wśród uczestników procesu NSMG zakładają przyswajanie wiedzy podczas realizacji powierzonych tym uczestnikom zadań. Przystawianiu wiedzy ukrytej podczas kolejnych realizacji procesu NSMG nie sprzyjają:
 - dyscyplina czasowa realizacji procesu NSMG (zwłaszcza gdy proces ten inicjowany jest z powodu awarii maszyny),
 - warunki panujące na stanowisku pracy maszyny (ograniczenia przestrzenne, hałas),
 - zakłócenia komunikacji realizowanej przez konsultujących się pracowników.
- Dla przyspieszenia i ułatwienia przyswajania wiedzy przez uczestników procesu NSMG zalecane jest wypracowanie rozwiązań w zakresie systematycznej kodyfikacji wiedzy ukrytej.
- Obecnie stosowane sposoby zapisu wiedzy (tekst, rysunek) dają ograniczone możliwości w zakresie uzewnętrzniania wiedzy ukrytej i przenoszenia jej do zasobów wiedzy jawnej; np. tekst i rysunek opisują, ale nie demonstrują sposobu wykonywania poszczególnych czynności naprawczych.
- Rozpowszechnianie i użytkowanie wiedzy jawnej na nośniku papierowym (w formie wydruku) utrudnia jej aktualizację i rozbudowę.
- Stosowane formy zapisu oraz rozpowszechniania wiedzy jawnej powinny być przyjazne użytkownikowi. Zasoby wiedzy jawnej powinny prezentować wiedzę w sposób czytelny i łatwo przyswajalny, a sposób wyszukiwania potrzebnej wiedzy powinien być szybki i prosty. Potrzeba ta wynika ze wspomnianego szerokiego zakresu oraz dużej złożoności wiedzy stosowanej przez uczestników procesu NSMG, a także z następujących faktów:
 - Na każdym z kluczowych etapów procesu NSMG stosowany jest inny zakres wiedzy. Jednocześnie każdy pracownik uczestniczący w danym etapie procesu NSMG charakteryzuje się indywidualnym stopniem przyswojenia niezbędnej wiedzy. Dlatego potrzeby poszczególnych pracowników w zakresie zasobów wiedzy jawnej również są indywidualne.
 - Dyscyplina czasowa, w jakiej realizowany jest proces NSMG nakłada na zasoby wiedzy jawnej wymóg szybkiego udostępniania aspektów zapisanej w nich wiedzy, które są adekwatne do bieżących potrzeb użytkownika tych zasobów wiedzy.
 - Zasoby wiedzy jawnej, jakimi dysponują uczestnicy procesu NSMG powinny być dostępne w dowolnym miejscu i czasie, zgodnie z ich potrzebami. Niezbędne jest uwzględnienie warunków (środowisko pracy), w jakich poszczególni uczestnicy procesu NSMG realizują powierzone im zadania; np. rozpowszechnianie i użytkowanie zasobów wiedzy jawnej na nośniku papierowym nie sprzyja ich stosowaniu w warunkach kopalnianych panujących na miejscu naprawy.
 - Ze względu na ciągły rozwój wiedzy stosowanej w procesie NSMG, w interesie wytwórni leży systematyczna współpraca z upoważnionymi przedstawicielami wytwórni w zakresie dzielenia się wiedzą.

Zasoby wiedzy jawnej opracowane przez poszczególnych uczestników procesu NSMG stają się ich własnością. Niezbędne jest określenie zasad w zakresie wzajemnego udostępniania zasobów wiedzy jawnej przez uczestników procesu.

4. Podsumowanie

Naprawy serwisowe stanowią obecnie znaczący element współpracy między producentem maszyn a użytkownikami tych maszyn.

Naprawy serwisowe maszyn górniczych wykonywane są w ramach procesu napraw serwisowych maszyn górniczych (proces NSMG). W realizacji procesu NSMG istotną rolę ogrywają dwa czynniki: 1) komunikacja uczestników procesu oraz 2) stosowanie zasobów wiedzy przez uczestników procesu. Między oboma czynnikami istnieją wzajemne zależności. W szczególności dysponowanie odpowiednimi zasobami wiedzy rzutuje na skuteczność komunikacji, z kolei odpowiednie rozwiązania w zakresie komunikacji oddziałują na możliwości dzielenia się wiedzą przez uczestników procesu NSMG.

Analiza procesu NSMG pozwoliła zidentyfikować dla obu wskazanych wyżej czynników szereg niedoskonałości. Wskazano ponadto wytyczne dla rozwiązań pozwalających na ograniczenie lub zlikwidowanie tych niedoskonałości. Poszukiwanie takich rozwiązań powinno się odbywać w ścisłej współpracy wytwórni z użytkownikami maszyn oraz upoważnionymi przedstawicielami.

Oczekiwany skutkami poprawy komunikacji i stosowania zasobów wiedzy w procesie NSMG jest realizacja tego procesu:

- skutecznie - maszyna zostaje naprawiana,
- bezbłędnie - poszczególne czynności zostają wykonane poprawnie, tj. zgodnie z najlepszymi praktykami w tym zakresie, uwzględniającymi bezpieczne metody pracy oraz
- z zachowaniem dyscypliny czasowej - czas realizacji poszczególnych czynności mieści się w akceptowanym przedziale, naprawa zostaje wykonana terminowo.

Literatura

1. Bending O., Henkel C.: Monitor Group Study: Industrial Services Strategies, Monitor Group 2004.
2. Grudzewski W.M., Hejduk I.K.: Zarządzanie wiedzą w przedsiębiorstwach. Difin, Warszawa 2004.
3. Johansson P.: Adapting Manufacturing Strategy To Industrial After-Sales Service Operations. Doctoral Dissertation, Linköping University, 2006.
4. Kosonen V.: Industrial Service Business Strategy. Painopörssi Oy, Helsinki 2004.
5. Kowalkowski C.: Enhancing The Industrial Service Offering. New Requirements On Content And Processes, Licentiate Thesis, Linköping University 2006.
6. Kumar R., Kumar U.: Service delivery strategy: trends in mining industries. IJSM, Reclamation and Environment, Vol. 18, No. 4
7. Paloheimo K-S. et al.: Customer Oriented Industrial Services, AD Kari Vuorio & Redfina, Espoo 2004.
8. Perechuda K.: Zarządzanie wiedzą w przedsiębiorstwie. PWN, Warszawa 2005.
9. RFCS Coal RTD Programme Contract No. RFC-CR-04001, IAMTECH, Increasing the Efficiency of Roadway Drivages through the application of Advanced Information, Automation and Maintenance Technologies, KOMAG.
10. Rozmus M.: Doskonalenie łańcucha logistycznego w naprawach serwisowych realizowanych w rozproszonym środowisku użytkowników maszyn. praca doktorska, Politechnika Śląska, Zabrze 2008.
11. Winkler T., Michalak D.: Badanie technologiczności maszyn górniczych w aspekcie ich montażu. Monografia, CMG KOMAG, Gliwice 2008.
12. Winkler T., Rozmus M.: Łańcuch logistyczny w naprawach serwisowych. Materiały z konferencji: Systemy Wspomagania w Zarządzaniu Środowiskiem Przemysłowym, Zuberec, wrzesień 2005.

Artykuł wpłynął do redakcji w czerwcu 2009 r.

Recenzent: prof.dr hab.inż.Teodor Winkler

Modernizacja przemysłu górniczego, a nowe zagrożenia zawodowe związane z emisją pól elektromagnetycznych

Streszczenie

W artykule omówiono zagrożenia związane z emisją pól elektromagnetycznych z uwzględnieniem:

- Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie ujednoczenia przepisów prawnych państw członkowskich dotyczących urządzeń i systemów ochronnych przeznaczonych do użytku w przestrzeniach zagrożonych wybuchem, 94/9/WE, (ATEX),
- Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady dotyczącej ekspozycji zawodowej na pola elektromagnetyczne, 2004/40/WE,
- Rozporządzenia Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz.U. nr 217 z 2002 r. poz. 1833),
- Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 30 października 2003 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku oraz sposobów sprawdzania dotrzymania tych poziomów (Dz.U. nr 192 z 2003r. poz. 1883).

Summary

Hazards associated with emission of magnetic fields were discussed in the paper on the basis of the following documents:

- Directive of European Parliament and Council as regards harmonization of legal regulation in member countries concerning protective machines and systems designed to be used in rooms threaten by explosive hazard 94/9/EC ATEX Directive,
- Directive of European Parliament and Council as regards exposure of workers to magnetic fields, 2004/40/EC,
- Decree of Ministry of Labour and Social Policy dated 29th November 2002 for highest permissible concentrations and intensities of harmful substances (Journal of Laws No. 217 from 2002, pos. 1833)
- Decree of Ministry of Environment dated 30 October for permissible levels of magnetic fields as well as for the method of checking these levels (Journal of Laws No. 192 from 2003, pos. 1883).

1. Zagrożenia wzrostu emisji pól elektromagnetycznych związane z modernizacją przemysłu wydobywczego

Powszechnie zastosowanie energoelektroniki powoduje, że w odbornikach energii elektrycznej i elektrycznych sieciach zasilających występują prądy i napięcia znacznie przewyższające częstotliwość podstawową 50 Hz. Są to tzw. wyższe harmoniczne będące całkowitymi wielokrotnościami częstotliwości podstawowej i interharmoniczne nie będące jej całkowitymi wielokrotnościami.

W technice górniczej coraz powszechniej stosowane są przekształtniki energoelektroniczne dużej mocy, które z racji swej budowy generują odkształcone prądy i napięcia w szerokim paśmie częstotliwości, najczęściej w przedziale $< 5 \text{ Hz}, 50 \text{ kHz} >$. Powoduje to, że w otoczeniu urządzeń powstają pola elektromagnetyczne o częstotliwościach z tego przedziału. Stanowi to zagrożenie wynikające z możliwości wywołania przez takie pola elektromagnetyczne źródeł zapłonu, oraz ekspozycję osób obsługi na ich działanie (napromieniowanie polem elektromagnetycznym).

Przykładowo przekształtnik energoelektroniczny oddziałuje na: sieć zasilającą, oraz zasilane silniki elek-

tryczne, generując harmoniczne prądu i napięcia. Oddziaływanie to ma inny charakter w przypadku sieci zasilającej i inny w przypadku zasilanego silnika elektrycznego.

Możemy przyjąć, że w układach z przekształtnikami energoelektronicznymi następuje emisja pól elektromagnetycznych z zakresu częstotliwości od 0 do 50 kHz, przy czym dla przekształtników z częstotliwością nośną powyżej 10 kHz, górna granica zakresu częstotliwości może wzrosnąć do 150 kHz [4].

2. Emisja pól elektromagnetycznych, a potencjalne źródła

Wśród trzynastu rodzajów źródeł zapłonu norma PN EN 1127-1 wymienia pola elektromagnetyczne w zakresie częstotliwości 9 kHz do 300 GHz [6].

Nowoczesna technika napędowa wykorzystująca przekształtniki energoelektroniczne (urządzenia nieliniowe) powoduje, że do sieci elektrycznej przedostają się prądy i napięcia o częstotliwości wyższej niż częstotliwość podstawowa. Ponadto urządzenia wykorzystujące przekształtniki oddziałują na sieć zasilającą i dlatego zakłócenia wygenerowane w jednych odbornikach nieliniowych mogą przenosić się do innych od-

biorników. W ten sposób odkształcone prądy i napięcia mogą pojawić się także w odbiornikach liniowych przyłączonych do wspólnej sieci zasilającej.

Ponieważ oddziaływanie związane z wyższymi harmonicznymi rozprzestrzenia się także w sieciach średniego napięcia, dlatego może to spowodować pojawienie się wyższych harmonicznymi prądu i napięcia w odbiornikach u odbiorców odległych od miejsca zainstalowania odbiorników generujących wyższe harmoniczne (np. w odbiornikach liniowych w strefach zagrożenia wybuchem).

Wynika z tego, że zakłócenia wygenerowane u jednego odbiorcy energii elektrycznej poprzez zewnętrzne sieci i transformatory zasilające mogą przedostać się do urządzeń innego odbiorcy [6].

Dyrektywa 94/9/WE w punkcie dotyczącym potencjalnych źródeł zapłonu stwierdza między innymi, że [3]:

- nie mogą pojawiać się potencjalne źródła zapłonu takie jak iskry, płomienie, łuki elektryczne, wysokie temperatury powierzchni, energia akustyczna, promieniowanie optyczne, fale elektromagnetyczne i inne źródła zapłonu,
- należy zapobiegać występowaniu w częściach przewodzących urządzenia prądów błądzących lub upływowych sprzyjających powstawaniu niebezpiecznej korozji, nagrzewaniu powierzchni lub iskrzeniu zdolnemu do spowodowania zapłonu,
- urządzenia i systemy ochronne muszą być zaprojektowane i wykonane w taki sposób, aby mogły spełniać w pełni bezpiecznie funkcje, do których są przeznaczone, nawet w obecności zmiennych warunków otoczenia i zewnętrznych napięć, wilgoci, wibracji, zanieczyszczeń i innych oddziaływań zewnętrznych, z uwzględnieniem ograniczeń warunków eksploatacji określonych przez producenta.

W przestrzeniach zagrożonych wybuchem, pola elektromagnetyczne mogą stanowić potencjalne źródło zapłonu, dlatego muszą być przedmiotem oceny ryzyka podczas analizy bezpieczeństwa.

Dokonując takiej analizy musimy uwzględnić, że stosowanie przekształtników energoelektronicznych w układach elektromechanicznych powoduje:

- wytworzenie przebiegów prądu i napięcia w układzie przekształtnik-silnik związanych z falą nośną, która dla typowych rozwiązań ma zakres 2,5-15 kHz; z kolei przebiegi te mogą być źródłem 3, 5, 7, 9... harmonicznymi, co może wytworzyć źródła napięciowe i prądowe o częstotliwościach rzędu kilkudziesięciu kHz, a także stać się powodem zwiększonego prądu upływu poprzez pojemności pasozytne, których impedancja spada wraz ze wzrostem częstotliwości,

- wytworzenie przebiegów prądu i napięcia w układzie przekształtnik-silnik związanych z częstotliwością modulującą (najczęściej 5 Hz do 100 Hz) i jej wyższymi harmonicznymi,
- wytworzenie po stronie zasilania przekształtnika, prądów i napięć o częstotliwościach z zakresu ($50 \text{ Hz} \cong 2 \text{ kHz}$), co jest związane z wyższymi harmonicznymi częstotliwości podstawowej 50 Hz,
- generowanie do sieci zasilającej, wyższych harmonicznymi napięcia z obwodu wyjściowego przekształtnika i silnika poprzez sprzężenia pasozytne (indukcyjne i pojemnościowe).

Odształcenia prądu i napięcia z jednego odbiornika mogą przenosić się do innych odbiorników, w tym także liniowych i w ten sposób stać się źródłem fal elektromagnetycznych, prądów upływowych i błądzących nawet w odległych punktach sieci elektrycznej. Ponadto dodatkowe harmoniczne generowane w sieci elektrycznej mogą niekorzystnie oddziaływać na elektryczne urządzenia kontroli i zabezpieczeń, w tym także na systemy wykrywania i zapobiegania.

Należy zwrócić szczególną uwagę na sposób ułożenia kabli zasilających, stan ekranów oraz ich połączeń z uziomami.

Ponieważ wyższe harmoniczne prądów i napięć powodują wzrost wartości prądów wirowych w miejscu niewłaściwego połączenia może wystąpić zaiskrzenie lub wzrost temperatury. Ponadto należy zwrócić uwagę czy nie wystąpi różnica potencjałów pomiędzy ekranami na zbliżeniach pomiędzy poszczególnymi kablami.

3. Wpływ emisji elektromagnetycznej na zdrowie operatorów sprzętu górniczego

W chwili obecnej dokonuje się szybka modernizacja przemysłu wydobywczego. Powoduje to, że coraz szerzej wprowadza się urządzenia, które z racji swej budowy generują prądy i napięcia o częstotliwościach znacznie przewyższających częstotliwość podstawową (zostało to omówione w punkcie 1 artykułu).

Przykładowo, zastosowane w elektrycznej lokomotywie kopalnianej urządzenia energoelektroniczne pobierają i generują prądy i napięcia z zakresu częstotliwości $0 \text{ Hz} \leq f \leq 50 \text{ kHz}$, co z kolei przekłada się na wytworzenie pola elektromagnetycznego (PEM) z tego zakresu częstotliwości. Operatorzy górniczych urządzeń trakcyjnych są szczególnie narażeni na działanie promieniowania elektromagnetycznego. Wynika to ze wartości budowy obsługiwanych urządzeń, co powoduje, że operator znajduje się bardzo blisko źródeł PEM.

Problem ekspozycji ludzi na pola elektromagnetyczne porusza raport [9] z 21 marca 2007 r., opublikowany przez SCENIHR (Komitet Powstających i Nowo

Zidentyfikowanych Zagrożeń dla Zdrowia) będący organem doradczym Komisji Europejskiej. Raport podzielono według zakresów częstotliwości, tj.:

- częstotliwość radiową (RF; $100 \text{ kHz} < f \leq 300 \text{ GHz}$),
- częstotliwość średnią (IF; $300 \text{ Hz} < f \leq 100 \text{ kHz}$),
- częstotliwość ekstremalnie niską (ELF; $0 < f \leq 300 \text{ Hz}$),
- statyczną (0 Hz).

Dane dotyczące wpływu średnich częstotliwości IF ($300 \text{ Hz} < f \leq 100 \text{ kHz}$) są bardzo skromne. Zatem obecnie ocena poważnych zagrożeń zdrowotnych związanych z zakresem IF opiera się na znanych zagrożeniach, jakie występują przy częstotliwościach niższych i wyższych. Odpowiednia analiza możliwych efektów zdrowotnych związanych z długotrwałą ekspozycją na pola IF jest ważna, gdyż nowe i powstające technologie powodują wzrost ekspozycji ludzi na owe pola. Nie ma również jednoznacznych wyników badań na ekspozycję pól statycznych (0 Hz) i ELF ($0 \text{ Hz} < f \leq 300 \text{ Hz}$) [9]. Ponadto operatorzy kopalnianych urządzeń trakcyjnych ze względu na warunki środowiskowe pracy (ukształtowanie terenu), częste rozruchy i warunki zasilania elektrycznego (rozległa sieć trakcyjna) poddawani są zmiennemu polu elektromagnetycznemu, co utrudnia analizę ryzyka zawodowego.

3.1. Ekspozycja ludzi na pola elektromagnetyczne, a akty prawne

W odniesieniu do osób czynnych zawodowo, Rada i Parlament Europejski przyjęły Dyrektywę 2004/40/WE w sprawie minimalnych wymagań w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa dotyczących narażenia pracowników na zagrożenie spowodowane czynnikami fizycznymi (pola elektromagnetyczne).

Opublikowana 24 maja 2004 r. dyrektywa dopuszcza ocenę warunków ekspozycji pracowników przez:

- oszacowanie,
- pomiary,
- obliczenia wielkości pól elektromagnetycznych.

Wymagania dyrektywy zalecają ograniczenie ekspozycji, obejmującej zarówno zmniejszenie wielkości pól elektromagnetycznych, jak i czasu ekspozycji pracownika. Nie wprowadzono do postanowień dyrektywy jednoznacznie zdefiniowanego parametru związanego z czasem ekspozycji pracownika, który mógłby być zastosowany przy oszacowaniu ryzyka wynikającego z narażenia pracowników na pola elektromagnetyczne, chociaż czas ekspozycji ma być uwzględniony przy ocenie ryzyka.

Występowanie pól elektromagnetycznych przekraczających wartości graniczne powinno skłonić pracodawcę do kontroli warunków i skutków ekspozycji oraz podjęcia działań prewencyjnych [7].

W polskim ustawodawstwie problemy ekspozycji na pola elektromagnetyczne regulują:

- a. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz.U. nr 217 z 2002 r., poz. 1833). W rozporządzeniu określono maksymalne natężenia pól elektromagnetycznych w strefach zagrożenia pracowników – oddzielnie dla składowej elektrycznej i magnetycznej, oraz maksymalne dawki pochłoniętego promieniowania elektromagnetycznego, tzw. dozy [10].
- b. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 30 października 2003 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku oraz sposobów sprawdzania dotrzymania tych poziomów (Dz.U. nr 192 z 2003 r., poz. 1883), które podaje zakres częstotliwości pól elektromagnetycznych, dla których określa się parametry fizyczne charakteryzujące oddziaływanie pól elektromagnetycznych na środowisko, dla miejsc dostępnych dla ludności oraz dopuszczalne poziomy pól elektromagnetycznych, charakteryzowane przez dopuszczalne wartości parametrów fizycznych, dla miejsc dostępnych dla ludności [11].

Wartości dopuszczalne dla pola elektromagnetycznego według [10] dla składowej elektrycznej są podane w tabeli 1, a dla składowej magnetycznej w tabeli 2.

Wartości dopuszczalne parametrów pola elektromagnetycznego dla składowej elektrycznej [10]

Tabela 1

Zakres częstotliwości	Natężenie pola elektrycznego $E_r(f)$ na granicy strefy zagrożenia i pośredniej [V/m]	Dopuszczalna doza pola elektrycznego $Dd_E(f)$
1	2	3
$0 \text{ Hz} \leq f \leq 0,5 \text{ Hz}$	20000	$3200(\text{kV} / \text{m})^2 \cdot \text{h}$
$0,5 \text{ Hz} < f \leq 300 \text{ Hz}$	10000	$800(\text{kV} / \text{m})^2 \cdot \text{h}$
$0,3 \text{ kHz} < f \leq 1 \text{ kHz}$	100/f	$0,08 / f^2 (\text{kV} / \text{m})^2 \cdot \text{h}$
$1 \text{ kHz} < f \leq 3 \text{ MHz}$	100	$0,08(\text{kV} / \text{m})^2 \cdot \text{h}$
$3 \text{ MHz} < f \leq 15 \text{ MHz}$	300/f	$0,72 / f^2 (\text{kV} / \text{m})^2 \cdot \text{h}$
$15 \text{ MHz} < f \leq 3 \text{ GHz}$	20	$3200(\text{V} / \text{m})^2 \cdot \text{h}$
$3 \text{ GHz} < f \leq 300 \text{ GHz}$	$0,16f + 19,5$	$(\frac{f}{2} + 55)^2 (\text{V} / \text{m})^2 \cdot \text{h}$

Uwaga w tabelach 1 i 2:

- f do obliczeń należy przyjmować w jednostkach zgodnie z kolumną 1,
- dla f do 1 kHz i powyżej 3 MHz przyjęta jest wartość skuteczna natężenia pola elektrycznego,
- dla f od 1 kHz do 3 MHz przyjęta jest wartość równoważna natężenia pola elektrycznego,

- dla f do 1 kHz i powyżej 800 kHz przyjęta jest wartość skuteczna natężenia pola magnetycznego,
- dla f od 1 kHz do 800 kHz przyjęta jest wartość równoważna natężenia pola magnetycznego.

Wartości dopuszczalne parametrów pola elektromagnetycznego dla składowej magnetycznej [10]

Tabela 2

Zakres częstotliwości	Natężenie pola magnetycznego $H_r(f)$ na granicy strefy zagrożenia i pośredniej [A/m]	Dopuszczalna doza pola magnetycznego $Dd_{H_r}(f)$
1	2	3
$0\text{Hz} \leq f \leq 0,5\text{Hz}$	8000	$512(\text{kA} / \text{m})^2 \cdot h$
$0,5\text{Hz} < f \leq 50\text{Hz}$	200	$0,32(\text{kA} / \text{m})^2 \cdot h$
$0,05\text{kHz} < f \leq 1\text{kHz}$	10/f	$800 / f^2 (\text{A} / \text{m})^2 \cdot h$
$1\text{kHz} < f \leq 800\text{kHz}$	10	$800(\text{A} / \text{m})^2 \cdot h$
$0,8\text{MHz} < f \leq 150\text{MHz}$	8/f	$512 / f^2 (\text{A} / \text{m})^2 \cdot h$
$0,15\text{GHz} < f \leq 3\text{GHz}$	0,053	$0,022(\text{A} / \text{m})^2 \cdot h$

3.2. Przykładowa ocena zagrożeń związanych z emisją pól elektromagnetycznych w układach trakcyjnych

Podstawowymi źródłami pola elektromagnetycznego w pociągach metra są jednostki napędowe oraz sieć zasilająca prądu stałego (tzw. trzecia szyna).

Podstawowymi źródłami pola elektromagnetycznego w tramwajach są elektryczne jednostki napędowe oraz zasilająca je sieć trakcyjna prądu stałego. Układy napędowe w tramwajach usytuowane są pod przedziałami pasażerskimi. Wagony tramwajowe mogą być napędzane silnikami trakcyjnymi prądu stałego lub przemiennego.

Elektryczne zespoły trakcyjne (EZT) są zasilane z sieci prądu stałego. Sieć trakcyjna jest głównym źródłem pola magnetycznego oddziałującego na maszynistę, jak i pasażerów.

Sieć zasilająca oraz układy napędowe prądu stałego są źródłem pola magnetostaticznego i magnetycznego zmiennego, najczęściej o częstotliwości podstawowej 300 Hz, pochodzącej od tętnień wyprostowanego dwupółkownikowo prądu trójfazowego. W widmie pola elektromagnetycznego może być również obecna składowa o częstotliwości 50 Hz, jak również harmoniczne obu składowych. W przypadku układów napędowych prądu zmiennego, falowniki i silniki są źródłem pola magnetycznego o częstotliwości podstawowej 50 Hz. W fazie rozruchu krótkotrwale pobierają z sieci trakcyjnej prądy o znacznych natężeniach, np. do kilku tysięcy amperów w przypadku EZT. Skutkiem jest występowanie impulsów pola magnetycznego (w czasie

rzędu 0,5 sekundy i krócej). Pola impulsowe występują także podczas gwałtownego hamowania i oddawania prądu do sieci trakcyjnej [12].

Pola elektryczne w kabinie osób kierujących pojazdami nie są istotne z punktu widzenia bezpieczeństwa i higieny pracy z uwagi na zasilanie urządzeń i wyposażenia elektrycznego niskim napięciem, ekranujący wpływ obudów urządzeń oraz stosunkowo dużą odległość od przewodów sieci trakcyjnej i ekranujący wpływ ścian i dachu wagonów. Ocenę ekspozycji pracowników na pola elektromagnetyczne w pojazdach o napędzie elektrycznym można z tego powodu ograniczyć do składowej magnetycznej.

Pracownicy kierujący pojazdami komunikacji miejskiej o napędzie elektrycznym podlegają ekspozycji na pola kilkakrotnie słabsze od poziomu pól, w których dozwolona jest jedynie ekspozycja zawodowa pracowników obsługujących źródła pól elektromagnetycznych. Przykładowo poziom oddziałującego na pracowników pola magnetycznego małej częstotliwości (z dominującymi składowymi 50 i 300 Hz) nie przekracza kilkunastu μT , a pola elektrycznego kilkunastu V/m [12].

3.3. Emisja pól elektromagnetycznych w trakcyjnych urządzeniach górniczych

Zagadnienia emisji elektromagnetycznej pochodzącej od trakcyjnych układów napędowych z przekształtnikiem energoelektronicznym, zwłaszcza przy obciążeniach dynamicznych, są zagadnieniami do tej pory mało rozpoznanymi. Wynika to z zwartości konstrukcji kopalnianych lokomotyw elektrycznych, gdzie przykładowo operator znajduje się pomiędzy dwoma falownikami zasilającymi. Wymaga to innej analizy ryzyka zawodowego osób obsługi niż w przypadku publicznej sieci trakcyjnej.

Również zagadnienia sumowania się oddziaływań elektromagnetycznych, co ma miejsce w przypadku lokomotywy kopalnianej z napędem 2x60 kW, nie były do tej pory opisane w literaturze. W przypadku górniczych urządzeń trakcyjnych dochodzi generowanie pól elektromagnetycznych od trójfazowej zasilającej, w której zachodzi sumowanie się prądów od wielu równoległych pracujących urządzeń.

W oddziaływaniach pól elektromagnetycznych na organizm człowieka istotnym zagadnieniem są narażenia zawodowe, gdyż określone grupy pracowników są narażone na ekspozycję PEM częściej i w większych dawkach niż ogół społeczeństwa (jak to ma miejsce w przypadku operatorów górniczych urządzeń trakcyjnych).

Zagadnienie oceny skutków zdrowotnych na pola elektromagnetyczne jest procesem bardzo złożonym i wymagającym długotrwałych obserwacji. Obecnie

wielu badaczy skupia się na określeniu skutków działania PEM na poziomie molekularnym, gdyż zmiany zachodzące w komórkach są odpowiedzialne za odpowiedź organizmu jako całości.

4. Wnioski

Współczesne układy napędowe z zasilaniem energoelektronicznym wymagają nowej oceny ryzyka związanego z bezpieczeństwem pracy. Muszą ulec weryfikacji utarte poglądy na bezpieczeństwo pracy, gdzie w przypadku urządzeń energetycznych podstawowym zagadnieniem jest ochrona przed porażeniem prądem elektrycznym, a nie ochrona przed promieniowaniem elektromagnetycznym.

Wielkość emisji pól elektromagnetycznych związanych z nowoczesnymi technologiami, w tym z trakcyjnych lokomotyw kopalnianych z energoelektronicznym systemem sterowania prędkością, jest problemem dotychczas mało rozpoznanym, podobnie jak oddziaływanie tego pola na mechanizmy wewnątrzkomórkowe człowieka, oraz wywoływanie źródeł zapłonu. Powoduje to, że istnieją małe możliwości oceny ryzyka i nie skutkuje podejmowanie działań prewencyjnych w tym zakresie. Dotyczy to zwłaszcza zagrożeń zdrowotnych, przy czym problem jest tym ważniejszy, że najnowsze badania międzynarodowe nie odrzucają możliwości takiego zagrożenia wynikającego z długoletniej ekspozycji na pola elektromagnetyczne, także słabsze od ekspozycji przyjętej za dopuszczalną.

Literatura

1. Budzyński Z., Deja P.: Innowacyjny napęd kopalnianej lokomotywy trakcyjnej z silnikami z magnesami trwałymi. IV Szkoła Mechanizacji i Automatyizacji Górnictwa "Innowacyjne napędy maszyn przeznaczonych dla górnictwa podziemnego", Szczyrk, 23-25 kwietnia 2008 s. 140-147.
2. Budzyński Z., Deja P.: Nowa generacja napędów trakcyjnych lokomotyw kopalnianych. Problemy Eksploatacji Maszyn i Napędów Elektrycznych, Ryto, maj 2008 r. Masz. Elektr., Zesz. Probl. 2008 nr 79, s.39-43.
3. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie ujednoczenia przepisów prawnych państw członkowskich dotyczących urządzeń i systemów ochronnych przeznaczonych do użytku w przestrzeniach zagrożonych wybuchem 94/9/WE, 23 marca 1994.
4. Firczyk W.: Analiza rozptyłu prądów i mocy wyższych harmonicznych w sieciach z odbiornikami nieliniowymi. Centrum Mechanizacji Górnictwa KOMAG, 2006.
5. Firczyk W.: Wybrane zagadnienia związane z zasilaniem elektrycznym systemów mechanizacyjnych mogące mieć wpływ na powstanie źródeł zapłonu w strefach zagrożenia wybuchem, KOMTECH 2008, Nowoczesne, niezawodne i bezpieczne systemy mechanizacyjne dla górnictwa, Centrum Mechanizacji Górnictwa KOMAG, Gliwice 2008.
6. Niewiążące wskazówki właściwego postępowania dotyczące wykonania dyrektywy 1999/92/WE Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie minimalnych wymagań bezpieczeństwa i ochrony zdrowia pracowników zatrudnionych na stanowiskach pracy, na których może wystąpić atmosfera wybuchowa. Komisja Europejska, kwiecień 2003.
7. Karpowicz J., Gryz K.: Dyrektywa dotycząca ekspozycji zawodowej na pola elektromagnetyczne-2004/40/WE. Bezpieczeństwo Pracy, 11/2004.
8. Pieczora E.: Prognoza rozwoju szynowych systemów transportowych stosowanych w podziemiach kopalń węgla kamiennego. Gospod. Surow. Miner. 2008 nr 1/2, s. 221-232.
9. Possible effects of electromagnetic fields (EMF) on human health. European Commission Health and Consumer Protection, Directorate-General, 21.03. 2007.
10. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz.U. nr 217 z 2002 r., poz.1833).
11. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 30 października 2003 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku oraz sposobów sprawdzania dotrzymania tych poziomów (Dz.U. nr 192 z 2003 r., poz. 1883).
12. Gryz J., Karpowicz J.: Przewodnik po źródłach pola i promieniowania elektromagnetycznego w środowisku pracy i życia człowieka, www.wypadek.pl, dostęp:4.06.2009.

Artykuł wpłynął do redakcji w czerwcu 2009 r.

Recenzent: dr inż. Kazimierz Miśkiewicz

Mgr inż. Romana ZAJĄC
Mgr inż. Marek WOJTASZCZYK
Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Wymagania dotyczące wyposażenia pomiarowo-badawczego w akredytowanych laboratoriach badawczych

Streszczenie

Wyposażenie pomiarowo-badawcze w zasadniczym stopniu decydujące o jakości wykonywanych pomiarów, kontroli i badań musi być właściwie legalizowane, wzorcowane i/lub sprawdzane oraz odpowiednio nadzorowane. Nadzór nad wyposażeniem pomiarowo-badawczym jest jednym z istotnych elementów systemu zarządzania jakością. Podstawowe dokumenty zawierające wymagania dotyczące wyposażenia pomiarowego regulują między innymi normy: PN-EN ISO/IEC 17025:2005 i PN-EN ISO 10012:2004. Niniejszy artykuł przedstawia ogólne założenia dotyczące nadzoru nad wyposażeniem badawczo-pomiarowym.

Summary

Measuring-and-research equipment, which in principle decides about the quality of measurements, control and tests, has to be properly legalized, calibrated and/or verified as well as properly supervised. The supervision over measuring-and-research equipment is one of significant components of quality management system. Basic documents including requirements as regards measuring equipment are included in, among others, PN-EN ISO/IEC 17025:2005 and PN-EN ISO 10012:2004 Standards. The paper presents general assumptions as regards supervision over measuring-and-research equipment.

1. Wymagania normatywne

Zapewnienia możliwie najszerszej akceptacji wyników pomiarów prowadzonych przez akredytowane laboratoria zobowiązuje do podejmowania działań gwarantujących stały nadzór nad wyposażeniem pomiarowym.

Działania te związane są najczęściej ze spełnieniem wymagań zawartych w jednym z trzech standardów:

- normy PN-EN ISO 9001:2009,
- normy PN-EN ISO/IEC 17025:2005.
- wytycznych sformułowanych w kodeksie Dobrej Praktyki Laboratoryjnej.

Norma dotycząca systemów zarządzania jakością PN-EN ISO 9001: 2009 w punkcie 7.6 poprzez zapis „tam gdzie jest niezbędne zapewnienie wiarygodnych wyników...” precyzuje podstawowe wymagania w odniesieniu do określonego wyposażenia pomiarowego [4, 7, 11].

W omawianym punkcie normy zawarto także wymagania dotyczące konieczności:

- wzorcowania i/lub sprawdzania w określonych odstępach czasu lub przed użyciem w odniesieniu do wzorów jednostek miary,
- adjustowania jeśli jest to niezbędne,
- identyfikowania statusu wzorcowania,
- zabezpieczania wyposażenia przed adiustacjami, które mogłyby unieważnić wyniki pomiaru,
- ochrony przed uszkodzeniami w trakcie przemieszczania, utrzymywania i przechowywania.

Ujęte w normie PN-EN ISO 9001: 2009 wymagania stanowią jedynie podstawowe założenia w przypadku nadzoru nad wyposażeniem pomiarowym, gdyż w niektórych sektorach i branżach mogą istnieć znacznie szersze obostrzenia np. w przemyśle wojskowym, czy motoryzacyjnym.

Analiza szeregu norm dotyczących systemów jakości wskazuje, że norma PN-EN ISO/IEC 17025:2005 „Ogólne wymagania dotyczące kompetencji laboratoriów badawczych i wzorcujących”, która została opracowana przez Komitet Techniczny ISO/CASCO „Komitet do Spraw Oceny Zgodności” przy współpracy z Komitetem Technicznym CEN/CLC/TC 1 „Kryteria dotyczące jednostek oceniających zgodność” przedstawia najszersze spojrzenie na omawiane zagadnienia.

Dokument ten jest nowelizacją wcześniejszego wydania PN-EN ISO/IEC 17025:2001, które zastępowało dwa dokumenty:

- normę EN 45001:1989 „Ogólne kryteria działania laboratoriów badawczych”,
- przewodnik ISO/IEC 25:1990 „Wymagania ogólne dotyczące kompetencji laboratoriów pomiarowych i badawczych”.

Norma PN-EN ISO/IEC 17025:2005 uznawana jest za niezwykle uniwersalny dokument, w aspekcie zarządzania, gdyż zawiera podstawowe wymagania, które powinny być spełniane przez każde laboratorium bez względu na:

- rodzaj i charakter przeprowadzanych badań,
- zakres stosowanych metodyk badawczych/wzorcujących,

- charakter struktury organizacyjnej,
- wielkość laboratorium.

Punkt 5.5 wspomnianej normy dotyczy bezpośrednio wyposażenia pomiarowego [9].

Wymagane jest, aby laboratorium miało odpowiednie wyposażenie pomiarowe niezbędne do prawidłowego wykonywania badań i/lub wzorcowań, a wyposażenie i jego oprogramowanie powinno zapewniać wymaganą dokładność oraz spełniać odpowiednie specyfikacje dotyczące badań i/lub wzorcowań.

Zapis w punkcie 5.5.2 tej normy wymaga, aby wyposażenie pomiarowe było wzorcowane i/lub sprawdzane przed użyciem z jednoczesnym wymaganiem dotyczącym zachowania spójności pomiarowej [1, 2].

Obok wymienionych wcześniej norm podstawowe zasady potwierdzania metrologicznego wyposażenia oraz zasady prowadzenia prac pomiarowych reguluje również norma PN-EN ISO 10012:2004. Według wyżej wymienionej normy "Wyposażenie pomiarowe to przyrząd pomiarowy, oprogramowanie, wzorzec jednostki miary, materiały odniesienia lub aparatura pomocnicza lub ich kombinacja, niezbędne do przeprowadzenia procesu pomiarowego" [12].

Podsumowując wszystkie przytoczone wcześniej normy wymagają, aby wyposażenie zapewniało wymaganą dokładność, spełniało odpowiednie specyfikacje, a także było obsługiwane przez upoważniony personel, który powinien mieć do dyspozycji odpowiednie instrukcje obsługi.

2. Zakupy wyposażenia pomiarowo-badawczego

Zgodnie z wymaganiami zawartymi w przytoczonych wcześniej normach jest zasadą, aby każde laboratorium badawcze i pomiarowe powinno być wyposażone we wszystkie niezbędne elementy konieczne do pobierania i przygotowania oraz przechowywania próbek (jeżeli zachodzi taka potrzeba), wyposażenie do wykonywania pomiarów i badań oraz do przetwarzania i analizy otrzymywanych wyników, zgodnie z deklarowanymi kompetencjami. Wyposażenie to określane jest powszechnie skrótem WPiB (*wyposażenie pomiarowe i badawcze*). Użytkownik WPiB powinien przede wszystkim określić pomiary, które powinny być zrealizowane oraz zdefiniować specyficzne wymagania z nimi związane, tak aby dobrać odpowiednie wyposażenie. Warto, zatem zwrócić uwagę na fakt, iż etap nadzoru nad WPiB poprzedza równie istotny etap planowania zasobów, który pozwala określić potrzeby w zakresie [3]:

- możliwości wykorzystania wyposażenia,
- spełnienia wymagań procedur badawczych,
- właściwości parametrów,
- czasu i miejsca użytkowania oraz częstotliwości wykonywanych pomiarów.

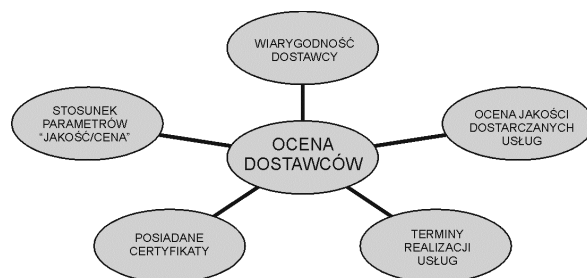
Planowanie zasobów to szczególnie istotny, niedoceniany element zarządzania. W momencie precyzowania wymagań dotyczących WPiB niezależnie od wymagań technicznych istotnym jest uwzględnienie takich czynników, jak:

- rodzaj i częstotliwość wykonywanych pomiarów,
- warunki pracy wyposażenia, charakterystyki metrologiczne,
- zgodność w wymaganiami prawnymi.

Stosowane obecnie w laboratoriach wyposażenie pomiarowe to skomplikowane układy pomiarowe o określonych zadaniach, wykorzystujące zaawansowane technologie inżynierii technicznej i informatycznej. Współczesne układy pomiarowe coraz częściej eliminują ze stosowania klasyczne mierniki jako źródła informacji o stanie mierzonego obiektu [8]. Etap planowania zasobów powinien się, zatem rozpocząć się od merytorycznego przeglądu dostępnego na rynku wyposażenia badawczo-pomiarowego. W przypadku braku możliwości zakupu oczekiwanego specjalistycznego wyposażenia określane są wymagania dla wykonania jednostkowego, które zapewni uzyskanie przez laboratorium pożądaných parametrów.

Proces zakupu wyposażenia pomiarowego i badawczego powinien uwzględniać również wybór właściwego dostawcy poprzez wykorzystanie listy potencjalnych dostawców. Zasady wyboru i kwalifikacji dostawców WPiB mogą różnić się w zależności od charakteru laboratorium, jego obszaru działania i liczby wykonywanych badań.

Na rysunku 1 zaprezentowano przykładowe kryteria według, których laboratorium może dokonać oceny dostawców.



Rys.1. Przykładowe kryteria oceny dostawców wyposażenia pomiarowego i badawczego (Źródło: opracowanie własne)

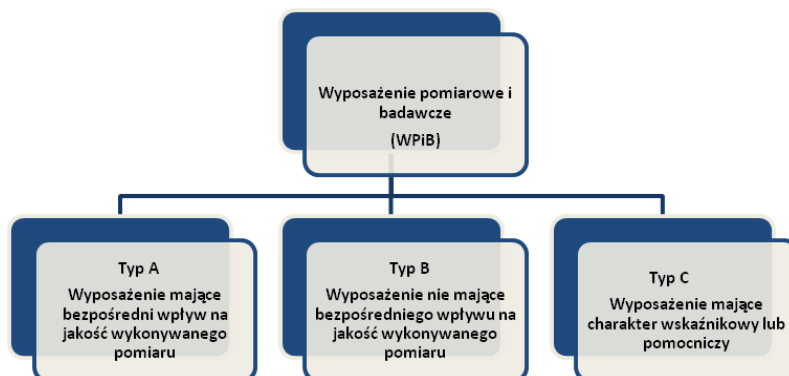
Warto podkreślić, iż przy wyborze wyposażenia pomiarowego i badawczego obok oczekiwanych informacji związanych z pomiarami należy uwzględnić również czynniki związane z możliwością współpracy z innymi systemami technicznymi, tj.: komputery komunikacyjne, obliczeniowe i sterujące, urządzenia wizualizacyjne itd. [8].

Poprawność dokonanego wyboru WPiB wiąże się z oczekiwanym celem badawczym, który może zostać osiągnięty tylko wówczas, gdy zastosowane wyposa-

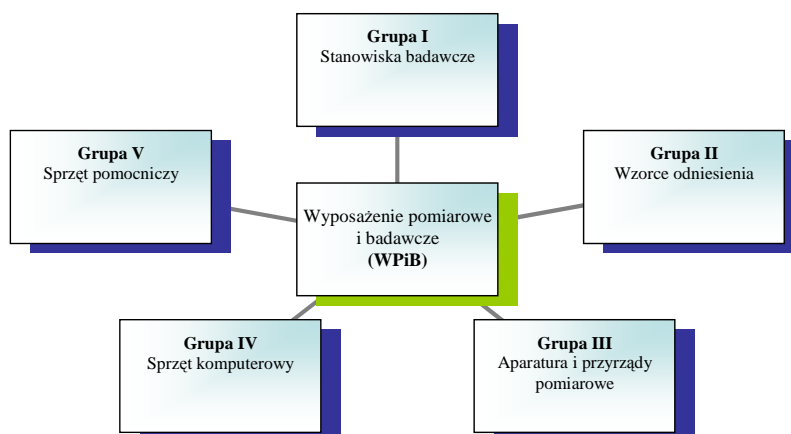
żenie pomiarowe jest sprawne i zapewnia powtarzalność wyników.

Z chwilą zrealizowania dostawy, przed włączeniem do eksploatacji; nowe wyposażenie pomiarowo-badawcze jest sprawdzane pod względem stanu technicznego i prawidłowości działania oraz kompletności dokumentacji technicznej, świadectw potwierdzających zgodność metrologiczną.

należność danego elementu wyposażenia do odpowiedniej grupy, kategorii lub typu, dzięki czemu można ocenić, czy dane wyposażenie podlega legalizacji, wzorcowaniu lub sprawdzeniu. Stosowanie jednolitego systemu oznakowania WPIB jest szczególnie pomocne w sytuacji, gdy laboratorium dysponuje kilkoma takimi samymi przyrządami pomiarowymi, z których część służy do bezpośredniego odczytu wielkości mierzonej, a inne spełniają rolę wskaźników pomiarowych [6].



Rys.2. Podział WPIB - wpływ wyposażenia na jakość wykonywanych pomiarów (Źródło: opracowanie własne)



Rys.3. Podział WPIB – sposób zastosowania (Źródło: opracowanie własne)

3. Klasyfikacja i oznakowanie wyposażenia pomiarowo-badawczego

Z uwagi na możliwość wykorzystania potencjału badawczego laboratorium, wyposażenie pomiarowo-badawcze można klasyfikować według takich kryteriów, jak:

- wpływ wyposażenia na jakość wykonywanego pomiaru WPIB – rysunek 2,
- sposób zastosowania – rysunek 3,
- sposób nadzoru – rysunek 4.

Klasyfikacja wyposażenia pomiarowego i badawczego znajduje swoje odzwierciedlenie w przyjętych przez laboratorium oznaczeniach; literowych lub symbolach. Stosowane oznaczenia pozwalają zidentyfikować przy-



4. Nadzór nad wyposażeniem pomiarowo-badawczym

Nadzór nad wyposażeniem pomiarowo-badawczym stanowi podstawowy element systemu zarządzania w laboratorium. Zakupy oraz włączenie poszczególnych elementów wyposażenia do eksploatacji stanowią początek procesu związanego z zapewnieniem odpowiedniej sprawności aparatury oraz spójności pomiarowej, a każde laboratorium powinno posiadać wypracowany i udokumentowany system nadzoru.

Wszystkie zapisy dotyczące wyposażenia pomiarowego laboratorium powinny być gromadzone w odpowiednich dokumentach, np.: "Karta życia przyrządu", "Karta wyposażenia badawczego", "Rejestr aparatury pomiarowej", itp.

Każdy nadzorowany element wyposażenia powinien posiadać przypisane dokumenty, zawierające co najmniej następujące informacje [2]:

- symbol identyfikujący obiekt wyposażenia,
- nazwę producenta, numer seryjny lub inne indywidualne oznaczenie,
- aktualne usytuowanie wyposażenia pomiarowego, jeżeli jest to uzasadnione,
- instrukcje użytkowania dostarczone przez producenta,
- zapisy określające terminy i wykonanie wzorcowań i/lub sprawdzeń,
- plany przeglądów wyposażenia, gdy jest to wymagane,
- zapisy dotyczące awarii, wadliwego działania oraz napraw wyposażenia.

Gromadzone według odpowiedniego systemu dokumenty umożliwią osobie nadzorującej techniczną stronę laboratorium, sprawnie realizować zadania wynikające z przyjętego trybu postępowania.

Wdrożony w laboratorium system nadzoru powinien uwzględniać również tryb postępowania w sytuacji, gdy wyposażenie:

- uległo uszkodzeniu,
- zostało przeciążone lub niewłaściwie użyte,
- wykazuje jakiegokolwiek wadliwe działanie,
- funkcjonowanie budzi wątpliwości,
- ma naruszone plomby.

musi być wykluczone z użytkowania i wyraźnie oznaczone jako niesprawne. Ponowne przywrócenie do użytkowania może nastąpić po naprawie oraz wykonaniu wzorcowania i/lub sprawdzenia.

System nadzoru nad wyposażeniem pomiarowym i badawczym powinien zagwarantować stałą spraw-

ność aparatury potwierdzaną poprzez bieżące kontrole, wykonywane przykładowo przed rozpoczęciem serii pomiarów oraz po jej zakończeniu.

W przypadku stwierdzenia niesprawności wyposażenia bezpośrednio po zakończeniu serii pomiarowej, pomiary należy powtórzyć przy użyciu innej, sprawnej aparatury.

Nieprzestrzeganie tej zasady może spowodować duże problemy w interpretacji wyników badań, szczególnie w przypadku, gdy niesprawność zostaje wykryta po kilku czy kilkudziesięciu dniach od przeprowadzenia ostatniej kontroli bieżącej.

Taka sytuacja powoduje konieczność przeanalizowania wszystkich wyników pomiarów wykonanych w tym czasie, celem stwierdzenia czy wykryta niesprawność wyposażenia miała wpływ na wyniki. W wątpliwych przypadkach może zaistnieć konieczność powtórzenia określonych pomiarów, co może być zarówno kosztowne, a czasem wręcz niemożliwe [5].

5. Potwierdzenia metrologiczne dla wyposażenia pomiarowo-badawczego

Wyposażenie pomiarowo-badawcze w stosownych przypadkach wymaga potwierdzenia metrologicznego, które obejmuje zwykle wzorcowanie, sprawdzanie, kalibrację oraz właściwe zabezpieczenie i oznakowanie.

Pomimo przytoczenia szeregu definicji w Ustawie Prawo o miarach¹, pojęcia wzorcowania, sprawdzania, legalizacji czy adiustacji są często mylone i stosowane niewłaściwie, stąd też autorzy niniejszego artykułu przytaczają ogólne definicje tych pojęć w celu wykazania znaczących różnic między poszczególnymi czynnościami.

Legalizacja jest sprawdzeniem, stwierdzeniem i poświadczeniem przez organ administracji miar, że przyrząd pomiarowy spełnia wymagania przepisów metrologicznych i może być stosowany do celów, określonych w ustawie. Legalizacja dotyczy wybranych przyrządów, jest dla nich obowiązkową formą prawnej kontroli metrologicznej.

Legalizacja to uwierzytelnienie, tyle że poświadczone przez oficjalny, specjalnie do tego celu powołany organ administracji państwowej.

Okres ważności legalizacji jest ściśle określony.

Pojęcie legalizacji obejmuje:

- a) legalizację pierwotną - dotyczącą przyrządu pomiarowego legalizowanego po raz pierwszy po wyprodukowaniu, przed wprowadzeniem go do obrotu lub użytkowania,

¹ Ustawa z dnia 11 maja 2001 r. - Prawo o miarach (Dz.U. Nr 63, poz. 636, z późn. zm.)

- b) legalizację ponowną - każdą kolejną legalizację przyrządu pomiarowego,
- c) legalizację jednostkową - legalizację pierwotną przyrządu pomiarowego w wykonaniu jednostkowym, skonstruowanego dla określonego, szczególnego zastosowania; obejmuje ona swoim zakresem badania wykonywane w ramach zatwierdzenia typu.

Wzorcowanie określane jest jako czynności ustalające relację między wartościami wielkości mierzonej wskazanymi przez przyrząd pomiarowy, a odpowiednimi wartościami wielkości fizycznych, realizowanymi przez wzorzec jednostki miary. Wzorcowanie jest nierozdzielnie związane z niepewnością pomiarów [10]. Wzorcowanie jest okresowo wykonywane przez uprawnione jednostki zewnętrzne (GUM lub laboratoria wzorcujące) lub przez samo laboratorium za pomocą posiadanych wzorców.

Uwierzytelnienie jest to sprawdzenie, stwierdzenie i poświadczenie, że przyrząd pomiarowy spełnia wymagania metrologiczne i ustalone w przepisach, normach i zaleceniach międzynarodowych lub innych właściwych dokumentach, a jego wskazania zostały odniesione do państwowych wzorców jednostek miar i są z nimi zgodne w granicach określonych błędów pomiarów. Dowodem uwierzytelnienia jest świadectwo albo cecha uwierzytelnienia. Prezes GUM określa okres ważności uwierzytelnienia. Pojęcie uwierzytelnienia funkcjonowało we wcześniejszej ustawie Prawo o miarach z roku 1993 - obecnie stopniowo jest usuwane z języka potocznego ze względu na stopniową dezaktualizację.

Adiustacja to wykonanie określonych czynności kalibrowania urządzenia pomiarowego, przy wykorzystaniu wzorca jako niezbędnego elementu pomocniczego, gwarantującego takie przeprowadzenie regulacji, aby dokładność wskazań urządzenia pomiarowego odpowiadała lub przewyższała dokładność pomiarową wymaganą w konkretnej operacji pomiarowej. Jest to, zatem wzorcowanie, w którym stosowany jest konkretny wzorzec pomiarowy.

6. Wzorcowanie i/lub sprawdzanie wyposażenia pomiarowo-badawczego

Stosowanie sprawnego wyposażenia WPiB zależy przede wszystkim od stale powtarzających się działań polegających między innymi na wzorcowaniu i/lub sprawdzaniu.

Działania te są ustalane indywidualnie dla każdego wyposażenia na podstawie m.in.:

- zaleceń producenta,
- przepisów metrologicznych,
- częstotliwości pracy,
- wymaganej niepewności pomiaru,

- częstotliwości i sposobu użytkowania,
- stabilności wyposażenia,
- kompetencji pracownika.

Wzorcowanie i/lub sprawdzanie jest okresowo wykonywane przez uprawnione jednostki zewnętrzne (GUM lub laboratoria wzorcujące) lub przez samo laboratorium za pomocą posiadanych wzorców.

Laboratorium powinno posiadać ustalony program wzorcowania swojego wyposażenia pomiarowego, dotyczącego kluczowych wielkości lub wartości, szczególnie tam, gdzie ma to znaczący wpływ na wyniki.

Zgodnie z Przewodnikiem DA-06 Polskiego Centrum Akredytacji spójność pomiarowa zdeterminowana jest przez sześć podstawowych elementów [13, 14]:

- a) nieprzerwany łańcuch porównań,
- b) niepewność pomiaru,
- c) dokumentacja,
- d) kompetencje,
- e) odniesienie do jednostek SI,
- f) odstępy czasu między wzorcowaniami.

Wzorcowanie i/lub sprawdzanie wykonuje się dla wyposażenia nowego, po naprawie, po ustalonych terminach kontrolnych, przy zgłoszeniu wady przez użytkownika.

Dla wyposażenia pomiarowego i badawczego podawanego okresowym wzorcowaniom i/lub sprawdzaniom przez jednostki zewnętrzne, odstępy między kolejnymi wzorcowaniami i/lub sprawdzaniami laboratorium określa samodzielnie.

Potwierdzeniem wykonania okresowego wzorcowania i/lub sprawdzenia zewnętrznego są świadectwa wzorcowań i/lub sprawdzeń przechowywane przez osobę odpowiedzialną za prowadzenie dokumentacji wyposażenia.

7. Przeglądy, konserwacja, naprawy i wycofywanie wyposażenia pomiarowo-badawczego

Nadzór nad wyposażeniem obejmuje także stałe czynności związane z przeglądami i konserwacją, które mogą być wykonywane:

- we własnym zakresie, zgodnie z zaleceniami instrukcji fabrycznych/obsługi,
- przez serwis producenta lub jednostki wskazane przez producenta.

Przeglądy i konserwacje wykonuje się z częstotliwością zalecaną przez producenta bądź w przypadku stwierdzenia nieprawidłowości w działaniu wyposażenia. Po wykonaniu przeglądu lub konserwacji przed ponownym włączeniem wyposażenia do eksploatacji, podlega ono wzorcowaniu i/lub sprawdzeniu.

W przypadku stwierdzenia nieprawidłowego działania wyposażenia bądź jego uszkodzenia jest ono natychmiast wycofywane z eksploatacji. Elementem koniecznym w takiej sytuacji jest zdiagnozowanie przyczyny nieprawidłowego działania oraz podjęcie decyzji, o ewentualnej naprawie, względnie wycofaniu z eksploatacji. Podobnie jak w przypadku standardowego przeglądu lub konserwacji po naprawie wyposażenie podlega analogicznym procedurom wzorcowania i/lub sprawdzenia.

Szczególnym przypadkiem, który należy każdorazowo rozpatrzyć przy wyborze trybu postępowania jest ocena, czy z wykorzystaniem wadliwego wyposażenia mogły być prowadzone badania gdyż wówczas, jeżeli uszkodzenie wyposażenia mogło mieć wpływ na wcześniejsze pomiary należy dokonać powtórnych badań w celu korekty wyników.

8. Podsumowanie

Laboratoria badawcze coraz częściej wprowadzają system zarządzania zgodny z normą PN-EN ISO/IEC 17025:2005 oraz starają się uzyskać akredytację na realizowane przez siebie badania. Nieodłącznym elementem takiego systemu jest zarządzanie zasobami ludzkimi, materiałowymi oraz wyposażeniem, które pozwala na zapewnienie wiarygodnych wyników.

Działania związane z nadzorem wyposażenia do pomiarów i badań w laboratorium są jednym z najważniejszych procesów z punktu widzenia jakości i efektywności pracy, dlatego w sferze zarządzania niezwykle istotne jest ustalenie właściwych proporcji między personelem nadzorującym i wykonującym badania, jak również wypracowanie i utrzymanie odpowiednich mechanizmów gwarantujących powtarzalność procedur nie tylko w trakcie badań, ale również w trakcie nadzoru nad wyposażeniem.

Literatura

1. Hanz A.: Kurs metrologii laboratoryjnej. Cz. I. Podstawy, metrologia prawna, naukowa i przemysłowa, Laboratorium 2008, nr 3.

2. Hanz A.: Kurs metrologii laboratoryjnej. Cz. II. Wyposażenie pomiarowe w laboratorium, Laboratorium 2008, nr 5.
3. Hanz A.: Kurs metrologii laboratoryjnej, Cz. III. Wyposażenie pomiarowe w przemyśle, Laboratorium 2008, nr 6.
4. Jarysz-Kamińska E.: Nadzór nad sprzętem pomiarowo-kontrolnym jako element systemu zarządzania jakością, Problemy Jakości 2007, nr 1.
5. Matyjaszczyk E.: Wybrane problemy laboratoriów badawczych wdrażających system ISO 17025. Problemy Jakości 2005, nr 2.
6. Pawełczyk J.: Nadzór nad wyposażeniem pomiarowym w laboratorium, Laboratorium 2007, nr 9.
7. Świderski A.: Problematyka normalizacji, jakości i kodyfikacji w aspekcie integracji z NATO i UE. Postępowanie pomiarami w systemach zarządzania jakością. Wojskowe Centrum Normalizacji Jakości i Kodyfikacji, Zakład Systemów Jakości i Zarządzania, Warszawa 2008.
8. Wypych T.: Wzorcowanie. Wzorcowanie i kryteria systemowych form użytkowania wyposażenia pomiarowego w świetle wymagań norm akceptowanych w UE, ZPBE Energopomiar – Elektryka, Gliwice 2008.
9. Zając R.: Formalne podstawy uznania kompetencji laboratorium badawczego – norma PN-EN ISO/IEC 17025: 2005, Zarządzanie Jakością 2007, nr 1.
10. Ustawa z dnia 11 maja 2001 r. – Prawo o miarach (Dz.U. Nr 63, poz. 636).
11. PN-EN ISO 9001: 2009 Systemy zarządzania jakością – Wymagania.
12. PN-EN ISO 10012:2003 Wymagania dotyczące zapewnienia jakości wyposażenia pomiarowego – System potwierdzania metrologicznego wyposażenia pomiarowego.
13. DA-06 Polityka PCA dotycząca zapewnienia spójności pomiarowej. Wyd. 3 z dnia 20.06.2007 r.
14. DAB-07 Akredytacja laboratoriów badawczych. Wymagania szczegółowe. Wyd. 4 z dnia 15.07.2008 r.

Artykuł wpłynął do redakcji w czerwcu 2009 r.

Recenzent: dr inż. Antoni Kozieł

Mgr Ewa HORDYNIAK
 Mgr Małgorzata DUDZIAK
 Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Nowe priorytety, zasady wnioskowania i realizacji projektów w programie badawczym funduszu badawczego węgla i stali w świetle decyzji Rady z dnia 29 kwietnia 2008 roku

Streszczenie

Fundusz Badawczy Węgla i Stali utworzono decyzją podjętą w ramach Traktatu Nicejskiego po wygaśnięciu Europejskiej Wspólnoty Węgla i Stali. Kolejna Decyzja Rady – 2003/78/WE określała zasady powstania i funkcjonowania Programu Badawczego tego Funduszu, mającego na celu wspomaganie konkurencyjności europejskich sektorów związanych z przemysłem węgla i stali. Jest on komplementarny w stosunku do innych działań i programów (takich jak Program Ramowy).

Summary

The Research Fund for Coal and Steel was established by the decision made within Niece Treaty after termination of the European Coal and Steel Community. The next decision of Board – 2003/78/EC determined the rules of formation and functioning of Research Programme of this Fund, aim of which is to support the competitiveness of European sectors associated with coal and steel industry. It is complementary in relation to other activities and programmes (such as Framework Programme).

1. Priorytety

Decyzja Rady 2003/78/WE ustanawiająca wieloletnie wytyczne techniczne dotyczące Programu Badawczego określała szczegółowo, czego Program dotyczy, jakie działania będą wspierane, jakie priorytety są wyznaczone i jakie zasady realizacji poszczególnych projektów muszą być zachowane.

Priorytety naukowo-techniczne i społeczno gospodarcze, których realizacją zainteresowana jest Wspólnota zawarte w powyższej Decyzji, zaczęto uszczegółowiać od 2006 roku. Początkowo takie uszczegółowione priorytety określono tylko dla projektów badawczych z dziedziny stali. 12 marca 2004 r. oficjalnie ukonstytuowała się Europejska Platforma Technologii Stali (ESTP).

W kwietniu 2005 r. opublikowany został Strategiczny Plan Badawczy (Strategic Research Agenda) zatytułowany VISION 2030, prezentujący globalną wizję inicjatyw naukowo-badawczych i innowacyjnych, które mają doprowadzić do osiągnięcia celów określonych w ramach zrównoważonego przywództwa europejskiego sektora stali do 2030 r. Dokument ten zawiera trzy komplementarne programy badawczo-rozwojowe przemysłu, obejmujące wiele tematów badawczych. Są to:

- bezpieczne, czyste, efektywne i nisko kapitałochłonne technologie,
- racjonalne używanie źródeł energii i zarządzanie odpadami,
- technologie stali atrakcyjne dla użytkowników końcowych.

Siódmego lipca 2005 r. Komitet Sterujący Platformy zatwierdził dokument zatytułowany: „Od Strategicz-

nego Planu Badawczego do Wdrożenia”. Dokument ten opisuje sposób implementacji zaktualizowanych wersji programów badawczo-rozwojowych zawartych w Strategicznym Planie ESTEP, w Siódmym Programie Ramowym oraz Programie Badawczym Funduszu Badawczego Węgla i Stali. Definiuje on najważniejsze priorytety badawcze i szereguje je zgodnie z ich horyzontem wdrożeniowym (krótko-, średnio- i długoterminowym).

Priorytety te od 2006 r. ukazywały się w oficjalnym pakiecie informacyjnym publikowanym corocznie przez Generalną Dyрекcję Badań Funduszu Badawczego Węgla i Stali. W tym czasie w dziedzinie badań dotyczących węgla obowiązywały ogólne priorytety zawarte w Decyzji Rady 2003/78/WE:

1.1. Poprawa pozycji konkurencyjnej wspólnotowego węgla

Celem jest zmniejszenie kosztu całkowitego produkcji górniczej, poprawa jakości produktów i zmniejszenie kosztów używania węgla. Projekty badawcze obejmują cały łańcuch produkcji węgla:

- nowoczesne techniki badania złóż,
- zintegrowane planowanie kopalń,
- wysoko wydajne, w dużym stopniu zautomatyzowane technologie wyrobiskowe i eksploatacyjne odpowiadające geologicznym właściwościom europejskich złóż węgla kamiennego,
- właściwe technologie wspomagające,
- systemy transportowe,
- usługi w zakresie dostaw energii, systemy łączności i informacji, transmisji, monitoringu i kontroli procesów,

- techniki przeróbki węgla zorientowane na potrzeby rynków konsumenckich,
- konwersja węgla,
- spalanie węgla.

Przyznaje się pierwszeństwo projektom wspierającym co najmniej jeden z następujących celów:

- a) integracja poszczególnych technik w ramach systemów i metod oraz rozwój zintegrowanych metod wydobywczych,
- b) znaczące ograniczenie kosztów produkcji,
- c) korzyści w zakresie bezpieczeństwa górniczego i środowiska naturalnego.

1.2. Bezpieczeństwo i higiena pracy w kopalniach

Wymaganym udoskonaleniom wymienionym powyżej, muszą towarzyszyć właściwe działania w dziedzinie bezpieczeństwa górniczego, jak również w odniesieniu do kontroli gazów, wentylacji i klimatyzacji. Ponadto warunki pracy pod ziemią wymagają szczególnej poprawy w zakresie zawodowego bezpieczeństwa i higieny pracy.

1.3. Skuteczna ochrona środowiska naturalnego i ulepszenie wykorzystania węgla jako czystego źródła energii

Przyznaje się pierwszeństwo projektom wspierającym, co najmniej jeden z następujących celów:

- a) zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych, w szczególności metanu, ze złóż węgla,
- b) odsyłanie do kopalni odpadów górniczych, popiołu lotnego i produktów odsiarczania, którym towarzyszą, jeśli to stosowne, inne formy odpadów,
- c) rekultywacja hałd odpadów i przemysłowe wykorzystanie pozostałości z produkcji i zużycia węgla,
- d) ochrona poziomu wód gruntowych i oczyszczanie wody drenowanej przez kopalnię,
- e) ograniczenie wpływu na środowisko instalacji wykorzystujących głównie wspólnotowy węgiel kamienny i brunatny,
- f) ochrona instalacji powierzchniowych przed skutkami osiadania gleby w perspektywie krótko i długoterminowej,
- g) ograniczenie emisji pochodzących z utylizacji węgla.

1.4. Zarządzanie uzależnieniem od zewnętrznych dostaw energii

Projekty badawcze realizujące ten cel związane są z perspektywami długoterminowych dostaw energii i dotyczą podnoszenia jakości – w kategoriach gospodarczych, związanych z energią i środowiskiem naturalnym – złóż węgla, które nie mogą być wydobywane rentownie za pomocą konwencjonalnych technik górniczych.

Projekty mogą obejmować badania, określenie strategii, badania podstawowe i stosowane oraz testo-

wanie technik innowacyjnych, które oferują perspektywę podniesienia jakości wspólnotowych zasobów węgla.

Przyznaje się pierwszeństwo projektom integrującym komplementarne techniki, takie jak adsorpcja metanu lub dwutlenku węgla, wydobywanie metanu z pokładu węgla i podziemne zgazowanie węgla.

Jeżeli porówna się treść wyżej cytowanej Decyzji Rady z nowym dokumentem, opublikowanym 29 kwietnia 2008 roku można stwierdzić, że zmiany są niewielkie. Jedyną różnicą występuje w priorytecie „Skuteczna ochrona środowiska naturalnego i ulepszenie wykorzystania węgla jako czystego źródła energii”. Polega ona na przeniesieniu podpunktu ostatniego na miejsce pierwsze i jego uszczegółowieniu, tzn. podpunkt g) „ograniczenie emisji pochodzących z utylizacji węgla” został przeniesiony na pierwsze miejsce i otrzymał brzmienie „ograniczenie emisji związanych z wykorzystaniem węgla, w tym wychwytywanie i składowanie CO₂”. Wskazuje to na próbę silniejszego zaakcentowania wspierania technologii CCS – Carbon Capture and Storage. Wydawać by się mogło, że sytuacja w europejskim przemyśle wydobywczym uległa większym zmianom. Okazuje się jednak, że priorytety określone decyzją Rady są na tyle ważne i długofalowe, że nie ma potrzeby dokonywania edycji. Ważniejsze raczej byłoby doprecyzowanie tematów szczegółowych, które można by zawrzeć w poszczególnych priorytetach. I tutaj Rada skorzystała z istniejącej instytucji Grup Doradczych. Zgodnie ze strukturą Programu Badawczego RFCS zarządza nim Komisja, wspierana przez Komitet ds. Węgla i Stali, Grupy Doradcze ds. Węgla i Stali oraz Grupy Techniczne ds. Węgla i Stali. Zgodnie z nową Decyzją struktura ta została zachowana, zmianie uległy natomiast zadania grup doradczych. Od początku istnienia Programu Badawczego RFCS w skład Grup Doradczych wchodziłi eksperci w danej dziedzinie. Są to przedstawiciele producentów węgla i powiązanych z nimi ośrodków badawczych, producentów szkieletu europejskiego, użytkowników węgla wraz z ośrodkami badawczymi, przemysłu przetwórczego węgla, a także przedstawiciele pracowników oraz dostawców sprzętu. Jest to zespół najwyższej klasy specjalistów, których decyzje oparte są na ogromnej wiedzy uwzględniającej najnowsze, najbardziej aktualne rozwiązania w dziedzinie górnictwa. Dlatego w zadaniach grupy doradczej pojawił się zapis o doradzaniu w zakresie „rocznych celów priorytetowych wymienionych w pakiecie informacyjnym, a także w razie potrzeby, celów priorytetowych szczegółowych zaproszeń”. I tak już w 2008 r. pojawiły się priorytety szczegółowe dla wniosków składanych przed 15 września 2008 r. Zostały one podzielone na grupy przyporządkowane poszczególnym Grupom Technicznym Węgla (TGC).

W 2008 r. najważniejszymi tematami okazały się:

1) Dla TGC1 (Prace związane z wydobywaniem, infrastrukturą i zarządzaniem kopalnią, niekonwencjonalne użycie pokładów węgla):

- udoskonalenie automatyzacji procesów urabiania i technologii drażeniowych zgodnie z geologiczną charakterystyką europejskich złóż węgla kamiennego,
- geomechanika złóż górniczych, w tym analiza i kontrola ciśnienia, systemy modelowania i monitoringu, technologie obudów chodnikowych, wyrzuty skał i gazu,
- podziemne oprzyrządowanie, technologie komunikacyjne i informatyczne włączając technologie modelowania i symulacji,
- ograniczenie podziemnej emisji gazu i nowatorskie metody kontroli klimatu podziemia kopalń,
- predykcja i redukcja wpływu wód kopalnianych na poziom wód gruntowych i osiadanie gruntu na terenie opuszczonych kopalń.

2) Dla TGC2 (Przeróbka węgla, uzdatnianie i ulepszenie):

- zwiększenie wydajności i opłacalności gazyfikacji poprzez zmiany technologiczne procesu lub ulepszenie komponentów i ich integrację,
- opracowanie nowych smół węglowych i półproduktów dla specjalistycznych produktów pochodzenia węglowego,
- produkcja płynnych paliw z węgla, ze szczególnym wskazaniem na technologie spełniające wymagania technologii czystego węgla i wymogi redukcji gazów cieplarnianych.

3) Dla TGC3 (Spalanie węgla, czyste i efektywne technologie węgla, wychwytywanie CO₂):

- technologiczne udoskonalenia ukierunkowane na zwiększanie efektywności elektrowni opalanych węglem kamiennym,
- nowe technologie wychwytywania CO₂ możliwe do zastosowania w istniejących elektrowniach opartych na spalaniu węgla,
- zmniejszenie emisji zanieczyszczeń w powiązaniu z technologiami CCS (Carbon Capture and Storage).

Zauważalny jest wielki nacisk na zapobieganie efektowi cieplarnianemu. Stał się on motywem przewodnim wielu programów badawczych jakkolwiek teorie z nim związane nadal wzbudzają wiele kontrowersji i wątpliwości. Jednak dbałość o stan środowiska jako całości jest wyraźnie uwypuklona w kierunkach nadawanych badaniom z różnych dziedzin. Tendencja ta została zachowana również w 2009 roku.

Priorytety szczegółowe ogłoszone na ten rok przedstawiają się następująco:

1) Dla TGC1:

- podniesienie stopnia automatyzacji dla zwiększenia efektywności maszyn podziemnych i procesów operacyjnych, na przykład poprzez wzmocnienie technologii informacyjnych i komunikacyjnych,
- geomechanika złóż węgla, zogniskowana na analizie i kontroli naprężeń, wyrzutach skał i gazu,
- technologie i metodologie oparte na innowacyjnych technikach dla niekonwencjonalnego wydobycia i późniejszego wykorzystania złóż węgla Unii Europejskiej z uwzględnieniem redukcji emisji GHG (Greenhouse gas emission),

2) Dla TGC2:

- poprawa efektywności i ekonomiki gazyfikacji węgla kamiennego poprzez dodatkowe komponenty oraz ich integrację z wychwytywaniem dwutlenku węgla (sekwestracja dwutlenku węgla),
- udoskonalenia technologii odgazowania węgla poprzez zastosowanie paliw alternatywnych w mieszankach węgla koksującego,
- produkcja paliw płynnych pochodzących z węgla kamiennego ze szczególnym uwzględnieniem technologii czystego węgla oraz redukcję gazów cieplarnianych.

3) Dla TGC3:

- udoskonalenia technologiczne ukierunkowane na zwiększanie efektywności elektrowni opalanych węglem kamiennym,
- nowe technologie wychwytywania CO₂ możliwe do zastosowania w istniejących elektrowniach opartych na spalaniu węgla,
- zmniejszenie emisji zanieczyszczeń w powiązaniu z technologiami CCS (Carbon Capture and Storage).

Jak widać Unia Europejska zintensyfikowała swoje działania ukierunkowane na zapobieganie zmianom klimatu. Globalne ocieplenie nie jest jedynie problemem europejskim, dotyczy całego świata i wymaga działań długofalowych oraz realizacji ściśle określonych celów w skali globalnej. Fakty dotyczące ocieplenia klimatu mówią same za siebie – średnia temperatura od czasów przedindustrialnych wzrosła średnio o 0,76°C. Zauważa się gwałtowne podnoszenie się poziomu mórz (w latach 1993-2003 niemal dwukrotnie szybciej niż w poprzednim dziesięcioleciu).

Koszty niezapobiegania wyżej wymienionym efektom są coraz wyższe. Czynniki ekonomiczne powinny być zatem argumentem dla sceptyków, których nie przekonują argumenty ekologów. Najważniejsze skutki ocieplenia klimatu występujące już w chwili obecnej

(Raport Sterna na zlecenie Rządu Zjednoczonego Królestwa) to:

- zmiany klimatyczne dotkną w najwyższym stopniu najuboższe warstwy społeczeństwa,
- poważne implikacje w zakresie bezpieczeństwa globalnego i regionalnego,
- negatywny wpływ na ekosystemy, obszary wodne i obszary nadmorskie,
- negatywne oddziaływanie na zdrowie i życie ludzi.

Podstawą dla działań społeczności międzynarodowej w omawianym zakresie jest Protokół z Kioto. Jest to prawnie wiążące porozumienie, w ramach którego kraje uprzemysłowione są zobligowane do redukcji ogólnej emisji gazów powodujących efekt cieplarniany o 5,2% do roku 2012 r. w porównaniu z rokiem 1990. Jasna i spójna polityka międzynarodowa w tym zakresie jest niezbędna dla efektywności zaplanowanych w Kioto działań. Zgodnie z tą polityką Unia Europejska ukierunkowuje gospodarki państw członkowskich na technologie niskoemisyjne. Działania te stanowią również impuls dla rozwoju przemysłu opartego na innowacyjnych, czystych technologiach. Fundusz Badawczy Węgla i Stali wpisuje się w tę tendencję, wskazując naukowcom kierunki potencjalnych projektów, poprzez określenie priorytetów na 2009 r.

Najważniejszym czynnikiem kontroli globalnego ocieplenia jest redukcja emisji gazów cieplarnianych, głównie poprzez ukierunkowanie na gospodarki oparte na technologiach niskoemisyjnych. Zaplanowano stabilizację ograniczenia emisji gazów cieplarnianych do 2020 r. oraz jej redukcję do 2050 r. o 50% w stosunku do roku 1990. Komisja Europejska przedstawiła w styczniu 2008 r. tzw. „pakiet klimat i energia 2008”, jako wynik konsultacji z państwami członkowskimi. Jest to pakiet środków umożliwiających realizację przyjętych celów w zakresie klimatu i energii poprzez system handlu uprawnieniami do emisji EU ETS (European Union Emission Trading System).

U nas w obszarze górnictwa węgla kamiennego nakreślone zostały dążenia UE do przekształcenia gospodarki europejskiej w gospodarkę wysoce efektywną o niskiej emisji gazów cieplarnianych.

Unia Europejska zdecydowanie promuje CCS (Carbon Capture and Storage), pakiet technologii umożliwiający wychwytywanie i przechowywanie pod ziemią dwutlenku węgla emitowanego w procesach przemysłowych, w tym w górnictwie węgla kamiennego.

Znacząca redukcja emisji gazów cieplarnianych, niezbędna dla powstrzymania zmian klimatu nie powinna wpłynąć niekorzystnie na podtrzymanie wzrostu gospodarczego Unii Europejskiej. Budżet UE na badania i rozwój w dziedzinie opracowywania i wdrażania czystych ekologicznie technologii w latach 2007-2013 został znacznie zwiększony. Dostrzeżono niebezpieczeń-

stwo, jakie się wiąże z ustanawianiem zbyt restrykcyjnych, nierealnych limitów, co prowadzi do zwiększenia ryzyka energetycznego całej wspólnoty europejskiej poprzez wyprowadzenie ciężkiego przemysłu poza jej granice w uboższe regiony świata, gdzie kładzie się nacisk na rozwój gospodarki bez zważania na katastrofalne i czasem nieodwracalne dla człowieka skutki takiego niekontrolowanego rozwoju. Jednocześnie Unia Europejska jest w wysokim stopniu zależna od zewnętrznych dostaw gazu, czy ropy naftowej i uzależnienie to wzrasta. Stąd tak silna tendencja do jak najefektywniejszego wykorzystania zasobów węgla kamiennego znajdujących się w Europie.

2. Wdrażanie programu

2.1. Rodzaje działań

Podobnie jak dotychczas, Program Badawczy RFCS wspiera dwa główne rodzaje działań: **Projekty Badawcze, Pilotażowe i Demonstracyjne** oraz **Działania Towarzyszące**.

W pierwszej grupie działań nastąpiła istotna zmiana w wysokości dofinansowania przez Komisję Projektów Pilotażowych oraz Demonstracyjnych. Podniesiono z 40 do 50 procent kosztów kwalifikowalnych. Ponadto pojawiła się możliwość uwzględnienia w projektach pierwszego typu kosztów uczestnictwa w konferencjach oraz organizacji warsztatów mających na celu rozpowszechnianie i przedyskutowanie wyników osiągniętych w czasie realizacji projektu. Struktura Działań Towarzyszących została zupełnie zmieniona. Z istniejących trzech typów tych działań (Wymiana Informacji i Rozpowszechnianie, Promocja Wiedzy oraz Szkolenia i Mobilność Badaczy) pozostał tylko jeden związany z Promocją Wiedzy nabytej w trakcie realizacji projektów badawczych. Projekt taki nie powinien trwać dłużej niż 18 miesięcy a poziom jego dofinansowania wyniesie generalnie 60%, jakkolwiek w wyjątkowych i dobrze uzasadnionych przypadkach może ono osiągnąć 100%.

Jako, że w projektach pierwszego typu pojawiła się możliwość finansowania konferencji, pierwszy rodzaj Działań Towarzyszących przestał być potrzebny, natomiast rodzaj trzeci Mobilność został zlikwidowany w związku z istnieniem Programu „People” w ramach 7. Programu Ramowego, którego ogólny cel strategiczny polega na podniesieniu atrakcyjności Europy dla najlepszych naukowców, i jest związany z dalszym rozwijaniem i utrwalaniem Europejskiej Przestrzeni Badawczej przy jednoczesnym braku ograniczenia tematyicznego. Mogą w nim uczestniczyć naukowcy wszelkich dziedzin, włącznie z tymi związanymi z górnictwem i hutnictwem. Tym samym zbędne stało się działanie w ramach RFCS dublujące ten typ aktywności.

2.2. Zasady przystępowania

Zasady nie zmieniły się, jedynie opisane zostały w sposób bardziej przejrzysty i czytelny.

2.3. Zasady zarządzania Programem Badawczym RFCS

Struktura zarządzania nie uległa zmianie. Zmieniono jedynie zadania Grup Doradczych.

2.4. Sposób przygotowania i złożenia wniosku

Dodano tutaj nową opcję – poza otwartym zaproszeniem do składania wniosków projektowych z terminem nieprzekraczalnym 15 września każdego roku, pojawiła się możliwość ogłaszania przez Komisję dodatkowych zaproszeń do składania wniosków, pokrywających szczegółowo sprecyzowane tematy i ograniczonych wyznaczonym indywidualnie terminem składania – na wzór zaproszeń ogłaszanych do Programów Ramowych.

Należy zwracać szczególną uwagę na opisy druków wniosku, ponieważ zmianie uległy same druki oraz zasady ich wypełniania. Nastąpiły istotne zmiany w sposobie obliczania budżetu projektu, a tym samym wysokości maksymalnego dofinansowania ze strony Komisji. Zmianie uległa zasada obliczania amortyzacji sprzętu zakupionego do projektu. Generalnie istotne jest przy wypełnianiu formularzy wniosku projektowego korzystanie z „Objaśnień do formularzy 1-8”. Są one publikowane wraz z formularzami w „Pakiecie informacyjnym” aktualizowanym każdego roku.

Przystępując do wypełniania wniosku projektowego Programu Badawczego Funduszu Badawczego Węgla i Stali nieodzowne jest zagłębienie na jego stronę internetową: http://cordis.europa.eu/coal-steel-rtd/home_en.html Zawarto tam w jednym miejscu wszystkie istotne informacje niezbędne przy składaniu wniosku. Publikowane są przepisy, na podstawie których działa Fundusz. Co roku ukazuje się nowy, zaktualizowany „Pakiet informacyjny” dla wnioskodawców, nowe druki formularzy, priorytety szczegółowe obowiązujące w danym roku i wiele innych użytecznych informacji.

3. Sposób realizacji projektu

Znaczącą zmianą jest uporządkowanie kalendarza działań po złożeniu wniosku. Dotychczas prace ewaluatorów i Komisji nie były ujęte w szczegółowe ramy czasowe. Wnioskodawcy z grubsza orientowali się, kiedy powinni dostać pierwsze informacje o projekcie. Projekty pozytywnie ocenione przechodziły do etapu negocjacji – o którym nie wiadomo dokładnie kiedy się zakończy, a tym samym niemożliwy do przewidzenia był formalny początek realizacji projektu.

Obecnie określono ramy czasowe całego procesu ewaluacji i negocjacji, dzięki czemu wiadomo, że pro-

jekt, który uzyskał pozytywną ocenę i zarekomendowany został do finansowania rozpocznie się 1 lipca roku następnego po złożeniu wniosku. Pozwala to na zaplanowanie wszelkich niezbędnych działań, jak: przetargi, dostęp do sprzętu laboratoryjnego i stanowisk badawczych.

Przy realizacji projektu najważniejszym dokumentem jest kontrakt wraz z aneksami. Określone są w nim wszystkie wymogi formalne, takie jak: terminy, płatności, raportowanie, zasady finansowe, zarządzanie projektem, zasady kończenia projektu, szczegóły obliczania kosztów kwalifikowalnych, zasady kontroli i audytu, raporty techniczne, ochrona własności intelektualnej, publikacje i inne. Najnowsza wersja kontraktu nie została jeszcze opublikowana, ale spodziewamy się jej lada chwila. Pierwsze projekty opracowane zgodnie z nowymi przepisami ruszą 1 lipca 2009 r.

Nowa Decyzja Rady zawiera postanowienie o monitorowaniu Programu Badawczego RFCS w odstępach siedmioletnich. Ma ono zawierać m.in. ocenę przewidywanych korzyści z BRT (Badania i Rozwój Technologii) dla społeczeństwa i odpowiednich sektorów i przedstawiane ma być w formie sprawozdania.

Pierwsze sprawozdanie opublikowane zostanie w 2013 r., a następne co 7 lat. Jednocześnie wieloletnie wytyczne techniczne określone w Decyzji Rady poddawane będą przeglądowi również co 7 lat. Spodziewać się więc można, że znaczące zmiany w Programie Badawczym i w całym Funduszu mogą pojawiać się w takim właśnie cyklu. Sprawozdania z monitorowania i oceny realizacji projektów oraz przeglądy wytycznych stanowiąc będą podstawę do dokonywania zmian poprawiających efektywność i skuteczność funkcjonowania Programu Badawczego Funduszu Badawczego Węgla i Stali.

Literatura

1. Decyzja Rady z dnia 1 lutego 2003 r. ustanawiająca wieloletnie wytyczne techniczne dotyczące programu badawczego Funduszu Badawczego Węgla i Stali. Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L29/28.
2. Decyzja Rady z dnia 29 kwietnia 2008 r. w sprawie przyjęcia Programu Badawczego Funduszu Badawczego Węgla i Stali i wieloletnich wytycznych technicznych dotyczących tego programu. Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L130/7.
3. Information package, Guidance for applicants: proposal preparation and submission. Directorate General for Research, Research Fund for Coal and Steel, 2008.
4. Działania UE przeciw zmianom klimatu. Komisja Europejska, Urząd publikacji, 2008.

Artykuł wpłynął do redakcji w czerwcu 2009 r.

Recenzent: dr inż. Antoni Kozielec