

Zastosowanie numerycznej mechaniki płynów do modelowania wymiany ciepła w chłodnicy ramienia kombajnowego dużej mocy

Streszczenie

W pracy została przedstawiona metoda modelowania wymiany ciepła i masy w chłodnicy układu intensywnego chłodzenia ramienia kombajnu dużej mocy. Metodą numerycznej mechaniki płynów wyznaczono pola prędkości czynników roboczych, rozkład temperatur na powierzchni elementów konstrukcyjnych, temperatury czynników na wylocie oraz moc cieplną chłodnicy. Wyniki obliczeń numerycznych zweryfikowano eksperymentalnie. Obliczenia przeprowadzono przy użyciu pakietu oprogramowania Fluent w wersji 6.3. Wyniki symulacji charakteryzują się zadowalającą zgodnością z danymi eksperymentalnymi.

Summary

The method of modelling heat and fluid flow in heat exchanger of cooling system for high power cutting longwall shearers was presented in the paper. The Computational Fluid Dynamics method was used to simulate the flow and temperature fields. Temperature of oil and cooling water at outlet and power of heat exchanger were also calculated. Modeling results were verified experimentally. All calculations were made by using Fluent Software version 6.3. Modelling results showed good uniformity with experimental results.

1. Wstęp

Rosnące wymagania rynku, co do wydajności maszyn urabiających wymuszają konstruowanie ramion kombajnowych o coraz większej mocy, przy jednoczesnym zapewnieniu ich wysokiej trwałości i niezawodności. Stwarza to różnego rodzaju problemy konstrukcyjne. Jednym z nich jest zapewnienie odpowiednich warunków smarowania i chłodzenia układu napędowego. Dlatego też w CMG KOMAG podjęto prace nad opracowaniem systemu intensywnego chłodzenia ramion kombajnowych dużej mocy wraz z instalacją wymuszonego smarowania przekładni napędowej.

Ograniczona przestrzeń montażowa dla chłodnic i pomp układu, przy wymaganej jednocześnie dużej skuteczności wymiany ciepła, a także trudne warunki pracy urządzenia sprawiają, że istotne stają się zagadnienia optymalizacji konstrukcji chłodnic. Narzędziem wspomagającym konstruktora i ograniczającym badania stanowiskowe w tym zakresie może być numeryczna mechanika płynów (Computational Fluid Dynamics - CFD), umożliwiająca w szerokim zakresie modelowanie przepływu ciepła i masy.

W artykule przedstawiono przykład zastosowania CFD do symulacji wymiany ciepła w chłodnicy ramienia R500. Obliczenia przeprowadzono za pomocą pakietu oprogramowania Fluent v. 6.3

2. Przedmiot analizy

Przedmiotem analizy był proces wymiany ciepła w chłodnicy oleju przekładniowego w układzie smarowania

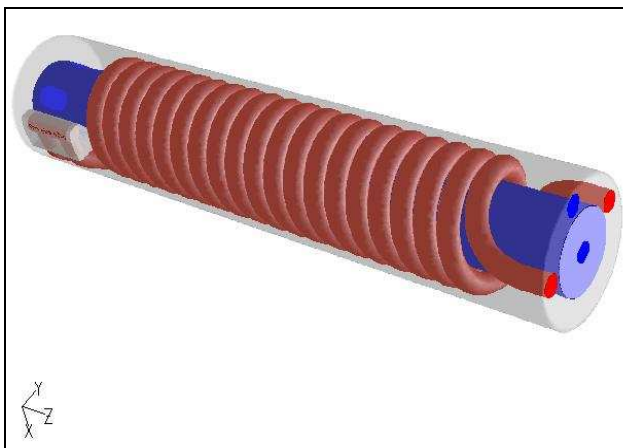
ramienia kombajnu R500 (rys. 1). Olej o temperaturze początkowej od 40 do 80°C, za pomocą pompy zębatej, jest podawany do podwójnej węzownicy miedzianej zainstalowanej w korpusie chłodnicy. Woda chłodząca, w ilości 15-25 l/min, podawana w obiegu otwartym poprzez regulator przepływu, przechodzi przez rurę wewnętrzną, a następnie opływając węzownicę wypływa w sposób swobodny poprzez króciec wylotowy. Temperatura wody chłodzącej jest w przybliżeniu stała i wynosi około 20°C.

Celem analizy było wyznaczenie pola prędkości cieczy chłodzonej (olej) i chłodzącej (woda), pola temperatur dla poszczególnych elementów składowych oraz parametrów pracy chłodnicy, takich jak temperatura mediów na wyjściu oraz moc cieplna.

3. Model geometryczny

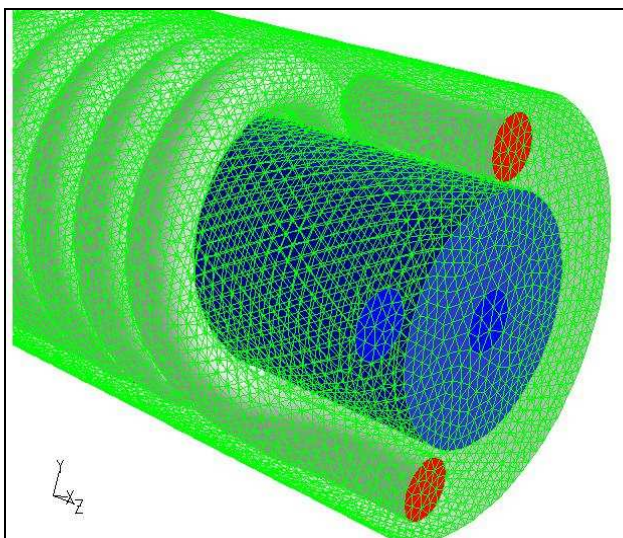
Trójwymiarowy model geometryczny chłodnicy (rys. 1) opracowano za pomocą programu Gambit stanowiącego preprocesor pakietu Fluent. Model geometryczny podzielono na następujące strefy obliczeniowe:

- powierzchnia zewnętrzna korpusu chłodnicy,
- powierzchnia zewnętrzna rury wewnętrznej,
- powierzchnia wylotów wewnętrznych,
- powierzchnie przekroju poprzecznego króćców wlotowych i wylotowych,
- powierzchnię węzownicy,
- objętość części wlotowej chłodnicy,
- objętość części wylotowej chłodnicy,
- objętość węzownicy,



Rys.1. Model geometryczny chłodnicy

Taki podział został podyktowany sposobem ustalenia warunków brzegowych do analizy CFD. Dla wyżej wymienionych stref wygenerowano siatkę elementów skończonych złożoną z elementów trójkątnych i czworokątnych (rys. 2). Siatka zawiera łącznie 1219118 czworokątnych elementów objętościowych, 2523639 trójkątnych elementów powierzchniowych i 258312 węzłów.



Rys.2. Siatka elementów skończonych

4. Model obliczeniowy

Symulację przeprowadzono przy zastosowaniu trójwymiarowego modelu obliczeniowego dla stanu ustalonego. Na podstawie analizy wstępnej ustalono, że wartość liczby Reynoldsa na wlocie zarówno dla wody, jak i dla oleju mieści się w zakresie przepływu laminarnego. Wówczas, przepływ cieczy opisany jest poprzez dwa równania różniczkowe cząstkowe eliptyczne: równanie ciągłości przepływu oraz równanie zachowania pędu.

Równanie ciągłości przepływu posiada postać [1]:

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

gdzie:

t – czas,

v – prędkość cieczy,

ρ – gęstość cieczy.

Natomiast równanie pędu można zapisać jako [1]:

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

gdzie:

ρ – gęstość cieczy,

v – prędkość cieczy,

p – ciśnienie hydrostatyczne,

g – przyspieszenie ziemskie,

F – wektor sił zewnętrznych,

τ – tensor naprężeń.

Tensor naprężeń wewnętrznych można zdefiniować równaniem postaci [1]:

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

gdzie:

μ – lepkość dynamiczna,

I – macierz jednostkowa.

Ponieważ w omawianym zagadnieniu występuje jednoczesny przepływ masy i ciepła trzecim równaniem jest bilans energii. Oprogramowanie Fluent umożliwia rozwiązanie równania w postaci [2]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} (\rho E) + \nabla \cdot [\vec{v} (\rho E + p)] = \\ = \nabla \cdot \left((k + k_t) \nabla T - \sum_j h_j \vec{J}_j + (\bar{\tau}_{eff} \cdot \vec{v}) \right) + S_h \end{aligned} \quad (4)$$

gdzie:

h_j – entalpia j-tej fazy,

J_j – strumień dyfuzji j-tej fazy,

k – przewodność cieplna,

k_t – przewodność cieplna dla przepływu turbulentnego,

S_h – dodatkowe źródła energii wewnętrznej.

W równaniu (4):

$$E = h - \frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} \quad (5)$$

Ponieważ w omawianym przypadku, występuje przepływ jednofazowy oraz nie występują dodatkowe źródła energii równanie (4) upraszcza się do postaci:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} (\rho E) + \nabla \cdot [\vec{v} (\rho E + p)] = \\ = \nabla \cdot \left((k + k_t) \nabla T + (\bar{\tau}_{eff} \cdot \vec{v}) \right) \end{aligned} \quad (6)$$

Do rozwiązania układu równań (1), (2), (6) przy określonych warunkach brzegowych oprogramowanie Fluent wykorzystuje metodę objętości skończonych.

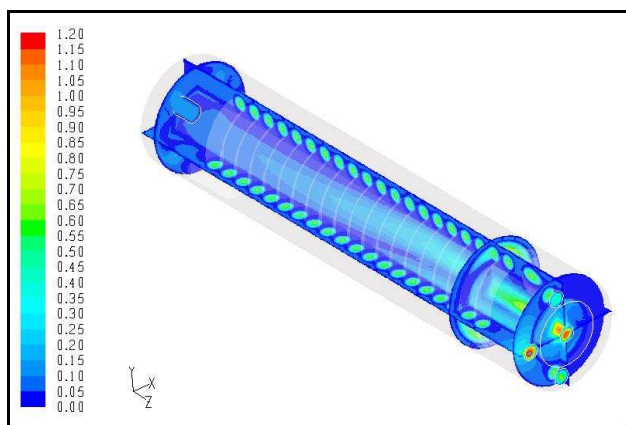
5. Wyniki obliczeń symulacyjnych

Obliczenia symulacyjne przeprowadzono dla materiałów, których właściwości fizyczne zebrano w tabeli 1. W modelu obliczeniowym przyjęto, że lepkość oleju zmienia się liniowo z temperaturą. W tabeli ujęto wartość lepkości dla 40°C. Dla temperatury 80°C lepkość wynosi 0,018 kg/ms [3].

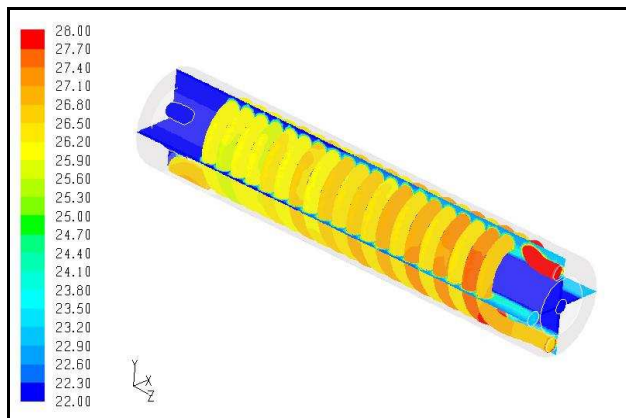
Właściwości fizyczne materiałów [1, 3]

Tabela 1

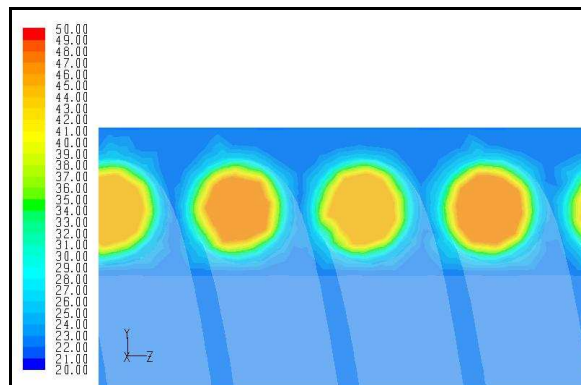
Materiał	Olej [3] ISO 220	Woda	Miedź	Stal
Gęstość [kg/m ³]	900	998,2	8978	8030
Lepkość [kg/m·s]	0,198	0,001	-	-
Ciepło właściwe [J/kg·K]	1964,8	4182	381	502,48
Przewodność cieplna [W/m·K]	0,14076	0,6	387,6	16,27
Temperatura [°C]	40	20	20	20



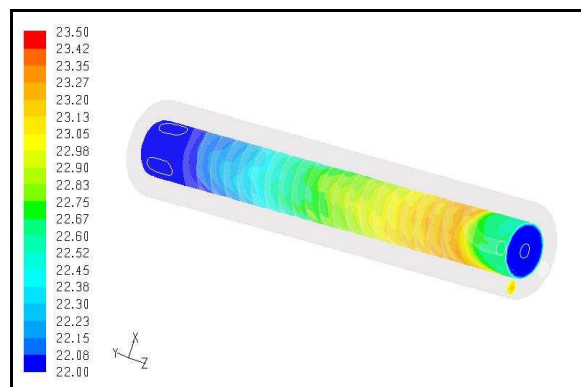
Rys.3. Wykres konturowy prędkości przepływu wody i oleju w pionowej i poziomej płaszczyźnie przekroju chłodnicy oraz w trzech przekrojach poprzecznych (zakres 0-1,2 m/s)



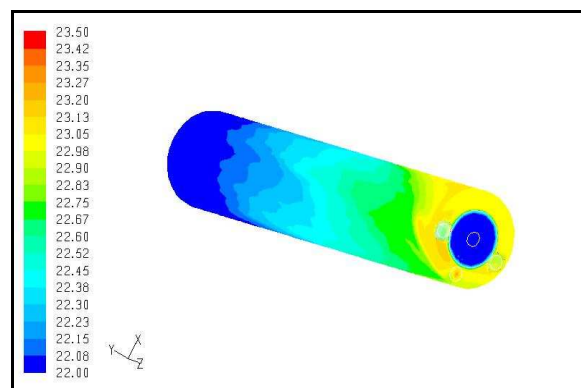
Rys.4. Wykres konturowy temperatury wody i oleju w pionowej i poziomej płaszczyźnie przekroju chłodnicy oraz na ściankach węzownicy (zakres 22-28°C)



Rys.5. Wykres konturowy temperatury wody i oleju pomiędzy zwojami węzownicy (zakres 20-50°C)



Rys.6. Wykres konturowy temperatury na powierzchni rury wewnętrznej (zakres 22-23,5°C)



Rys.7. Wykres konturowy temperatury na ściankach korpusu chłodnicy (zakres 22-23,5°C)

Wstępnie przeprowadzono obliczenia symulacyjne dla następujących parametrów wejściowych:

- natężenie przepływu oleju 6 l/min
- temperatura oleju na wlocie do chłodnicy 49,1°C
- natężenie przepływu wody chłodzącej 16 l/min
- temperatura wody na wlocie do chłodnicy 22°C

Powyższe wartości przyjęto jako niezmiennie w czasie. Parametry wejściowe odpowiadały warunkom, w jakich zostało przeprowadzone badanie prototypu chłodnicy na stanowisku badawczym. W oparciu o wyniki badań stanowiskowych została przeprowadzona weryfikacja prezentowanych poniżej wyników symula-

cji. Weryfikacji dokonano poprzez porównanie obliczonych i otrzymanych doświadczalnie wartości takich parametrów, jak temperatury czynników na wylocie oraz mocy cieplnej chłodnicy.

Rozkład prędkości przepływu czynników oraz rozkład temperatury na powierzchni elementów składowych chłodnicy przedstawiono w postaci przykładowych wykresów konturowych (rys. 3-7). Oprogramowanie umożliwia przeglądanie i analizę wyników dla dowolnie wybranego miejsca geometrycznego. Oprócz prezentowanego pola prędkości i temperatur możliwa jest również analiza pola ciśnienia zarówno statycznego, jak i dynamicznego, strumienia ciepła i masy w dowolnie wybranym przekroju oraz wielu innych parametrów charakteryzujących przepływ ciepła i masy.

W tabeli 2 zebrano wartości parametrów pracy chłodnicy. W nawiasach podano wartości otrzymane eksperymentalnie. Z danych w tabeli wynika, że temperatura oleju na wylocie obliczona metodą CFD jest zawyżona w stosunku do wartości eksperymentalnej o zaledwie 0,9%, temperatura wody chłodzącej jest zaniżona o 1%, a moc cieplna chłodnicy jest zaniżona o 8,5%. Niewielkie rozbieżności w stosunku do wartości eksperymentalnych świadczą o dobrej zgodności wyników symulacji z warunkami rzeczywistymi. Zastosowany model numeryczny posłużył do oszacowania mocy cieplnej chłodnicy i temperatur dla maksymalnych parametrów wejściowych możliwych do uzyskania w rzeczywistych warunkach pracy ramienia kombajnu przy pełnym jego obciążeniu.

Zestawienie parametrów chłodnicy dla warunków eksperymentalnych (w nawiasach podano wartości eksperymentalne)

Tabela 2

Medium \ Parametr	Woda	Olej
Natężenie przepływu [l/min]	16	6
Prędkość przepływu na wlocie [m/s]	1,10	0,38
Prędkość przepływu na wylocie [m/s]	1,08	0,38
Średnia temperatura na wlocie [°C]	22 (22)	49,1 (49,10)
Średnia temperatura na wylocie [°C]	23,06 (23,3)	42,42 (41,80)
Moc cieplna chłodnicy [W]	1180 (1291)	

Wyniki tych symulacji zebrane w tabeli 3 posłużyły do określenia zmian konstrukcyjnych pozwalających na zwiększenie skuteczności systemu intensywnego chłodzenia ramienia kombajnu.

Zbiórce wyniki obliczeń symulacyjnych

Tabela 3

Natężenie przepływu [l/min]	Woda	Olej	Woda	Olej	Woda	Olej
	15	6	25	6	25	16
Prędkość przepływu na wlocie [m/s]	1,03	0,39	1,73	0,39	1,72	1,06
Prędkość przepływu na wylocie [m/s]	1,01	0,39	1,69	0,39	1,69	1,05
Średnia temperatura na wlocie [°C]	20	80	20	80	20	80
Średnia temperatura na wylocie [°C]	22,4	65,2	21,5	65,0	21,6	73,9
Moc cieplna chłodnicy [W]	2612		2656		2898	

6. Podsumowanie

Zadowolająca zgodność wyników modelowania z danymi eksperymentalnymi wskazuje, że metoda CFD może w znacznym stopniu ułatwić projektowanie i optymalizowanie układów chłodzenia. Poprzez zastosowanie CFD, po uprzedniej weryfikacji eksperymentalnej modelu numerycznego, można wyeliminować lub w dużej części ograniczyć badania stanowiskowe prototypów oraz zmniejszyć koszty analizy rozwiązań alternatywnych.

Literatura

1. Fluent 6.3 User's guide, Lebanon NH: Fluent Inc. 2007.
2. G. K. Batchelor. An Introduction to Fluid Dynamics. Cambridge Univ. Press, Cambridge, England, 1967.
3. Katalog olejów i smarów Shell, 2001.

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

Badania laboratoryjne sekcji obudowy zmechanizowanej w aspekcie spełnienia wymagań zawartych w Załączniku nr 4 do Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r.

Streszczenie

W artykule przedstawiono badania laboratoryjne sekcji obudowy zmechanizowanej w aspekcie spełnienia wymagań zawartych w Załączniku nr 4 do Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. Badania te są istotnym elementem oceny jej stanu technicznego.

Summary

Laboratory tests of powered-roof support in the aspect of meeting the requirements included in Enclosure No. 4 to a Decree of Ministry of Economy dated 28th June 2002 were presented in the paper. These tests are significant component of assessment of technical condition of powered-roof support.

1. Wprowadzenie

Dominującym systemem eksploatacji pokładów węgla kamiennego w Polsce jest system ścianowy, w którym stosuje się zmechanizowane kompleksy ścianowe. Obudowa zmechanizowana jest podstawowym elementem kompleksu ścianowego, decydującym o bezpieczeństwie ludzi zatrudnionych w ścianie.

Podstawowym instrumentem prawnym harmonizacji wymagań zapewniającym bezpieczeństwo przy użytkowaniu wszelkich wyrobów są dyrektywy oraz normy europejskie, które są kluczowym elementem Jednolitego Rynku Europejskiego. Dyrektywy są obowiązkowe i muszą być przeniesione do prawa narodowego (w Polsce w drodze rozporządzeń), a wyroby im podlegające muszą spełniać określone w nich wymagania.

Górnictwo obudowy zmechanizowanej zakwalifikowano do urządzeń o zwiększonym ryzyku występowania zagrożeń, które wymagają szczególnego postępowania przed ich wprowadzeniem do stosowania, co zawarto w Dyrektywie Maszynowej 98/37/WE, wprowadzonej do polskiego prawodawstwa poprzez Rozporządzenie Ministra Gospodarki z 28.12.2005 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla maszyn i elementów bezpieczeństwa (Dz.U. Nr 259, poz. 2170).

Dyrektywy Nowego Podejścia dotyczą sekcji obudowy zmechanizowanej, które mają być wprowadzone po raz pierwszy do obrotu. Obudowa zmechanizowana poddana modernizacji podlega takim samym regułom jak obudowa nowa.

W dużej liczbie kopalń eksploatowane są sekcje obudowy, które zostały wyprodukowane w latach 80-tych i 90-tych. Po zakończeniu eksploatacji ściany, a przed zabudowaniem sekcji obudowy zmechanizowanej w następnej ścianie, poddaje się je ocenie stopnia zużycia, z uwzględnieniem wybiegu projektowanej

ściany. Wymagania w zakresie bezpieczeństwa eksploatacji oraz kryteria oceny stopnia zużycia sekcji obudowy zmechanizowanej w podziemnych zakładach górniczych reguluje Załącznik nr 4 do Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych (Dz.U. Nr 139 poz. 1169 z 2002 r. z późniejszymi zmianami).

W myśl wymienionego wyżej rozporządzenia stosuje się trzy metody oceny stanu technicznego sekcji obudowy:

- metodę obliczeniową,
- przegląd techniczny,
- badanie techniczne.

W metodzie obliczeniowej oceny stopnia zużycia sekcji obudowy zmechanizowanej oblicza się wskaźnik A_w , biorąc pod uwagę następujące uwarunkowania:

- rodzaj obudowy zmechanizowanej,
- liczbę lat od roku produkcji, remontu lub modernizacji,
- wybieg ściany,
- warunki górnictwo-geologiczne.

Jeżeli wskaźnik $A_w \geq 4000$ to komisja powołana przez kierownika ruchu zakładu górnictwa przeprowadza badania techniczne sekcji obudowy zmechanizowanej oraz przekazuje wytypowaną sekcję do badań stanowiących w akredytowanym laboratorium badawczym.

2. Badania stanowiskowe

2.1. Program badań

Centrum Mechanizacji Górnictwa KOMAG, w której strukturze działa akredytowane Laboratorium Badań proponuje taki program badań stanowiskowych, aby na podstawie uzyskanych wyników można było określić

zakres remontu doprowadzającego sekcję obudowy zmechanizowanej do zgodności z wymaganiami określonymi w Załączniku nr 4 do Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r.

Program badań obejmuje:

- Analizę dokumentacji technicznej sekcji obudowy w zakresie koniecznym do realizacji badań.
- Sprawdzenie sekcji obudowy w zakresie:
 - zgodności wymiarów z dokumentacją techniczną,
 - oględzin wizualnych elementów sekcji obudowy przed i po badaniach,
 - pomiaru odkształceń trwałych elementów sekcji obudowy przed rozpoczęciem cyklu badań obciążeniowych i po ich zakończeniu.
- Badania obciążeniowe sekcji obudowy w zakresie:
 - wytrzymałości statycznej dla określonych sposobów podparcia,
 - podatności sekcji obudowy (zsuw) dla określonych parametrów,
 - wytrzymałości zmęczeniowej sekcji obudowy dla określonych sposobów podparcia i określonej liczby cykli obciążeń.

Laboratorium Badań od 1995 r. posiada akredytację Polskiego Centrum Akredytacji (Certyfikat Nr AB 039) w zakresie kompleksowych badań sekcji obudowy zmechanizowanej i hydraulicznych elementów wykonawczych. Badania obciążeniowe sekcji obudowy są realizowane w stanowisku do badań wytrzymałości obudów zmechanizowanych.

W stanowisku tym obciążenie sekcji obudowy zmechanizowanej w płaszczyźnie pionowej może być wy-

wołane aktywnym ruchem stropu stanowiska, symulującym nacisk górotworu lub biernie przez zasilanie zespołów hydrauliki siłowej sekcji cieczą o wysokim ciśnieniu, dopływającą z multiplikatorów ciśnienia lub bezpośrednio z agregatów pompowych.

Stosowane współczynniki przeciążeń są zgodne z PN-EN 1804-1:2004.

2.2. Metodyka badań

Badania wytrzymałości statycznej

Badania wytrzymałości statycznej wykonuje się dla sposobów podparcia przedstawionych na rysunku 1.

Badania te obejmują:

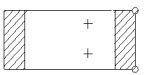
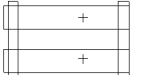
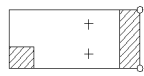


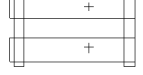
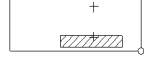

- próbę zginania spągnicy (A.2.a),
- próbę zginania stropnicy (A.1.1.a),
- próbę skręcania stropnicy (A.3.a i A.3.b),
- badanie przy obciążeniu asymetrycznym (A.5.b) (badanie osłony odzawałowej).

Dla realizacji obciążeń symetrycznych stosuje się współczynnik przeciążenia $p/p_N = 1,2$, natomiast dla obciążeń asymetrycznych współczynnik przeciążenia $p/p_N = 1,05$. Obciążenie jest realizowane według programu przedstawionego na rysunku 2.

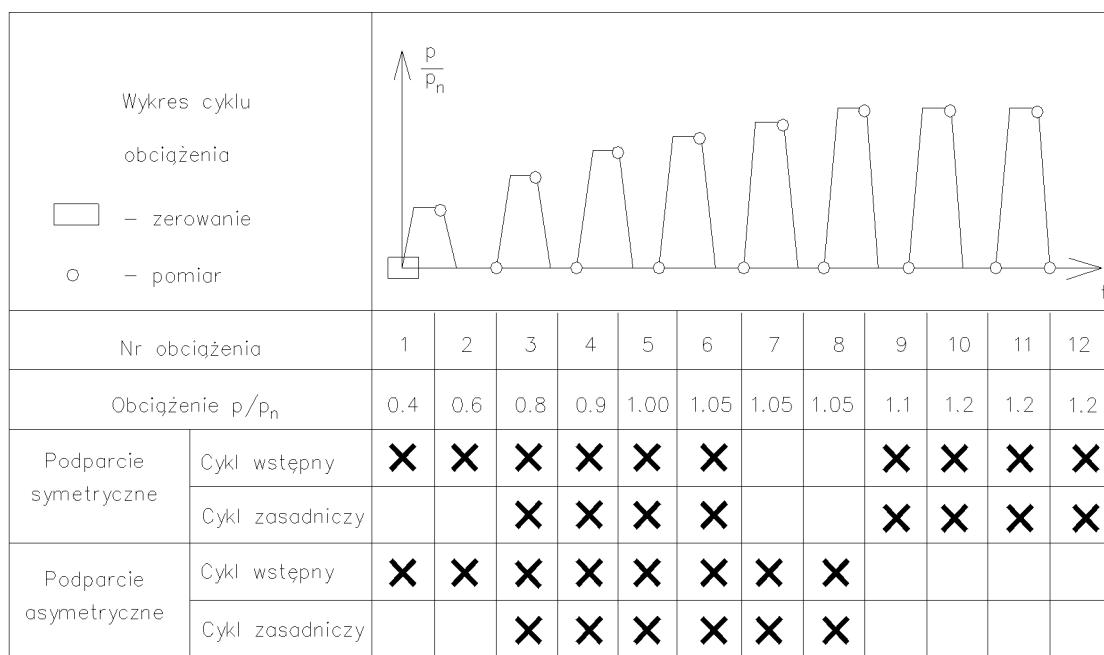
Badania wytrzymałości statycznej obejmują cztery podstawowe sposoby podparcia oraz dwie wysokości rozparcia sekcji.

Badanie podatności (zsuw)

Badanie przeprowadzane według sposobu podparcia przedstawionego na rysunku 3, to przede wszyst-

L.p.	Sposób podparcia wg rys.		Schemat podparcia		Obciążenie p/p_N	Wysokość rozparcia (przykład) [m]
	Stropnica	Spągnica	Stropnica	Spągnica		
1.	A.1.1a	A.2a			1,2	2,8
2.	A.3a	A.2a			1,05	2,8
3.	A.3b	A.2a			1,05	2,8
4.	A.5b	0			1,05	2,0

Rys.1. Badania wytrzymałości statycznej

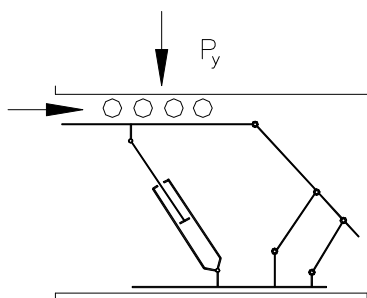


Rys.2. Program obciążeń statycznych

L.p.	Sposób podparcia wg rys.		Schemat podparcia		Liczba cykli	Wysokość rozparcia (przykład) [m]	Amplituda obciążeń p/p_n
	Stropnica	Spagnica	Stropnica	Spagnice			
1.	A.1.1a	A.2a			2000	2,8	od 0,25 do 1,05 siły dopuszczalnej
2.	A.3a	A.2a			2000	2,8	
3.	A.3b	A.2a			2000	2,8	
4.	A.5b	0			2000	2,0	

Rys.4. Badanie wytrzymałości zmęczeniowej

kim badanie wytrzymałości łączników układu lemni-skatowego. Na stropnicy sekcji należy zamontować urządzenie rolkowe, za pomocą którego generowana jest określona siła pozioma. Środek urządzenia rolkowego powinien znajdować się w miejscu działania wypadkowej siły podpórności.



Rys.3. Badanie podatności (zsuw)

Zsuw sekcji przeprowadza się w całym zakresie zmiany wysokości sekcji przy maksymalnej prędkości 100 mm/min.

Nastawienie bloków zaworowych stojaków i podpory stropnicy jest na poziomie maksymalnego dopuszczalnego ciśnienia roboczego.

Badania wytrzymałości zmęczeniowej

Badania wytrzymałości zmęczeniowej wykonuje się dla sposobów podparcia przedstawionych na rysunku 4.

Zakres ten obejmuje podobnie, jak w przypadku badań wytrzymałości statycznej próbę zginania spagnicy, próbę zginania stropnicy, próbę skręcania stropnicy, badanie przy obciążeniu asymetrycznym.

Badania wytrzymałości zmęczeniowej przeprowadza się przy różnych podparciach, w sumie dla 8000 cykli obciążeniowych z amplitudą ciśnień w zakresie od $0,25 p_N$ do $1,05 p_N$.

3. Ocena wyników badań

Podstawę dla oceny wyników badań stanowią:

- obserwacje wizualne po każdej serii obciążeń ze szczególnym uwzględnieniem stanu technicznego spoin, odkształceń sworzni, owalizacji otworów, ewentualnych pęknięć elementów sekcji,
- wyniki pomiarów strzałek ugięcia elementów nośnych (stropnica, ośtona odzawałowa, spąglica) w trakcie prób obciążeniowych,
- wyniki pomiaru płaskości płaszczyzn elementów sekcji obudowy przed rozpoczęciem cyklu obciążeń i po ich zakończeniu w celu określenia odkształceń trwałych.

4. Podsumowanie

Badania stanowiskowe sekcji obudowy zmechanizowanej są bardzo istotnym elementem oceny jej stanu technicznego.

Komisja powołana przez kierownika ruchu zakładu górniczego, na podstawie wyników badań stanowiskowych w akredytowanym laboratorium badawczym oraz badań technicznych sekcji obudowy zmechanizowanej, określa zakres remontu doprowadzającego obudowę zmechanizowaną do zgodności z wymaganiami okre-

ślonymi w Załączniku nr 4 do Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r.

Możliwości techniczne stanowisk badawczych CMG KOMAG pozwalają sprawdzić wszystkie podstawowe elementy sekcji obudowy pod względem wytrzymałości statycznej i zmęczeniowej w zakresie przedstawionym w artykule.

Na szczególną uwagę zasługuje możliwość realizacji zsuwu sekcji obudowy dla badania układu lemniskatowego w całym zakresie wysokości.

Literatura

1. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z 28.12.2005 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla maszyn i elementów bezpieczeństwa (Dz.U. Nr 259 z 2005 r., poz. 2170).
2. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych (Dz.U. Nr 139 poz. 1169 z 2002 r. z późniejszymi zmianami).
3. PN-EN 1804-1:2004. Maszyny dla górnictwa podziemnego. Wymagania bezpieczeństwa dla obudowy zmechanizowanej – część 1: Sekcje obudowy i wymagania ogólne.

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

Weryfikacja doświadczalna modelu MES stojaka hydraulicznego z akumulatorem gazowym

Streszczenie

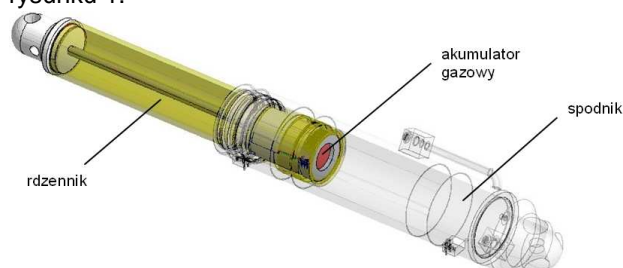
Korzystając z wyników pomiarów przeprowadzonych na stanowisku badawczym oraz wyników obliczeń numerycznych wykonanych z wykorzystaniem modelu MES stojaka hydraulicznego z akumulatorem gazowym przeanalizowano wielkości odchyłek wartości wielkości wyznaczonych doświadczalnie od odpowiadających im wartości wielkości wyznaczonych numerycznie. Wyróżniono następujące prawdopodobne przyczyny powstania różnic pomiędzy wynikami pomiarów a wynikami symulacji komputerowej, to pominięcie w modelu numerycznym sił tarcia pomiędzy ruchomymi częściami stojaka oraz przyjęcie modelu gazu idealnego do opisu przemian stanu gazu w komorze akumulatora. Przeanalizowano możliwości i celowość modyfikacji modelu numerycznego.

Summary

Deviations of the amounts determined experimentally from the corresponding amounts determined numerically were analyzed using the results of measurements made at the stand test and results of numerical calculations made with the use of FEM model of hydraulic leg with gas accumulator. The following possible reasons of differences between the results of measurements and results of computer simulation were distinguished: neglect of frictional forces between moving parts of leg in numerical model as well as assumption of ideal gas model for description of changes of gas states in accumulator chamber. The possibilities and purposefulness of modification of numerical model were analyzed.

1. Wprowadzenie

Bezpieczeństwo użytkowania sekcji obudowy zmechanizowanej jest w dużej mierze uzależnione od niezawodności stojaków hydraulicznych. Ponieważ stosunkowo często ulegają one uszkodzeniom wskutek tapnięcia [4], to bardzo istotnym zagadnieniem jest opracowanie skutecznego sposobu zabezpieczenia stojaka przed obciążeniem dynamicznym [5]. Jedną z dostępnych metod upodatkowania stojaka polega na wbudowaniu w stojak akumulatora gazowego, charakteryzującego się niewielką bezwładnością i możliwością zmiany sztywności układu stojak hydrauliczny-akumulator gazowy w szerokim zakresie [1]. Budowę stojaka z akumulatorem gazowym przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Model geometryczny stojaka hydraulicznego $\varnothing 200$ wyposażonego w akumulator gazowy [1]

Proces projektowania i wdrażania prototypu akumulatora gazowego można przyspieszyć i usprawnić, poprzez wspomaganie metodami numerycznymi projektowania akumulatora oraz jego badań. Stosując symula-

cje komputerowe z wykorzystaniem modelu MES stojaka z akumulatorem gazowym można określić najkorzystniejsze parametry techniczne akumulatora ze względu na kryterium wymaganego upodatkowania stojaka oraz ograniczyć zakres kosztownych badań stanowiskowych.

Podstawowym warunkiem, determinującym możliwość wykorzystania modelu MES w procesie projektowania urządzenia, jest eksperymentalna weryfikacja modelu. Sposób eksperymentalnej weryfikacji modelu MES stojaka z akumulatorem gazowym, omówiono szczegółowo w [2], natomiast poniżej przedstawiono wyniki weryfikacji modelu MES polegającej na ocenie zgodności przebiegu czasowego rozpatrywanej wielkości fizycznej, zarejestrowanej podczas badań stanowiskowych, z przebiegiem czasowym tej wielkości wyznaczonym numerycznie.

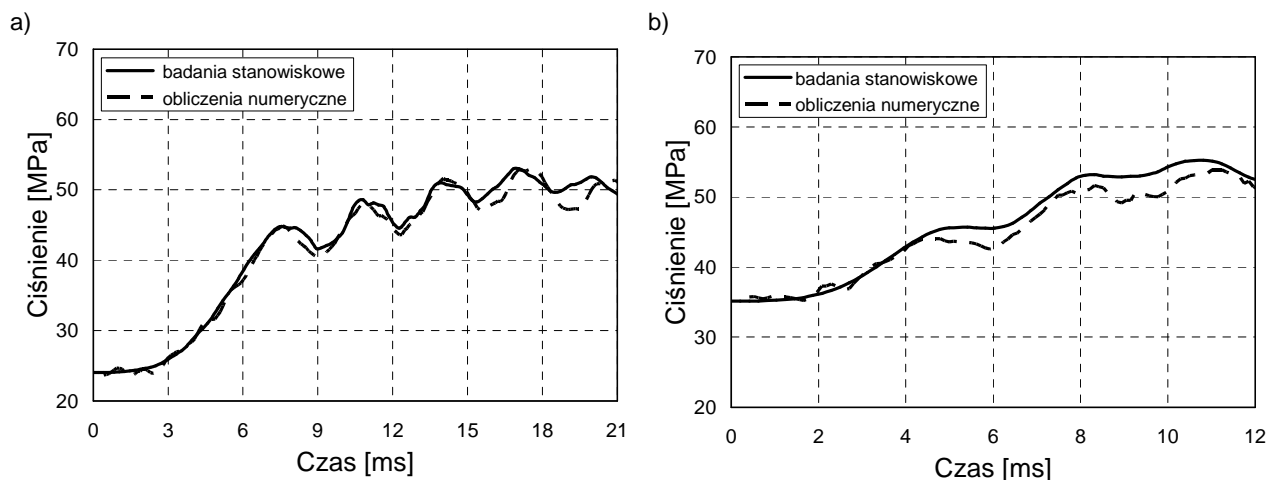
Przedmiotem niniejszej publikacji jest analiza różnic pomiędzy wielkościami zarejestrowanymi na stanowisku, a wyznaczonymi numerycznie.

2. Weryfikacja modelu MES stojaka z akumulatorem gazowym

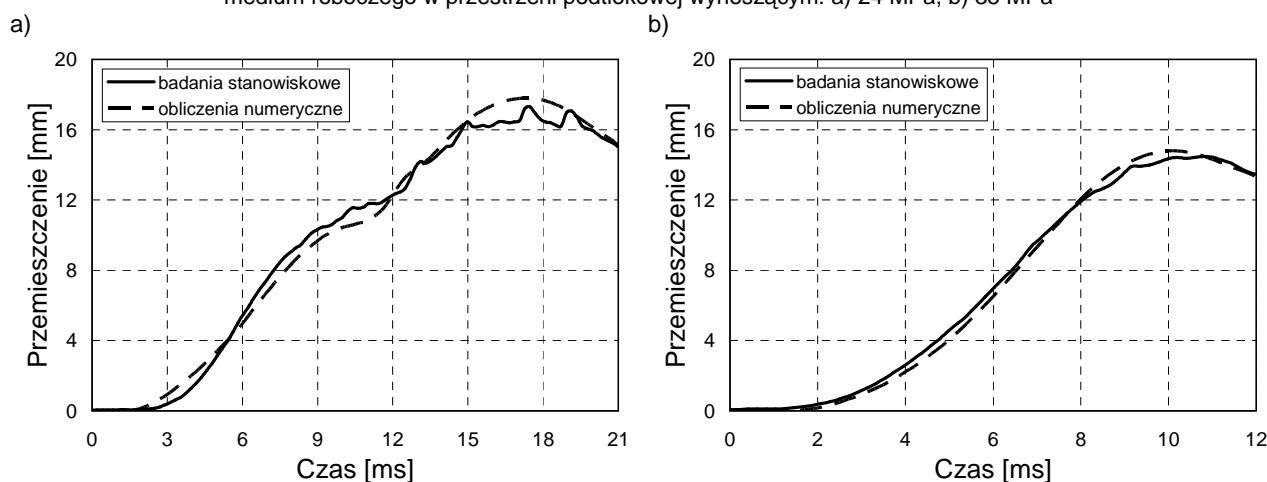
Weryfikacja modelu stojaka z akumulatorem gazowym dotyczyła porównania: przebiegu czasowego ciśnienia gazu w komorze akumulatora, przebiegu czasowego ciśnienia medium roboczego w przestrzeni podłokowej stojaka i zsuwu stojaka.

Porównanie przebiegów czasowych zarejestrowanych podczas badań stanowiskowych stojaka z akumulatorem gazowym z analogicznymi przebiegami czasowymi wyznaczonymi z wykorzystaniem modelu tego stojaka przedstawiono na rysunkach 2 do 4.

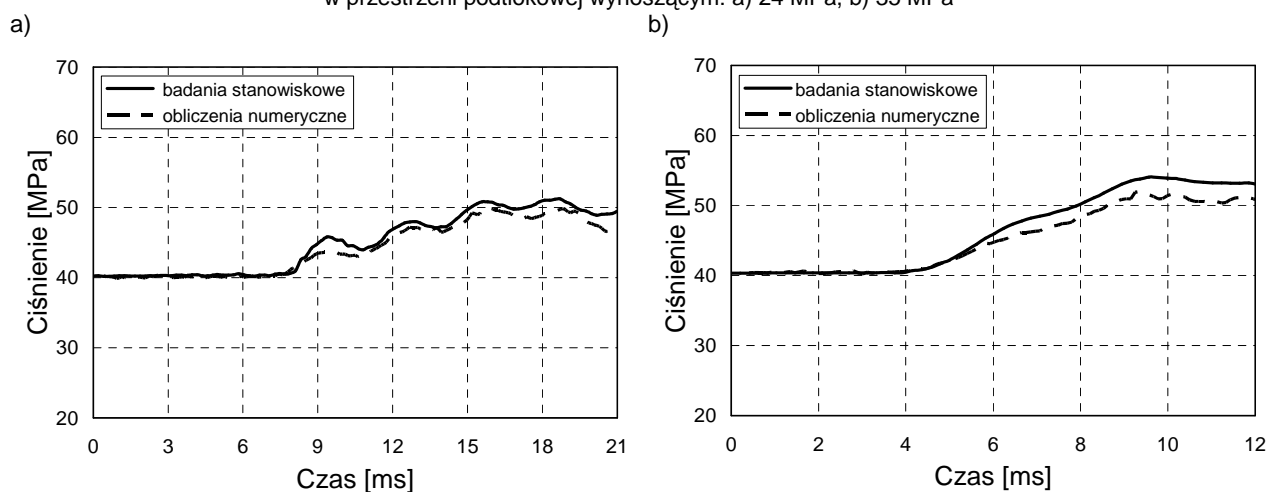
Z przedstawionych wykresów wynika, że model stojaka z akumulatorem gazowym umożliwia uzyskanie przebiegów czasowych porównywalnych z odpowiednimi przebiegami czasowymi zarejestrowanymi podczas badań stanowiskowych.



Rys.2. Przebiegi czasowe ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka z akumulatorem gazowym przy początkowym ciśnieniu medium roboczego w przestrzeni podtłokowej wynoszącym: a) 24 MPa, b) 35 MPa



Rys.3. Przebiegi czasowe zsuwu stojaka z akumulatorem gazowym przy początkowym ciśnieniu medium roboczego w przestrzeni podtłokowej wynoszącym: a) 24 MPa, b) 35 MPa



Rys.4. Przebiegi czasowe ciśnienia gazu w stojaku z akumulatorem przy początkowym ciśnieniu medium roboczego w przestrzeni podtłokowej wynoszącym: a) 24 MPa, b) 35 MPa

Celem zidentyfikowania przyczyn różnic pomiędzy przebiegami czasowymi zarejestrowanymi w laboratorium i wyznaczonymi z symulacji komputerowej, przeanalizowano odchyłki chwilowej wartości wielkości wyznaczonej doświadczalnie i obliczonej numerycznie.

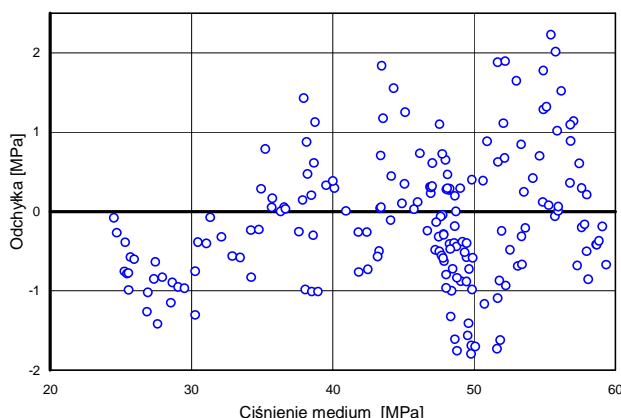
3. Analiza odchyłek ciśnienia w przestrzeni podłokowej stojaka

N rysunku 5 przedstawiono odchyłki $\delta_{p,c}$ wartości ciśnienia medium roboczego, wyznaczone z zależności:

$$\delta_{p,c} = p_{c,b} - p_{c,s} \quad (1)$$

gdzie:

- $p_{c,b}$ – ciśnienie medium roboczego w przestrzeni podłokowej stojaka zarejestrowane podczas badań stanowiskowych,
- $p_{c,s}$ – ciśnienie medium roboczego w przestrzeni podłokowej stojaka uzyskane z obliczeń numerycznych.



Rys.5. Odchyłki wartości ciśnienia medium roboczego przy różnych wartościach ciśnienia medium w przestrzeni podłokowej stojaka

Rozpatrując cały zakres zmienności ciśnienia medium roboczego wyróżniono dwa przedziały ciśnienia p_c różniące się rozrzutem wyznaczonych odchyłek. W przypadku, gdy:

$$24 \text{ MPa} \leq p_c \leq 34,8 \text{ MPa}$$

wszystkie odchyłki ciśnienia są ujemne, natomiast dla $p_c > 34,8 \text{ MPa}$ odnotowano zarówno odchyłki ujemne, jak również dodatnie. Obie wyróżnione grupy odchyłek charakteryzuje rozkład normalny lub zbliżony do normalnego. Wartości średnie odchyłki $\bar{\delta}_{p,c,sr}$ oraz ich odchylenie standardowe $\delta_{p,c}$, wyznaczone z rozpatrywanej próby zestawiono w tabeli 1.

Stwierdzono, że na poziomie istotności $\alpha = 0,05$ należy odrzucić hipotezę statystyczną $H_0: \bar{\delta}_{p,c,sr,1} = \bar{\delta}_{p,c,sr,2}$ wobec hipotezy alternatywnej $H_1: \bar{\delta}_{p,c,sr,1} \neq \bar{\delta}_{p,c,sr,2}$. Przyjmując ten sam poziom istotności stwierdzono również, iż wartości odchyłek standardowych charakteryzujących obie wyróżnione grupy odchyłek istotnie różnią się od siebie. W przypadku gdy $p_c <$

$34,8 \text{ MPa}$, to wartość średnia odchyłki $\bar{\delta}_{p,c,sr}$ w populacji generalnej jest istotnie mniejsza od $-0,58 \text{ MPa}$. Wynika stąd, iż w przypadku wyznaczenia ciśnienia medium roboczego z wykorzystaniem modelu, należy uwzględnić średnią odchyłkę ciśnienia, wynoszącą dla ciśnienia medium roboczego mniejszego od $34,8 \text{ MPa}$: $\bar{\delta}_{p,c,sr} = 0,58 \text{ MPa}$.

Parametry statystyczne, charakteryzujące wyróżnione grupy odchyłek ciśnienia medium roboczego

Tabela 1

	1	2
	$p_c < 34,8 \text{ MPa}$	$p_c \geq 34,8$
$\bar{\delta}_{p,c,sr}$ [MPa]	-0,695	-0,017
$\delta_{p,c}$ [MPa]	0,359	0,856

W przypadku wartości ciśnienia medium roboczego większej od $34,8 \text{ MPa}$ nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy $H_0: \bar{\delta}_{p,c,sr} = 0$ wobec hipotezy alternatywnej $H_1: \bar{\delta}_{p,c,sr} \neq 0$. Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że w przypadku, gdy $p_c > 34,8 \text{ MPa}$ uzyskane wartości odchyłek $\delta_{p,c}$ mają charakter losowy, natomiast dla ciśnienia $p_c < 34,8 \text{ MPa}$ przyczyną powstałych odchyłek jest błąd systematyczny. Błąd ten sprawia, iż wartość ciśnienia $p_{c,s}$ uzyskana z obliczeń jest istotnie większa od rzeczywistej wartości ciśnienia medium roboczego w przestrzeni podłokowej stojaka zarejestrowanej podczas badań stanowiskowych.

Prawdopodobną przyczyną, powodującą powstawanie takich odchyłek wartości ciśnienia medium roboczego jest pominięcie tarcia uszczelnień o ścianki cylindra w modelu numerycznym. W przypadku, gdy $p_c < 34,8 \text{ MPa}$, a więc w początkowej fazie działania obciążenia zewnętrznego, kiedy ciśnienie w przestrzeni podłokowej stojaka monotonicznie rośnie, siła tarcia uszczelnienia o tłok ma zwrot przeciwny do zwrotu obciążenia zewnętrznego. W związku z tym zarejestrowane ciśnienie medium roboczego ma wartość mniejszą od wartości ciśnienia wyznaczonej z obliczeń wykonywanych za pomocą modelu, w którym nie uwzględniono tarcia. W przypadku większych wartości ciśnienia medium roboczego siła tarcia będzie zmieniała zwrot, zależnie od chwilowego zwrotu przemieszczenia przygotowanego, a więc wyznaczone wartości $\delta_{p,c}$ będą miały charakter przypadkowy.

Inną prawdopodobną przyczyną powstałych różnic jest pominięcie w modelu numerycznym stanów nieustalonych w równaniach opisujących związki pomiędzy naprężeniem i odkształceniem ośrodka sprężystego. Z analizy zjawisk towarzyszących szybkozmienemu obciążeniu rdzennika, przedstawionych w [3] wynika, że w przypadku zmian obciążenia charakteryzujących się czasem narastania krótszym od 10 ms konieczne jest uwzględnienie falowych zmian stanu naprężenia, które przy dłuższym czasie narastania są pomijalnie małe.

4. Analiza odchyłek zsuwu stojaka

Na rysunku 6 przedstawiono odchyłki δ_u zsuwu stojaka:

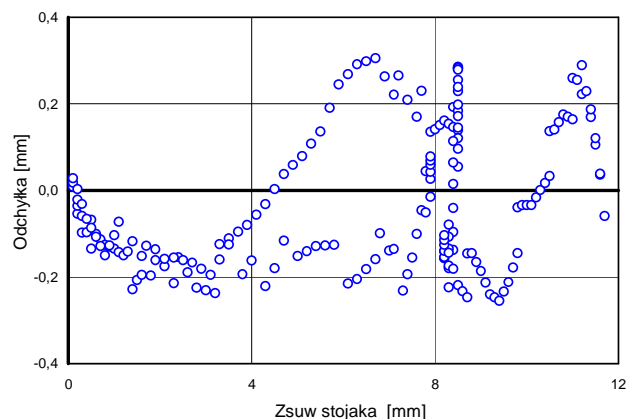
$$\delta_u = u_b - u_s \quad (2)$$

gdzie:

u_b – zsuw stojaka zarejestrowany podczas badań stanowiskowych,

u_s – zsuw stojaka uzyskany z obliczeń numerycznych.

Obserwowane zmiany odchyłki δ_u zsuwu stojaka różnią się od wykresu odchyłek ciśnienia medium roboczego w przestrzeni podtłokowej (rys. 5).



Rys.6. Odchyłki δ_u zsuwu stojaka przy różnych wartościach zsuwu stojaka

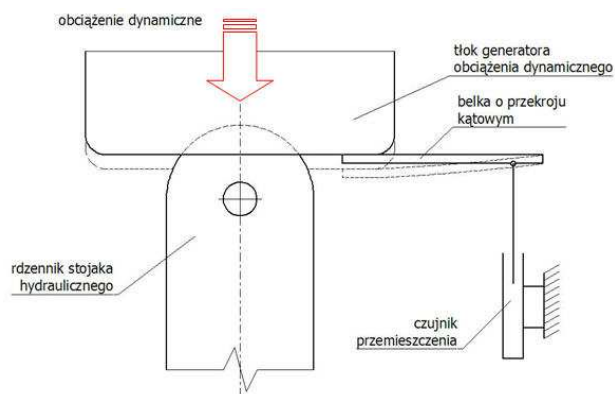
Analizując wykres przedstawiony na rysunku 6 stwierdzono, że odnotowane odchyłki spowodowane zostały występowaniem dwóch rodzajów błędów. Z jednej bowiem strony widoczny jest wpływ błędu systematycznego, powodującego cykliczną zmianę wartości odchyłki w całym zakresie zmienności zsuwu stojaka, przy czym początkowo, tzn. dla małych wartości zsuwu odchyłka δ_u jest ujemna. Z drugiej strony w przedziale zsuwu stojaka charakteryzowanym przez zależność: $u > u_{sr} = 4,6$ mm występują również odchyłki spowodowane prawdopodobnie błędem przypadkowym.

Zsuw stojaka mierzono za pomocą czujnika indukcyjnego przedstawionego na rysunku 7.



Rys.7. Czujnik indukcyjny do pomiaru przemieszczenia tłoka generatora obciążenia dynamicznego

Sposób zamocowania elementów czujnika przedstawiono schematycznie na rysunku 8.



Rys.8. Schemat zamocowania czujnika przemieszczenia tłoka generatora obciążenia dynamicznego do podłoża

Ze względów technologicznych nie było możliwości bezpośredniego zamocowania trzpienia czujnika przemieszczenia do tłoka generatora. Zamocowano go do sztywnej belki o przekroju kątowym. Czujnik natomiast umieszczono w objętości przyspawanej do końca kształtownika połączonego z obudową stanowiska. Ze względu na niewielką siłę oddziaływania trzpienia czujnika na belkę jej ugięcie można pominąć.

Przyczyną powstałych odchyłek zsuwu jest bezwładność belki. Siły bezwładności wywołane przyspieszeniem tłoka generatora spowodują ugięcie belki, sprawiające, że w przypadku zsuwu stojaka spełniającego warunek $u \leq 4,6$ mm (tzn. w początkowej fazie działania obciążenia dynamicznego) zarejestrowane przemieszczenie tłoka generatora (a więc zsuw stojaka) będzie mniejsze od zsuwu wyznaczonego z modelu, w którym nie uwzględniono sposobu zamocowania czujnika przemieszczenia.

Parametry charakteryzujące zbiór wyznaczonych odchyłek zsuwu stojaka zestawiono w tabeli 2.

Parametry statystyczne, charakteryzujące wyróżnione grupy odchyłek zsuwu stojaka

Tabela 2

	1	2
	$u < 4,6$ mm	$u \geq 4,6$ mm
$\bar{\delta}_{u,sr}$ [mm]	-0,124	0,020
$\bar{\delta}_u$ [mm]	0,066	0,170

W przypadku zsuwów stojaka spełniających warunek: $u \geq 4,6$ mm wykazano, z prawdopodobieństwem błędu mniejszym od 5%, że średnia wartość odchyłki zsuwu stojaka – $\bar{\delta}_{u,sr}$ nie różni się istotnie od zera, natomiast dla $u < 4,6$ mm, z tym samym prawdopodobieństwem błędu, stwierdzono, że wartość średnią odchyłki zsuwu stojaka w populacji generalnej określa zależność: $\bar{\delta}_{u,sr} < -0,110$ mm.

5. Analiza odchyłek ciśnienia gazu w komorze akumulatora

Analizując zgodność modelu stojaka z akumulatorem gazowym z obiektem rzeczywistym stwierdzono, że w przypadku, gdy: $p_g \geq 46,2$ MPa, to odchyłki wartości ciśnienia gazu w komorze akumulatora $\delta_{p,g}$, wyznaczone z zależności:

$$\delta_{p,g} = p_{g,b} - p_{g,s} \quad (3)$$

gdzie:

$p_{g,b}$ – ciśnienie gazu w komorze akumulatora zarejestrowane podczas badań stanowiskowych,

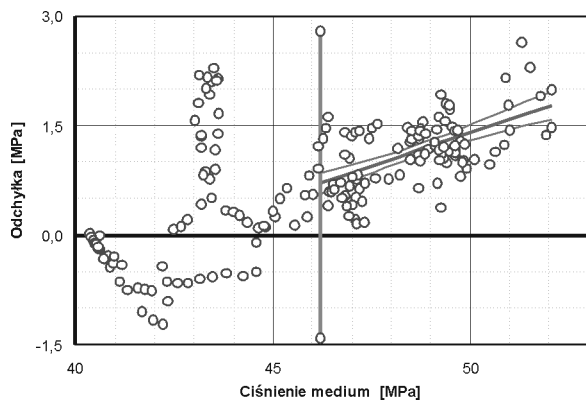
$p_{g,s}$ – ciśnienie gazu w komorze akumulatora uzyskane z obliczeń numerycznych,

charakteryzuje umiarkowana zależność liniowa od ciśnienia gazu p_g . Korelacyjny wykres rozrzutu wartości odchyłki ciśnienia gazu $\delta_{p,g}$ i ciśnienia w komorze akumulatora p_g przedstawiono na rysunku 9. W przypadku rozpatrywanej 100-elementowej próby, zawierającej wartości $\delta_{p,g}$ i p_g współczynnik korelacji wynosi 0,582.

Krytyczna wartość współczynnika korelacji dla 100 stopni swobody i poziomu ufności 95%, wynosi 0,165. Przyjmując poziom ufności 0,95 udowodniono, że w populacji generalnej wartość współczynnika korelacji jest istotnie większa od 0,52. Na rysunku 9, oprócz wartości odchyłek $\delta_{p,g}$, zaznaczono, prostą regresji o równaniu:

$$\delta_{p,g} = 0,18 p_{g,r} - 7,75 \text{ MPa} \quad (4)$$

oraz krzywe wyznaczające przedział ufności dla prostej regresji na poziomie ufności 0,95%.



Rys.9. Odchyłki ciśnienia gazu $\delta_{p,g}$ przy różnych wartościach ciśnienia gazu p_g

Zaobserwowane odchyłki wartości ciśnienia wyznaczonego na podstawie symulacji komputerowej od wartości rzeczywistej otrzymanej z pomiarów laboratoryjnych są prawdopodobnie spowodowane zastosowaniem modelu gazu idealnego w procedurach programu *MSC.Dytran*. Ogólny związek między ciśnieniem gazu p , temperaturą T i objętością V w sposób przybliżony opisuje równanie Clapeyrona:

$$pV = n_m RT \quad (5)$$

gdzie:

n_m – liczba moli gazu,

R – uniwersalna stała gazowa.

Różnice pomiędzy charakterystyką azotu traktowanego jako gaz rzeczywisty, a charakterystyką gazu idealnego przedstawiono na rysunku 10 [6]. Spowodowane są one pominięciem w równaniu Clapeyrona sił międzycząsteczkowych oraz objętości własnej cząsteczek gazu. W związku z powyższym, według Van der Waalsa, równanie stanu dla gazu rzeczywistego przyjmuje postać:

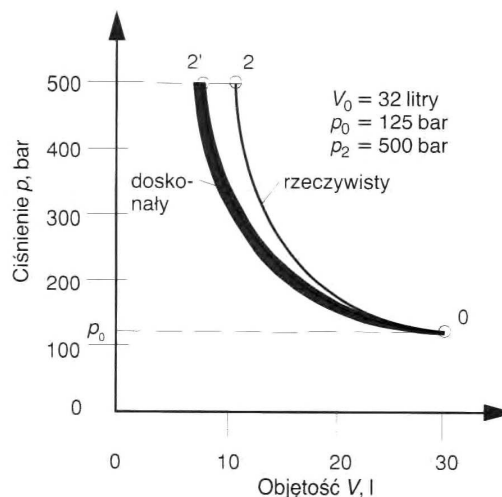
$$\left(p + \frac{n_m^2 \cdot a}{V^2} \right) \cdot (V - n_m \cdot c) = n_m RT \quad (6)$$

gdzie:

a – stała charakterystyczna dla danego gazu (wyznaczana doświadczalnie),

c – rzeczywista objętość zajmowana przez cząsteczki jednego mola gazu (wyznaczana doświadczalnie).

Wprowadzenie powyższego równania do procedury obliczeniowej programu *MSC.Dytran* wiązałoby się z koniecznością modyfikacji równania (4.5) – wielomianowej funkcji gęstości gazu *EOSGAM*, a tym samym koniecznością oraz ingerencji w kod źródłowy algorytmu obliczeniowego, co jak już wcześniej zaznaczono może skutkować powstaniem trudnych do zidentyfikowania błędów numerycznych.



Rys.10. Wykres p - V do porównania charakterystyki gazu doskonałego i gazu rzeczywistego (azotu) na przykładzie sprężania [6]

Z rysunku 9 wynika, że dla $p_g < p_{g,sr}$ korelacja pomiędzy wartościami $\delta_{p,g}$ i p_g nie występuje. Występowanie odchyłek w tym przedziale ciśnienia gazu jest spowodowane, podobnie jak w przypadku odchyłek ciśnienia medium roboczego, głównie pominięciem w modelu *MES* tarcia uszczelnień tłoka akumulatora gazowego o ścianki komory oraz nie uwzględnienie wpływu zjawiska falowego rozchodzenia się ciśnienia w gazie na rejestrowane wartości ciśnienia gazu.

Jak wynika, z wykresu przedstawionego na rysunku 10 wpływ zastosowanego modelu gazu idealnego na wyznaczoną wartość ciśnienia gazu jest w tym przedziale wartości p_g mniejszy, niż dla $p_g > 46,2$ MPa. Przyjmując poziom istotności $\alpha = 0,05$ wykazano, że analizowany zbiór odchyłek ciśnienia gazu charakteryzuje wartość średnia odchyłki $\delta_{p,g,sr}$ istotnie mniejsze od 0,485 MPa.

Interakcje medium roboczego i gazu powodują, że odchyłki wartości ciśnienia gazu – $\delta_{p,g}$ przedstawione na rysunku 9 mają wpływ na odchyłki ciśnienia medium roboczego – $\delta_{p,c}$. Ponieważ wartość średnia odchyłek ciśnienia gazu w całym zakresie zmienności wartości ciśnienia gazu jest dodatnia, to i wartość średnia odchyłki ciśnienia medium roboczego w całym zakresie zmienności p_c jest dodatnia. Oznacza to, że wartości ciśnienia medium roboczego wyznaczone z wykorzystaniem modelu przedstawionego w niniejszej pracy będą mniejsze od rzeczywistej wartości ciśnienia.

W tabeli 3 zestawiono wyniki obliczeń parametrów statystycznych charakteryzujących odchyłki $\delta_{p,c}$ ciśnienia medium roboczego oraz odchyłki δ_u – zsuwu stojaka otrzymane w przypadku modelu stojaka z akumulatorem gazowym.

Zestawienie parametrów statystycznych charakteryzujących otrzymane zbiory odchyłek ciśnienia medium roboczego i odchyłek zsuwu stojaka w przypadku stojaka z akumulatorem gazowym

Tabela 3

	Odchyłka ciśnienia medium roboczego $\delta_{p,c}$		Odchyłka zsuwu stojaka δ_u	
	1	2	1	2
	$p_c < 41,5$ MPa	$p_c \geq 41,5$ MPa	$u < 8,95$ mm	$u \geq 8,95$ mm
Wartość średnia z próby	0,204 MPa	0,477 MPa	0,001 mm	-0,084 mm
Odchylenie standardowe	0,756 MPa	0,858 MPa	0,440 mm	0,723 mm

6. Podsumowanie

Wyznaczone odchyłki $\delta_{p,c}$, $\delta_{p,g}$, i δ_u , są niewielkie. W przypadku ciśnienia medium roboczego, wynoszą one:

$$\delta_{p,c,sr} + \sigma_{p,c} = 0,0226 p_{c,max} \quad (7)$$

gdzie:

$\delta_{p,c,sr}$ – średnia odchyłka ciśnienia medium roboczego,

$\sigma_{p,c}$ – odchylenie standardowe,

$p_{c,max}$ – maksymalna wartość ciśnienia medium roboczego.

Wynika stąd, iż rozpatrywany model MES stojaka hydraulicznego z akumulatorem gazowym charakteryzuje wystarczająca zgodność z obiektem rzeczywistym, w odniesieniu do przebiegów czasowych: ciśnienia medium roboczego, ciśnienia gazu i zsuwu stojaka.

Z analizy odchyłek wartości wielkości mierzonych i odpowiadających im wartości wielkości wyznaczonych numerycznie wynika, iż prawdopodobnie główną ich przyczyną jest pominięcie w modelu numerycznym sił tarcia pomiędzy tłokiem stojaka a cylindrem oraz pomiędzy tłokiem akumulatora a jego ściankami. Istotny wpływ na wartość odchyłek ciśnienia gazu ma także przyjęcie w obliczeniach modelu gazu idealnego.

Uwzględnienie w modelu MES: sił tarcia, pomiędzy ruchomymi częściami stojaka oraz równania stanu gazu rzeczywistego wiązałoby się z koniecznością ingerencji w kod źródłowy programu obliczeniowego. Modyfikacje kodu źródłowego mogą z kolei powodować powstanie innego rodzaju błędów numerycznych i odchyłki wartości wielkości wyznaczonych doświadczalnie od wartości wielkości obliczonych za pomocą zmodyfikowanego algorytmu obliczeniowego, mogą mieć wartości większe od opisanych powyżej. Dlatego też uznano, że nie jest racjonalne korygowanie parametrów modelu stojaka wyposażonego w akumulator gazowy – celem uzyskania mniejszych wartości odchyłek analizowanych wielkości.

Literatura

1. Mazurek K., Szweda S.: Metody kontroli i sterowania parametrami technicznymi stojaków hydraulicznych wyposażonych w akumulatory gazowe. Konferencja Naukowa "Górnictwo zrównoważonego rozwoju 2006", Gliwice, listopad 2006 r. Pol.Śl. Wydział Górnictwa i Geologii ZN Pol.Śl., S. Górnictwo nr 274, 2006, s. 241-251.
2. Mazurek K., Szweda S.: Wykorzystanie wyników pomiarów przemieszczenia głowicy generatora obciążenia dynamicznego do weryfikacji modelu MES stojaka. Maszyny Górnicze nr 2, 2007, s. 3-11.
3. Parchański J.: Pomiar siły zmiennej w czasie. ZN Pol.Śl., s. Elektryka 89, Gliwice 1983.
4. Profaska M.: Analiza zniszczeń stojaków hydraulicznych obudów zmechanizowanych spowodowana obciążeniami dynamicznymi występującymi podczas tupań. Międzynarodowa konferencja „Górnictwo 2000”, Szczyrk 23-24 XI 1999. Pol.Śl. Materiały konferencyjne, t.1, 1999, s. 307-316.
5. Szyguła M., Mazurek K., Holnicki-Szulc J., Mróz A.: Koncepcja obudowy zmechanizowanej przystosowanej do pracy w warunkach zagrożenia wstrząsami górotworu. KOMTECH 2004 "Zabezpieczenie systemów mechanicznych w górnictwie przed skutkami oddziaływania dużych energii", Ustroń, 15-17.11.2004, CMG KOMAG, Mat.konf., s. 129-140. Maszyny Górnicze nr 100/2004, Gliwice 2005.
6. Vademecum hydrauliki. Tom 3. Projektowanie i konstruowanie układów hydraulicznych. Mannesmann Rexroth GmbH 1992.

Artykuł wpłynął do redakcji w czerwcu 2008 r.

Recenzent: prof.dr inż. Włodzimierz Sikora

Przykład wykorzystania sygnałów pomiarowych z układu monitorowania do analizy obciążenia napędów kombajnu ścianowego

Streszczenie

W niniejszej pracy opisano możliwość wykorzystania charakterystyk eksploatacyjnych przedstawiających zmienność parametrów charakteryzujących stan obciążenia kombajnu ścianowego wzdłuż długości ściany. Mogą być one pomocne do ustalenia odcinków ściany, na których występują zwiększone opory urabiania.

Summary

A possibility of using the operational characteristics, which present a changeability of parameters characterizing the load condition of longwall shearer along the longwall face, was described in the paper. The operational characteristics can be helpful to determine the longwall sections at which there are higher cutting resistances.

1. Wstęp

Sygnały pomiarowe charakteryzujące parametry pracy kombajnu uzyskiwane on-line wykorzystywane są na bieżąco do celów sterowania i diagnostyki technicznej. Ich archiwizacja umożliwia dodatkowe wykorzystanie związane z oceną prawidłowości doboru do konkretnych warunków geologiczno-górnictwa ścianowego. W tym celu uzyskiwane są charakterystyki eksploatacyjne przedstawiające zależność obciążenia poszczególnych układów napędowych oraz częstość występowania ich przeciążenia od prędkości posuwu kombajnu [1, 2].

W niniejszej pracy opisano możliwość wykorzystania charakterystyk eksploatacyjnych, przedstawiających zmienność parametrów charakteryzujących stan obciążenia kombajnu ścianowego wzdłuż długości ściany [3]. Mogą być one pomocne do ustalenia odcinków ściany, na których występują zwiększone opory urabiania. Do tego celu opracowano następujące charakterystyki eksploatacyjne kombajnu ścianowego, przedstawiające zmienność wzdłuż długości ściany następujących parametrów:

- obciążenie silników organów urabiających,
- rozkład prędkości posuwu kombajnu ścianowego,
- nierównomierność obciążenia organów urabiających,
- zastępczy wskaźnik energochłonności urabiania.

2. Charakterystyka obiektu badań

Na potrzeby analizy wykorzystano dane dotyczące parametrów pracy kombajnu ścianowego uzyskane

w ścianie X, o długości około 190 m i średniej wysokości 1,7 m, prowadzonej na głębokości 845÷883 m w pokładzie 405/1, w którym zalega węgiel koksowy typu 35,2A. Grubość pokładu waha się od 1,35 do 2,39 m, z przerostami łupka ilastego o grubości 0,27÷0,48 m. Nachylenie podłużne ściany wynosiło $6\div 11^\circ$, a poprzeczne $0\div 9^\circ$. Średnie wydobycie dobowe kształtowało się na poziomie 3000 t.

W stropie pokładu występowały: warstwa łupku ilastego, ciemnoszarego z pojedynczymi laminami węgla o grubości 0,05÷0,30 m; łupek piaszczysty, zwięzły o grubości około 5÷15 m; piaskowiec grubouławiczny, bardzo zwięzły o grubości 15÷35 m. W spągu pokładu występowała warstwa łupku ilastego, ciemnoszarego z pojedynczymi laminami węgla o grubości około 0,10 m; łupek ilasty, szary zwięzły z przerostami łupku piaszczystego o grubości powyżej 10 m i z wkładkami węgla 0,3÷0,45 m na głębokości około 5 m.

Wytrzymałość skał stropowych i spągowych w rejonie ściany wynosiła odpowiednio:

- skąły stropowe:
 - piaskowiec zwięzły (strop zasadniczy) $R_c = 56,3$ MPa,
 - łupek piaszczysty (strop zasadniczy) $R_c = 50$ MPa,
 - łupek ilasty (strop bezpośredni) $R_c = 20,4$ MPa,
- skąły spągowe:
 - łupek ilasty z laminami węgla (spąg bezpośredni) $R_c = 32,5$ MPa,
 - łupek ilasty z przerostami łupku piaszczystego (spąg zasadniczy) $R_c \sim 80$ MPa.

Pokład ten zalicza się do IV kategorii zagrożenia metanowego i do klasy B wybuchu pyłami węglowymi.

W ścianie zastosowano kombajn ścianowy KSW-880E, sekcje obudowy zmechanizowanej typu Fazos-12/32-POz i Fazos-12/32-POz/BSN oraz przenośnik zgrzeblowy Rybnik-850. Dodatkowo zastosowano urządzenia stabilizujące typu PZS.

Kombajn ścianowy wyposażony był w system sterowania i kontroli, który pozwalał na rejestrację następujących parametrów pracy:

- położenie kombajnu w ścianie,
- prędkość posuwu kombajnu,
- natężenie prądu pobieranego przez silnik lewego organu urabiającego,
- natężenie prądu pobieranego przez silnik prawego organu urabiającego,
- natężenie prądu pobieranego przez silniki ciągnika,
- ciśnienie w hydraulicznym układzie sterowania.

3. Analiza stanu obciążenia kombajnu przy obu zwrotach urabiania

Warunkiem osiągnięcia celu, zdefiniowanego jako identyfikacja zmiany warunków eksploatacyjnych w przodku, było uzyskanie przebiegów czasowych parametrów pracy kombajnu pozwalających na analizę obciążenia silników kombajnu ścianowego w danej ścianie, w trakcie kilku przejazdów przy ruchu zgodnym i przeciwnym do zwrotu odstawy.

W oparciu o te przebiegi dla obu zwrotów urabiania opracowano następujące charakterystyki eksploatacyjne kombajnu ścianowego KSW-880E:

- zależność wartości średniej natężenia prądu pobieranego przez poszczególne silniki napędzające organy urabiające oraz zakres jego zmienności w stosunku do położenia kombajnu w ścianie,
- rozkład prędkości posuwu kombajnu wzdłuż długości ściany,
- zmienność nierównomierności obciążenia organów urabiających wzdłuż długości ściany,
- rozkład zastępczego wskaźnika energochłonności procesu urabiania.

Wartości analizowanych parametrów i wskaźników wyznaczono następująco. Wartości średnie: natężenie prądu pobieranego przez silniki i prędkość odpowiadające danemu położeniu kombajnu w ścianie wyznaczono jako średnią arytmetyczną wszystkich wartości określonego parametru zarejestrowanych przy danym położeniu kombajnu w trakcie analizowanego okresu. Natomiast zakres zmienności był wyznaczony przez wartości maksymalne i minimalne tego parametru w czasie objętym analizą przy danym położeniu kombajnu.

Wyznacznikiem nierównomierność obciążenia obu organów jest parametr opisany zależnością:

$$\Delta I = \frac{\bar{I}_t - \bar{I}_w}{\bar{I}_t}$$

gdzie:

\bar{I}_t – wartość średnia natężenia prądu pobieranego przez silnik organu tylnego,

\bar{I}_w – wartość średnia natężenia prądu pobieranego przez silnik organu wyprzedzającego.

W oparciu o uzyskane dane, wartość zastępczego wskaźnika energochłonności procesu urabiania wyznaczono z następującej zależności:

$$Ei = \frac{\bar{I}_w + \bar{I}_t + \bar{I}_c}{V}$$

gdzie:

\bar{I}_w – wartość średnia prądu pobranego przez organ wyprzedzający,

\bar{I}_t – wartość średnia prądu pobranego przez organ tylny,

\bar{I}_c – wartość średnia prądu pobranego przez ciągniki kombajnu,

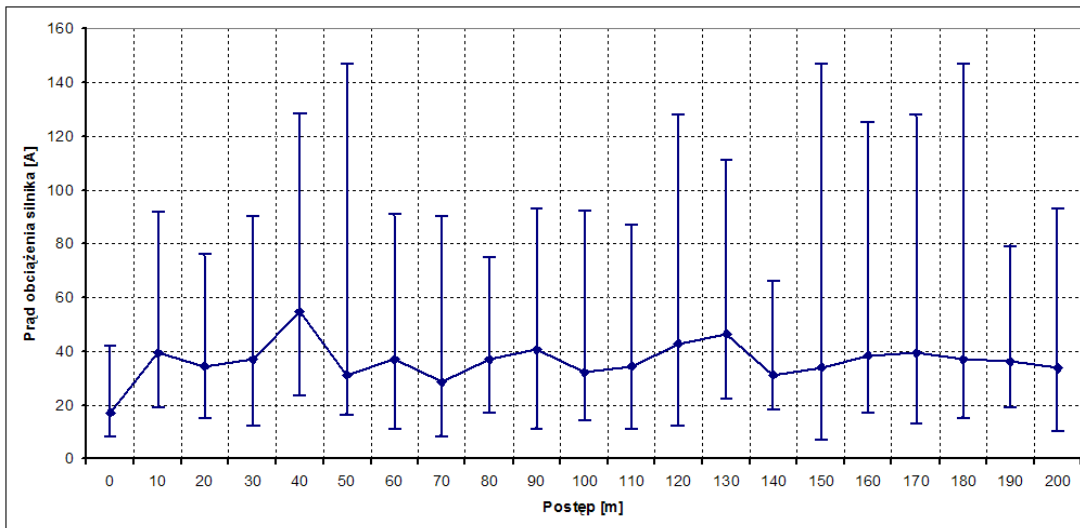
V – wartość średnia prędkości posuwu kombajnu.

3.1. Zwrot zgodny ze zwrotem odstawy

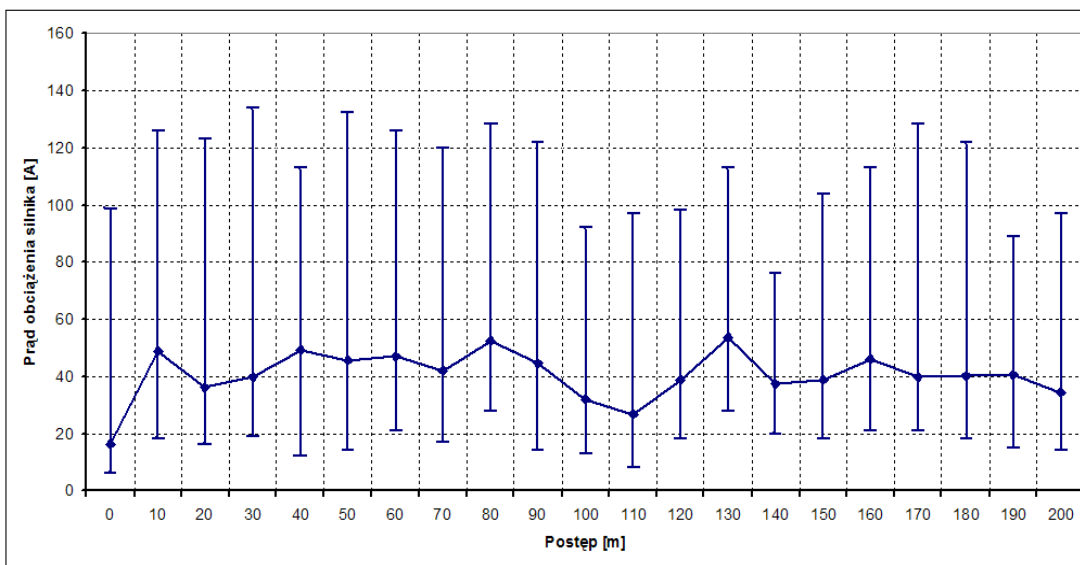
Analiza charakterystyk eksploatacyjnych kombajnu (rys. 1 do 3) wykazała, że na obciążenie organu urabiającego znaczący wpływ ma proces ładowania. Wynika to z faktu, że organ wyprzedzający był o około 5-10% mniej obciążony niż organ tylny, ładujący większą ilość urobku.

Drugim czynnikiem powodującym większe obciążenie organu tylnego była przybierka warstwy spągu. Znajduje to odzwierciedlenie także przy porównaniu wartości maksymalnych. Należy zaznaczyć, że kombajn przy ruchu zgodnym ze zwrotem odstawy poruszał się w dół ściany, co przy występowaniu nachylenia podłużnego zmniejszyło opory ruchu, lecz wpływało również znacząco na przebieg ładowania urobku. Wynika to z faktu, że odspojony od calizny urobek gromadzi się wówczas pod wpływem działania siły ciężkości w strefie kontaktu noży z urabianą calizną. Utrudnia to zarówno proces urabiania, jak i ładowania, a ponadto powoduje wykonanie dodatkowej pracy związanej z rozdrabnianiem urobku.

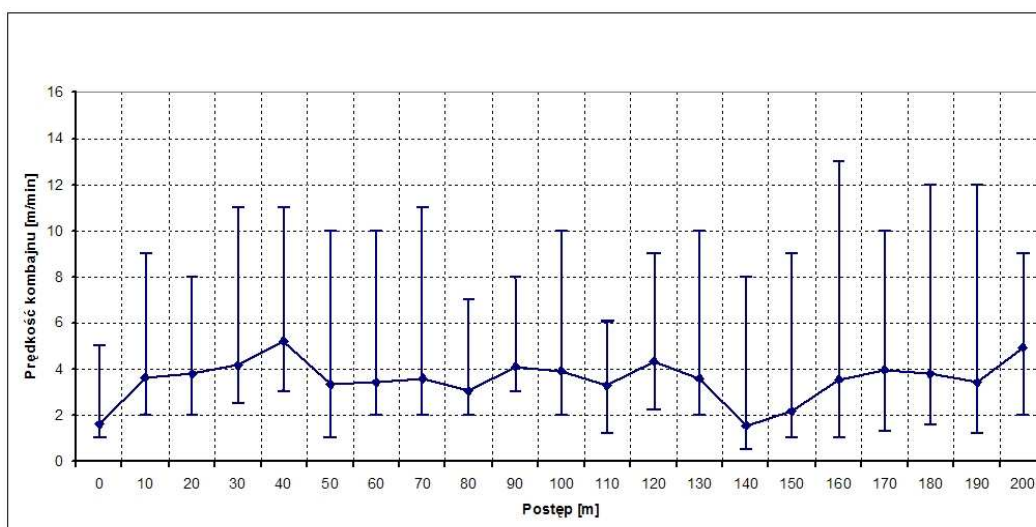
Średnie obciążenie silnika organu tylnego kształtowało się na poziomie 30÷50% wartości prądu znamionowego (rys. 2). Mniej obciążony silnik wyprzedzający pobierał prąd na poziomie 30÷45% prądu znamionowego (rys. 1). Co prawda węgiel w tej partii pokładu 405/1 był węglem łatwo urabialnym, jednak zawierał przerosty w postaci łupku ilastego i piaszczystego o miąższości dochodzącej do 0,48 m, co znacząco wpływało na obciążenie organów.



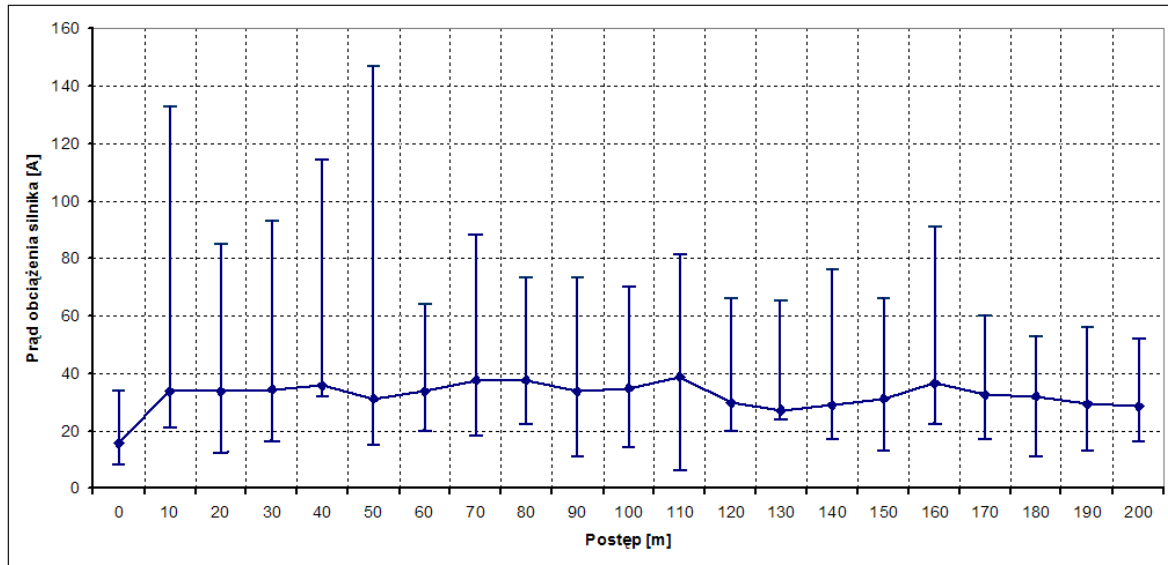
Rys.1. Obciążenie silnika organu wyprzedzającego dla ruchu zgodnego [3]



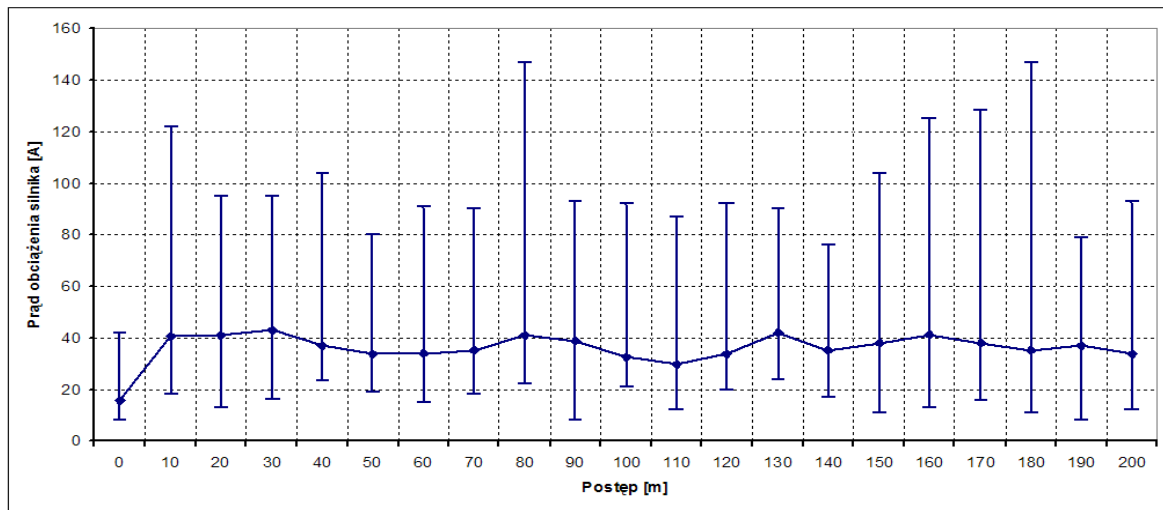
Rys.2. Obciążenie silnika organu tylnego dla ruchu zgodnego [3]



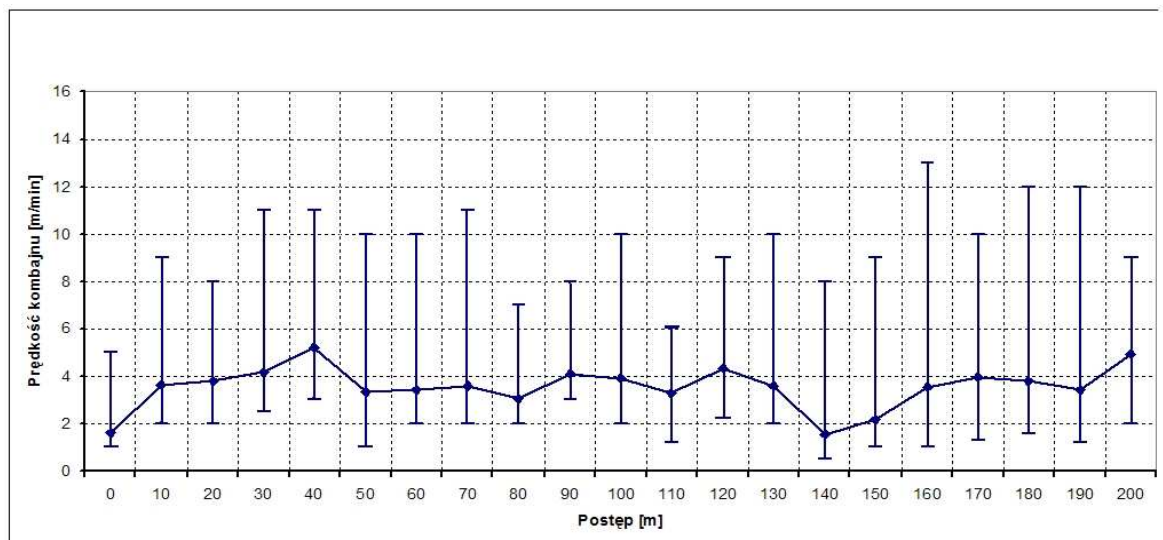
Rys.3. Rozkład prędkości posuwu dla kierunku zgodnego [3]



Rys.4. Obciążenie silnika organu wyprzedzającego dla ruchu przeciwnego [3]



Rys.5. Obciążenie silnika organu tylnego dla ruchu przeciwnego [3]



Rys.6. Rozkład prędkości posuwu dla kierunku przeciwnego [3]

Wartości maksymalne natężenia prądu zarejestrowane dla obu organów nie są znaczące, gdyż w najlepszym przypadku oscylują w granicach 90÷100% wartości znamionowych, a w granicznym przypadku przekraczają 150% wartości prądu znamionowego silników wykorzystanych do napędu organów. Przeciążenie silników organów urabiających powodowało tylko sporadyczne zadziałanie automatycznego regulatora prędkości posuwu.

Z analizy wynika, że ograniczenie prędkości kombajnu występowało wskutek przeciążenia organu wyprzedzającego w okolicach 40-50 m oraz 150-180 m długości ściany (rys. 3).

Na tych odcinkach występowało największe przeciążenie oraz zanotowano największe wartości średniego natężenia prądu, które wahały się w granicach 50÷60% wartości prądu znamionowego silników. Potwierdza to także rozkład prędkości wzdłuż długości ściany (rys. 3), gdyż w tych miejscach następowało zmniejszenie prędkości urabiania do około 3 m/min dla odcinka pomiędzy 40 a 60 metrem, a nawet do 1 m/min dla odcinka pomiędzy 120 a 150 m długości ściany.

Średnia wartość prędkości posuwu oscylowała wokół wartości 4 m/min, a największa wartość w granicach 6 m/min, co świadczy zarówno o dobrym doborze kombajnu, jak i parametrów organów urabiających do warunków eksploatacyjnych tego przodka.

3.2. Zwrot przeciwny ze zwrotem odstawy

Za sprawą przebiegu procesu ładowania urobku, przy zwrocie przeciwnym, organ tylny także był znacznie bardziej obciążony. W porównaniu z organem wyprzedzającym znacznie częściej występowało jego przeciążenie. W przypadku organu wyprzedzającego

(rys. 4) obciążenie średnie zmienia się w niewielkim zakresie i kształtuje się na poziomie 35% prądu znamionowego silnika.

Organ tylny (rys. 5) przybierał warstwę spągu, co powodowało, że obciążenie organu kształtowało się na poziomie 40% prądu znamionowego silnika. Częściej występowało również przeciążenie ponad wartość progową regulatora prędkości posuwu.

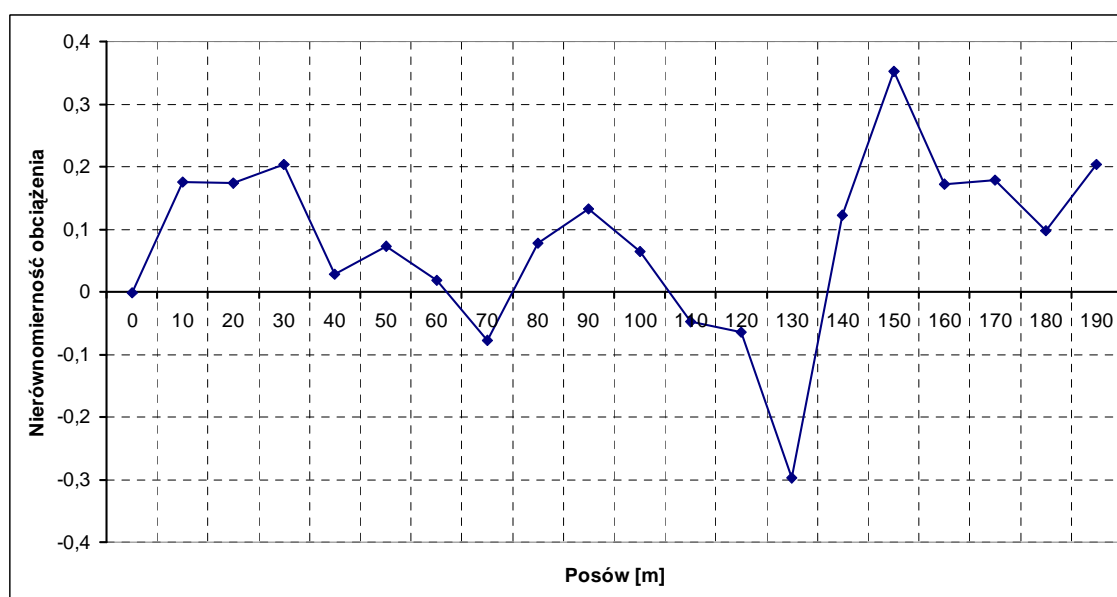
Na podstawie porównania charakterystyk dotyczących obciążenia obu organów urabiających, jak i rozkładu prędkości posuwu można również wyodrębnić odcinki, na których występowały większe opory urabiania. Największe obciążenie występowało pomiędzy 40 i 80 m oraz w okolicach 130-140 m długości ściany.

Spowodowane to było głównie występowaniem w tych miejscach przerostów. Liczne trudno urabialne przerosty oraz praca kombajnu po wzniosie spowodowała, że prędkość posuwu przy tym zwrocie urabiania była mniejsza w porównaniu ze zgodnym (rys. 6).

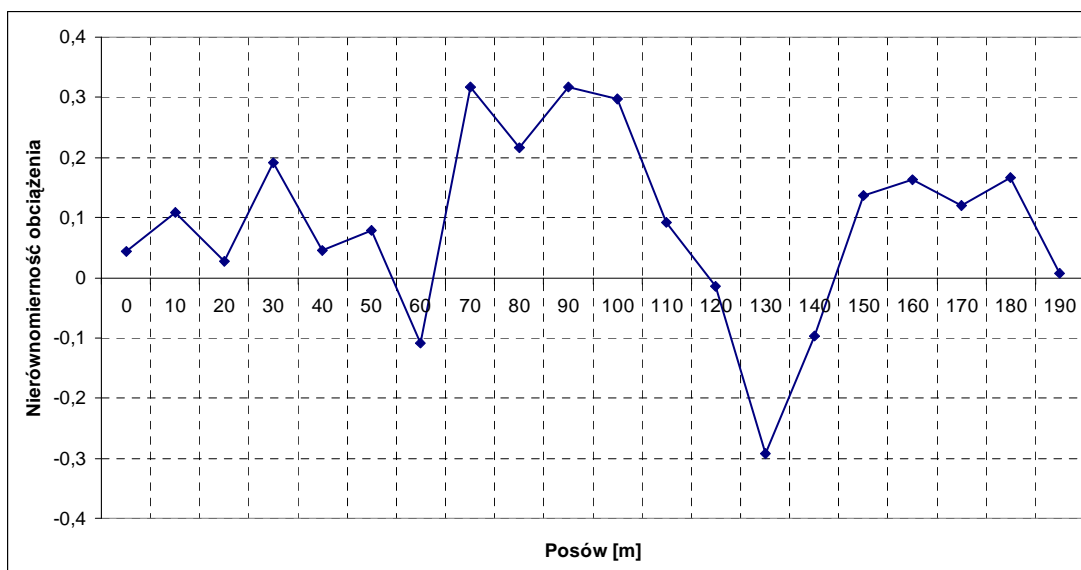
4. Nierównomierność obciążenia organów urabiających przy obu zwrotach urabiania

W dużej mierze na obciążenie obu organów urabiających wpłynęły warunki górniczo-geologiczne ściany, związane z występowaniem w urabianej warstwie licznych przerostów oraz przybierką spągu. Czynniki te przyczyniły się do zróżnicowania obciążenia obu organów.

Z dotychczas przeprowadzonych badań wynika, że mniejsze zróżnicowanie obciążenia organów urabiających sprzyja pełniejszemu wykorzystaniu mocy nominalnej kombajnu oraz jego teoretycznej wydajności [2].



Rys.7. Nierównomierność obciążenia organów urabiających przy ruchu zgodnym [3]



Rys.8. Nierównomierność obciążenia organów urabiających przy ruchu przeciwnym [3]

Na rysunkach 7 i 8 przedstawiono stopień zróżnicowania obciążenia organów urabiających, odpowiednio podczas urabiania zgodnego z ruchem odstawy i urabiania przeciwnego. Zwraca uwagę fakt, że prawie wzdłuż całej długości ściany występowało większe obciążenie organu tylnego, co wynikało z przebiegu procesu ładowania tym organem i z przybierki spągu. Organ wyprzedzający był bardziej obciążony jedynie w okolicach 60-70 m ściany i na odcinku pomiędzy 120÷150 m długości ściany, co było spowodowane występowaniem w tych miejscach przerostów.

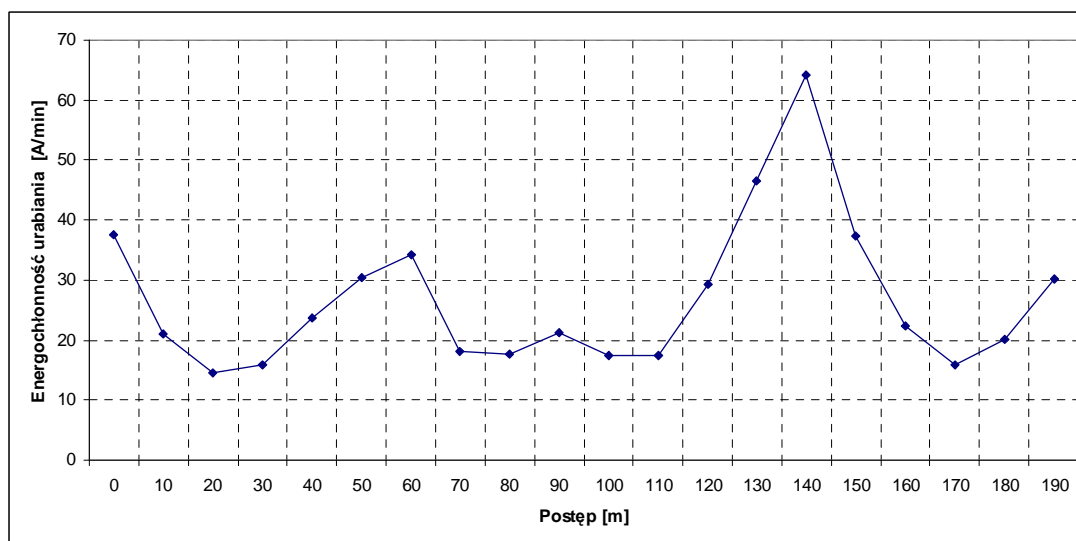
5. Zastępczy wskaźnik energochłonności procesu urabiania kombajnu

Analiza przeprowadzona w oparciu o dane uzyskane z układu monitorowania pozwala także na analizę energochłonności procesu urabiania. Ze względu na

złożoność procesu, w którym należy uwzględnić opory powstające w czasie urabiania calizny, ładowania urobku, oraz opory związane z posuwem kombajnu wzdłuż czoła ściany w analizie uwzględniono sumaryczną wartość prądu pobieranego przez silniki napędzające oba organy urabiające i ciągniki.

Zaproponowany zastępczy wskaźnik energochłonności urabiania przedstawiony w postaci charakterystyk (rys. 9 i 10), stanowi wyznacznik sumarycznej mocy pobranej przez kombajn w funkcji prędkości posuwu.

Podczas ruchu zgodnego uzyskano mniej niekorzystny rozkład prędkości posuwu, co sprawiło że przy zdecydowanie większym wydatku energii, szczególnie podczas urabiania odcinka pomiędzy 120 m a 150 m ściany uzyskano zwiększenie energochłonności procesu urabiania (rys. 9). Podobna sytuacja wystąpiła na odcinku pomiędzy 40 i 60 m, jednak ze względu na



Rys.9. Zastępczy wskaźnik energochłonności urabiania dla ruchu zgodnego [3]

uzyskiwaną większą prędkość posuwu energochłonność była mniejsza. Podczas ruchu zgodnego znaczący wpływ na energochłonność miał przebieg procesu ładowania. W wyniku poruszania się kombajnu w dół ściany następowało gromadzenie się odspojonego od calizny urobku w strefie kontaktu noży z urabianą calizną, co znacząco utrudniało przebieg tego procesu.

Na rysunku 10 przedstawiono zmienność energochłonności procesu urabiania dla ruchu przeciwnego. Podobnie, jak w poprzednim przypadku urabiania przy ruchu zgodnym, na odcinku pomiędzy 130 m i 150 m ściany energochłonność była wyraźnie większa. W porównaniu z urabianiem zgodnym przyrost ten był jednak mniejszy. Zmienność wskaźnika energochłonności wzdłuż długości ściany w tym przypadku była również znacznie mniejsza.

Z przedstawionych zależności (rys. 9 i 10) wynika, że wartość wskaźnika energochłonności procesu urabiania skał zależy głównie od własności urabianego węgla, a także od stanu obciążenia zewnętrznego kombajnu związanego ze zwrotem urabiania.

6. Podsumowanie

Zastosowana procedura badawcza, wykorzystująca informacje z systemu monitorowania, umożliwia otrzymanie bazy danych pomiarowych, niezbędnych dla przygotowania w pełni reprezentatywnych dla warunków konkretnej ściany charakterystyk eksploatacyjnych kombajnu. Uzyskane przebiegi obrazują obciążenie zewnętrzne kombajnu ścianowego, związane z warunkami górniczo-geologicznymi ściany.

Uzyskane charakterystyki, uwzględniające stan obciążenia zewnętrznego kombajnu wzdłuż długości ściany, pozwalają na określenie miejsc w ścianie, w których występuje większe obciążenie zewnętrzne kombajnu.

Analiza uzyskanych charakterystyk wykazała także, że stan obciążenia silników organów urabiających, wynika nie tylko z procesu urabiania, ale w znacznej mierze z przebiegu procesu ładowania urobku. Przy obu zwrotach urabiania organ urabiający był mniej obciążony od organu ładującego. Mniejsze zróżnicowanie obciążenia napędów organów urabiających powoduje pełniejsze wykorzystanie mocy nominalnej silników kombajnu, co zapewnia lepsze wykorzystanie potencjalnych możliwości technicznych kombajnu.

Literatura

1. Jaszczuk M.: Ścianowe systemy mechanizacyjne. Wydawnictwo Naukowe „Śląsk”, Katowice 2007.
2. Jaszczuk M.: Wpływ stanu obciążenia kombajnu ścianowego dużej mocy na możliwość uzyskania wysokiej koncentracji wydobycia. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej Górnictwo z. 240, Gliwice 1999.
3. Kotorc R.: Analiza obciążenia napędów kombajnu ścianowego, na podstawie sygnałów pomiarowych rejestrowanych przez układ monitorowania. Praca dyplomowa inżynierska, Gliwice 2008 (praca nie publikowana).

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

Dr inż. Dariusz PROSTAŃSKI
Mgr inż. Dominik BAŁAGA
Mgr inż. Piotr ROJEK
Mgr inż. Janusz SEDLACZEK
Centrum Mechanizacji Górnictwa KOMAG

Zraszanie powietrzno-wodne jako nowa metoda zwalczania zagrożeń pyłowych i metanowych w polskich kombajnach górniczych

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

W artykule omówiono w skrócie znane zagraniczne rozwiązania zraszania powietrzno-wodnego z wykorzystaniem sprężonego powietrza, przeznaczone do kombajnów górniczych. Następnie przedstawiono najnowsze oryginalne opracowania tego typu zrealizowane w CMG KOMAG. Przewidziane są one do zwalczania zagrożeń metanowych i pyłowych w polskich kombajnach ścianowych i chodnikowych. Podano przebieg i wyniki badań tych rozwiązań oraz aktualny stan ich wdrożenia.

S u m m a r y

Already known foreign solutions of air-and-water spraying with the use of compressed air, which are developed for longwall shearers and roadheaders, were shortly discussed in the paper. Then the newest original developments, which were realized at the KOMAG Mining Mechanization Centre, were presented. They are designed for fighting against methane and dust hazards in workings mined by longwall shearers and roadheaders. The process and results of these solutions as well as present state of their implementation were given.

1. Wstęp

Zalety zraszania powietrzno-wodnego, z wykorzystaniem sprężonego powietrza, stanowiły inspirację do podjęcia prac nad jego wdrożeniem do instalacji zwalczających zagrożenia pyłowe i metanowe w górniczych kombajnach ścianowych i chodnikowych. Wykorzystanie w instalacji zraszającej, oprócz wody (pod niewielkim ciśnieniem), sprężonego powietrza pozwala na znaczące obniżenie ilości wody zużywanej do zraszania oraz zapewnia bardzo dobre i równomierne rozdrobnienie kropeł wody w strumieniach powietrzno-wodnych rozpylanych przez dysze. Prowadzi to do zmniejszenia ilości wody w urobku oraz poprawy komfortu pracy przez obniżenie poziomu wilgotności oraz poprawę wentylacji w wyrobisku.

W systemach tych wykorzystywane są, zarówno dysze standardowe zasilane wcześniej wytworzoną w odpowiednich mieszalnikach mieszaniną powietrzno-wodną, jak i specjalnie opracowane dysze dwuczynnikowe, w których mieszanie czynników wody i sprężonego powietrza następuje dopiero wewnątrz dysz. Badania i obserwacje wskazują jednoznacznie, że zdecydowanie korzystniejsze parametry strumienia powietrzno-wodnego osiągnęte są przy zastosowaniu dysz dwuczynnikowych.

W CMG KOMAG od kilku lat realizowane są prace naukowo-badawcze i wdrożeniowe zmierzające do zastosowania instalacji powietrzno-wodnej do kombajnów ścianowych i chodnikowych, jako środka zapobiegającego zagrożeniom pyłowym i metanowym powstającym w procesie urabiania tymi maszynami.

2. Przegląd rozwiązań zagranicznych

Literatura fachowa podaje, że rozwiązania instalacji powietrzno-wodnych z wykorzystaniem sprężonego powietrza opracowano dla wielu typów radzieckich kombajnów ścianowych. Również z powodzeniem instalacje powietrzno-wodne z wykorzystaniem sprężonego powietrza zastosowano w kombajnach chodnikowych pracujących w kopalniach niemieckich, gdzie przyczyniły się one do znacznego ograniczenia zagrożeń wynikających z niebezpieczeństwa zapłonu i wybuchu metanu. Podobne rozwiązania dla kombajnów chodnikowych opracowano również w dawnym Związku Radzieckim.

2.1. Rozwiązania dla kombajnów ścianowych

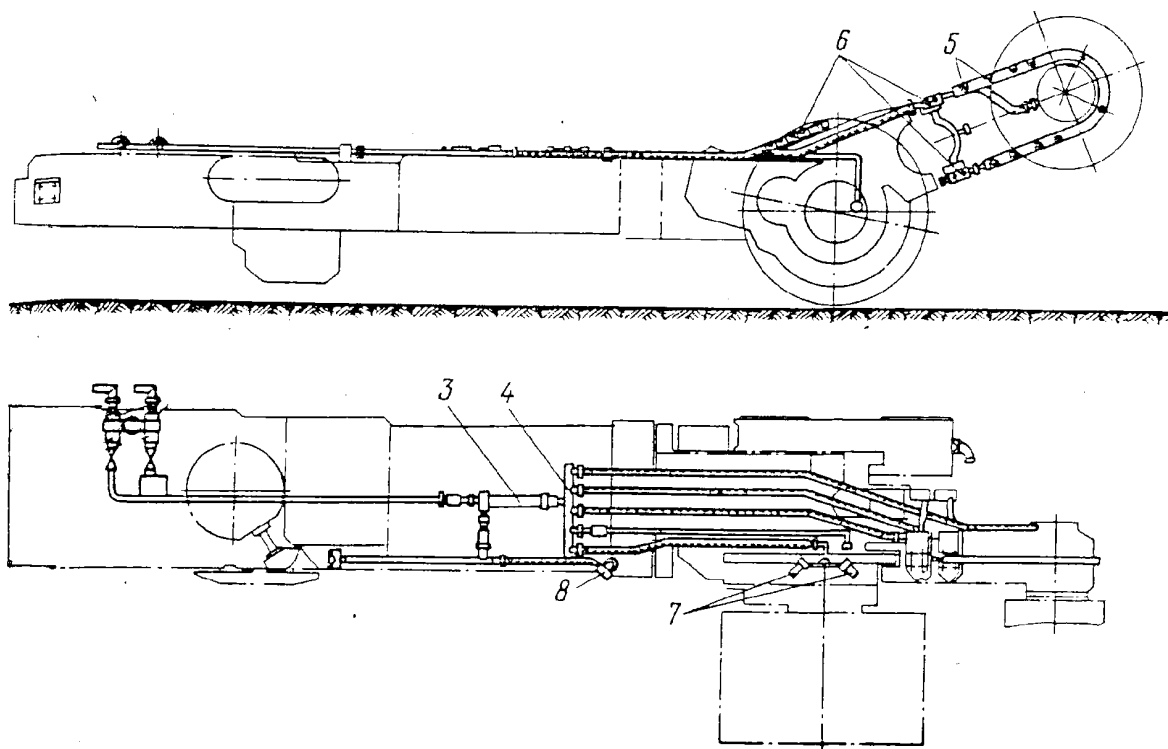
Rozwiązania instalacji powietrzno-wodnych z wykorzystaniem sprężonego powietrza, opracowane dla kilku typów ścianowych kombajnów radzieckich polegają na tym, że do mieszalnika znajdującego się na korpusie maszyny doprowadzone są oddzielnymi przewodami woda pod ciśnieniem i sprężone powietrze [5]. Czynniki te po wymieszaniu doprowadzane są w postaci mieszaniny powietrzno-wodnej do dysz zraszających umieszczonych tylko na korpusie i ramieniu kombajnu (kombajn typu 2K-52, rys. 1) lub także na organach urabiających (kombajny typu KSz-1KG i KSz-3M). Każdorazowo dysze instalacji zewnętrznej rozlokowane na korpusie i ramionach są tak usytuowane, że zraszają obszar organów urabiających. Zużycie wody, w zależności od rodzaju rozwiązania i typu kom-

bajnu, waha się od 50 do 120 dm³/min, zaś zużycie powietrza od 2,0 do 4,0 m³/min. Ciśnienie wody i powietrza waha się w granicach od 4,0 do 8,0 bar. Niestety nie ma informacji o wdrożeniu i wynikach pracy tych instalacji.

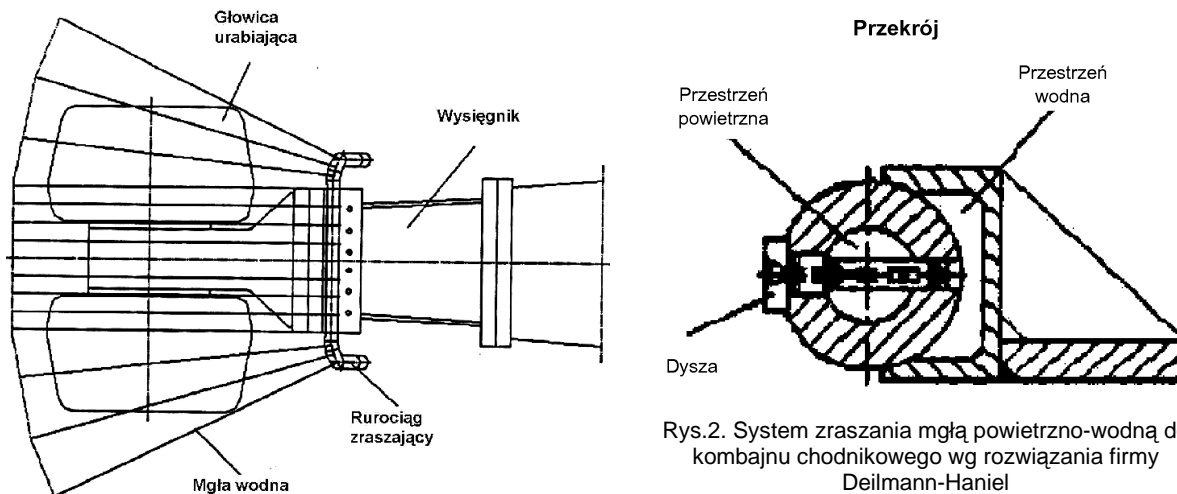
2.2. Rozwiązania dla kombajnów chodnikowych

W ostatnich latach w górnictwie niemieckim zastosowano skuteczną metodę zwalczania zagrożeń metanowych w kombajnach drążących wyrobiska chodnikowe. Opracowana została ona przez firmę DEILMANN-HANIEL [6] i polega na dostarczeniu oddzielnie pod niewysokim ciśnieniem (kilku bar) wody i sprężonego powietrza do dwukomorowego kolektora

obejmującego wysięgnik zmiany położenia organu urabiającego (rys. 2). W kolektorze umieszczone są dysze zraszające, w których mieszane są doprowadzone do nich oba czynniki. Powstała w wyniku tego mgła powietrzno-wodna skutecznie gasi iskry (jak wykazały testy na specjalnie zbudowanym stanowisku [3]) powstające w wyniku urabiania, zapobiegając zapłonom metanu, a także rozrzedza nagromadzony metan w obszarze organu urabiającego, dzięki silnemu nadmuchiwi mieszaniny powietrzno-wodnej. Rozwiązanie to charakteryzuje się bardzo niskim zużyciem wody około 1 dm³ na dyszę, sumaryczna ilość wody do 35 dm³/min. Firma Sandvik zdecydowała się na inne rozwiązanie konstrukcyjne, w którym zraszające strumienie



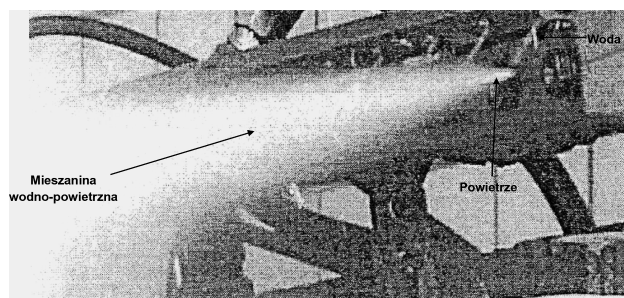
Rys.1. Instalacja zraszająca powietrzno-wodna przeznaczona dla radzieckiego kombajnu ściannowego typu 2K-52
3 – mieszalnik wody i sprężonego powietrza, 4 – rozdzielacz, 5, 6, 7, 8 – dysze zraszające



Rys.2. System zraszania mgłą powietrzno-wodną do kombajnu chodnikowego wg rozwiązania firmy Deilmann-Haniel

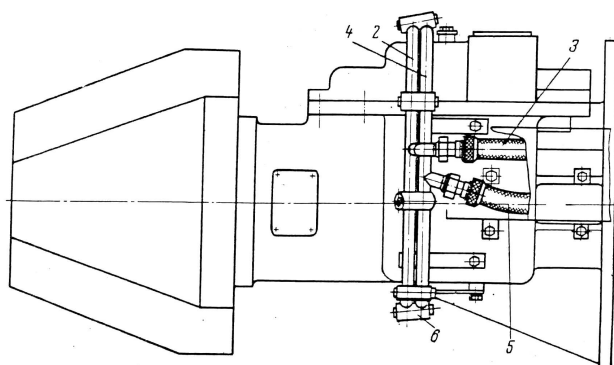
powietrzno-wodne są wytwarzane w wyniku wtrysku strumieni wodnych do strumieni sprężonego powietrza wyrzucanych z odrębnych dysz.

Podane powyżej rozwiązanie, wprowadziła firma Sandvik do swojego VAB-Jetrohr System [1], gdzie tak utworzone strumienie mieszanki wody i sprężonego powietrza rozpylane są w kierunku organu urabiającego, z dysz umieszczonych w płaskiej baterii zabudowanej na górnej powierzchni wysięgnika kombajnu chodnikowego (rys. 3).



Rys.3. Zasada mieszania powietrza i wody w systemie VAB-Jetrohr

Wcześniej, podobne rozwiązanie do początkowej wersji systemu zraszania firmy DEILMANN-HANIEL, opracowano dla kombajnów chodnikowych w radzieckim Instytucie Wost. N.I.I. oddział w Karagandzie (rys. 4) [5, 6]. Również w tym rozwiązaniu woda i sprężone powietrze doprowadzane są oddzielnie, do dwururowego kolektora obejmującego wysięgnik organu urabiającego kombajnu chodnikowego. W kolektorze osadzone są dysze dwuczynnikowe, których strumienie mają za zadanie pokrycie strumieniem mgły wodnej obszar organu urabiającego. Zużycie wody dla tego rozwiązania w zależności od typu kombajnu wynosi 40 do 60 dm³/min., zaś zużycie powietrza waha się od 1,5 do 2,5 m³/min. Ciśnienie wody w granicach od 3,0 do 10 bar, a powietrza od 3,0 do 6,0 bar. Niestety brak jakichkolwiek informacji na temat skuteczności tego rozwiązania oraz wdrożenia.



Rys.4. Rozwiązanie powietrzno-wodnego zraszania dla kombajnu chodnikowego typu 4PP2

2 – kolektor wody, 3 – przewód wodny, 4 – kolektor sprężonego powietrza, 5 – przewód sprężonego powietrza, 6 – dwuczynnikowa dysza zraszająca

Inne rozwiązanie zastosowała w kombajnach chodnikowych niemiecka firma PAURAT [2]. Woda i powietrze sprężone doprowadzone są osobnymi przewodami do maszyny, a następnie odrębnymi kanałami do organu urabiającego, zaś tam nadal odrębnymi kanałami czynniki dostają się do uchwytów nożowych, w których umieszczone są dwuczynnikowe dysze zraszające. Mieszanie obu czynników następuje dopiero w dyszach. Rozwiązanie to jest niezwykle skomplikowane pod względem konstrukcyjnym, a tym samym wykonawczym (zwłaszcza dotyczy to konstrukcji i wykonawstwa uchwytów nożowych).

3. Nowe rozwiązania CMG KOMAG

W październiku 2003 r., w ramach działań własnych, a następnie projektu celowego realizowanego przez CMG KOMAG i JSW S.A, w KOMAG-u rozpoczęto realizację prac nad opracowaniem własnej koncepcji powietrzno-wodnych instalacji zraszających z wykorzystaniem sprężonego powietrza, z przeznaczeniem dla kombajnów górniczych. W pierwszej kolejności zajęto się rozwiązaniem tego zagadnienia dla kombajnów ścianowych, a następnie od marca 2007 r. przystąpiono do opracowania wersji dla kombajnów chodnikowych.

3.1. Rozwiązanie do kombajnów ścianowych

Istota rozwiązania opracowanej w CMG KOMAG powietrzno-wodnej instalacji [6] polega na zastosowaniu w kombajnie ścianowym dwu układów zraszania:

- zewnętrznego, zabudowanego na ramionach, wytwarzającego izolującą od otoczenia kurtynę wodną wokół każdego z organów urabiających kombajnu,
- wewnętrznego zraszającego wodnymi lub powietrzno-wodnymi strumieniami, wytryskującymi z dysz osadzonych w specjalnych osadach (lub uchwytach nożowych) rozmieszczonych na płatach tarczy ociosowej w organach tak, że realizowana jest metoda zraszania zanożowego (strumień zraszający podawany jest na tylną ściankę ostrza noża i na bruzdę jego skrawania).

W przypadku kombajnu typu KSW-460NE zraszanie zewnętrzne składa się z 9 dysz dwuczynnikowych (rys. 5) typu STK-2D [8] umieszczonych na każdym ramieniu, do których oddzielnie doprowadzane są woda i sprężone powietrze. Mieszanie czynników następuje dopiero w dyszach.

Natomiast, 40 dysz zraszania wewnętrznego typu G-243 (rys. 5), umieszczonych na każdym organie urabiającym zasilane jest wodą pod ciśnieniem lub mieszaniną powietrzno-wodną utworzoną wcześniej, jeszcze przed wprowadzeniem jej do ramienia, w przyporządkowanym do tej części układu, jednym z dwu mieszalników zabudowanych na kombajnie.



Rys.5. Usytuowanie dysz na ramieniu i organie kombajnu ścianowego typu KSW-460NE

Sumaryczne zużycie wody w systemie zraszania waha się w granicach 70÷100 l/min, całkowite zużycie sprężonego powietrza 3,0÷5,0m³/min przy ciśnieniu obydwu czynników w granicach 5,0÷5,5 bar.

Obydwa układy zraszania, zarówno lewego ramienia i organu oraz prawego ramienia i organu zasilane są wodą doprowadzaną z rurociągu p.poż. (poprzez zestaw filtracyjny) za pomocą pompy podnoszącej ciśnienie. Z pompy woda płynie do maszyny magistralą złożoną najpierw z przewodów 50 mm, a następnie w zastawkach przewodami 32 mm. Powietrze zaś doprowadzane jest do poszczególnych układów zraszania bezpośrednio z magistrali, najpierw o średnicy 50 mm, a w zastawkach o średnicy 32 mm, zasilanej sprężarką umieszczoną w chodniku przyścianowym. W ścianie, przed doprowadzeniem do maszyny, obydwie magistrale złożone z przewodów o średnicy 32 mm, ułożone są w układaku przewodów przemieszczającym się w zastawkach przenośnika ścianowego.

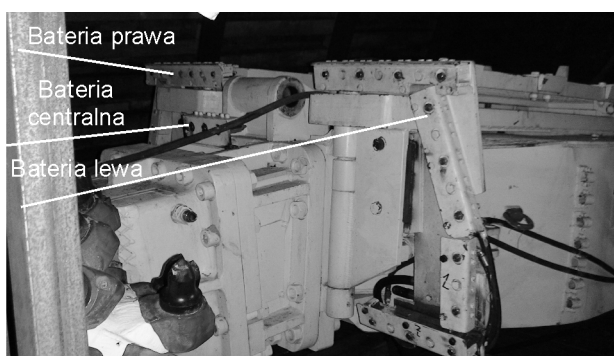
Powietrzno-wodna instalacja zraszająca może być zabudowana na kombajnie równolegle z typową instalacją wodną, co umożliwi korzystanie w zależności od potrzeb z wybranego wariantu systemu zraszania.

3.2. Rozwiązanie do kombajnów chodnikowych

Korzystne wyniki badań i pozytywne efekty pracy powietrzno-wodnej instalacji wodnej w zastosowaniu do kombajnu ścianowego, wzbudziły zainteresowanie tego rodzaju rozwiązaniem producenta kombajnów chodnikowych firmę REMAG S.A. Zaowocowało to nawiązaniem współpracy z CMG KOMAG, w wyniku czego opracowane zostało rozwiązanie do kombajnów chodnikowych typu R-200 i KR-150z.

Powietrzno-wodna kurtyna kombajnu chodnikowego jest zasilana wodą wykorzystywaną wcześniej w układzie chłodzenia, dzięki czemu w znaczący sposób zmniejszona zostaje ilość zużywanej wody zraszającej przez maszynę w granicach 50÷130 l/min [9].

Opracowane rozwiązanie to sprzężony z podestem zestaw osłoniętych baterii zraszających [9], który składa się z ośmiu baterii rozmieszczonych po cztery względem kombajnowego wysięgnika w układzie zbliżonym do zwróconych do siebie liter „C” (rys. 6). W sumie zestaw składa się z dwu baterii do zraszania górnej powierzchni organu, dwu baterii do zraszania dolnej powierzchni urabiającego organu oraz z dwu baterii usytuowanych z każdej ze stron wysięgnika do zraszania czołowych powierzchni organu. Dodatkowo między górnymi bateriami zastosowano 3 dysze osadzone na górnej powierzchni wysięgnika (rys. 6). Takie rozmieszczenie baterii powoduje, że zabudowane w nich dwuczynnikiemowe zraszające dysze swoimi strumieniami obejmują praktycznie cały obwód urabiającego organu stwarzając swoim działaniem szczelną powietrzno-wodną kurtynę, obejmującą i izolującą obszar pracy urabiającego organu. W każdej z baterii woda i sprężone powietrze przepływają niezależnymi kanałami aż do dysz, gdzie następuje wymieszanie czynników, a następnie wyrzucenie ich w formie rozpylonego aerozolu w kierunku organu urabiającego.



Rys.6. Widok na baterie zraszające sprzężone z pomostem kombajnu chodnikowego typu R-200

W rozlokowanych wokół wysięgnika bateriach znajduje się 27 dwuczynnikiemowych dysz zraszających typu STK-R [8], alternatywnie ilość dysz może być zwiększona do 43 sztuk.

Całkowite zużycie wody w instalacji zraszającej (dostarczanej z rurociągu p.poż.) wynosi 27÷43 l/min, zużycie sprężonego powietrza wynosi 2,0÷4,0 m³/min przy ciśnieniu obu czynników w granicach 5,0÷5,5 bar. Ilość zużywanych mediów zależy od liczby dysz.

4. Zakres przeprowadzonych prac badawczych i aktualny stan wdrożenia rozwiązań CMG KOMAG

Nowe koncepcje instalacji zraszających powietrzno-wodnych z wykorzystaniem sprężonego powietrza opracowane w CMG KOMAG, poddano wszechstronnym badaniom i testom celem sprawdzenia ich poprawności i skuteczności działania. Najpierw przeprowadzono je na powierzchni, również dla uzyskania podstaw dla

nadania certyfikatów producentom kombajnów wyposażonych w nowe instalacje. Później postanowiono je poddać próbom dołowym dla potwierdzenia przydatności tych rozwiązań w warunkach eksploatacyjnych.

4.1. Badania i wdrożenie powietrzno-wodnej instalacji zraszającej w kombajnach ścianowych

Wykonanie i wdrożenie nowej instalacji poprzedzone były bardzo szerokimi i wszechstronnymi testami i badaniami stanowiskowymi i dołowymi, które obejmowały [6]:

- symulacje komputerowe przewidywanych rozwiązań,
- badania stanowiskowe dwuczynnikowych dysz zraszających [8],
- badania stanowiskowe układu zraszania przy wykorzystaniu specjalnej makiety,
- próby stanowiskowe w CMG KOMAG doświadczalnego układu zraszania z ramienia RW-250MZ i z organu oraz dołowe kombajnu KSW-475 w kopalni „Bogdanka”,
- nowatorskie badania stanowiskowe skuteczności działania nowej koncepcji zraszania, w aspekcie gaszenia i zapobieganiu zapłonowi gazu.

Symulacje komputerowe przeprowadzone w CMG KOMAG miały na celu przede wszystkim określenie najkorzystniejszego rozmieszczenia dysz dwuczynnikowych na ramieniu kombajnowym, w aspekcie utworzenia kurtyny izolującej organ urabiający.

Badania i testy z wykorzystaniem makiety ramienia kombajnowego wraz z organem urabiającym, przeprowadzone także w CMG KOMAG, miały za zadanie potwierdzić słuszność wyboru dysz dwuczynnikowych, a także ich prawidłowość rozmieszczenia na ramieniu, zgodnie z przeprowadzoną wcześniej symulacją komputerową, ewentualnie wprowadzenie korekty w tym rozmieszczeniu.

Próby i badania oryginalnego ramienia kombajnu wraz z organem urabiającym, a następnie kombajnu w wyrobisku bez zagrożeń metanowych w LW „Bogdanka”, miały na celu pierwsze sprawdzenie działania nowej koncepcji instalacji powietrzno-wodnej zabudowanej na maszynie w warunkach dołowych.

Kolejne badania przeprowadzone zostały na specjalnie zbudowanym stanowisku badawczym w akredytowanym laboratorium KD „Barbara” [4], gdzie zabudowano ramię kombajnu KSW-460NE z organem urabiającym wyposażone w powietrzno-wodną instalację (rys. 7). Zespoły te były częścią kombajnu przewidzianego do pracy w KWK „Pniówek”. Badania te, nowatorskie w polskim górnictwie, miały na celu ocenę skuteczności działania tej instalacji pod kątem skuteczności gaszenia płomieni palącego się gazu oraz zapobiegania powstawania zapłonów gazu [4]. Wielokrotnie

przeprowadzone testy pokazały, że zastosowana instalacja jest zdolna natychmiast zgasić płomień zapalnego gazu, jak również nie dopuszcza do powstania zapłonu gazu podczas inicjowanych za pomocą główek zapalnych iskier w atmosferze wprowadzonego gazu (rys. 8).

Pozytywne wyniki podanych powyżej przeprowadzonych testów i badań powierzchniowych, ostatecznie zdecydowały o podjęciu decyzji o wdrożeniu do eksploatacji tego rozwiązania. Wprowadzono własne rozwiązanie dysz dwuczynnikowych, dostosowanych do pracy w trudnych warunkach dołowych.

Jako miejsce prób i badań eksploatacyjnych wytypowano ścianę nr W-9 w pokładzie nr 357/1 w KWK „Pniówek” [7], gdzie 14 sierpnia 2006 r. nastąpiło uruchomienie kombajnu typu KSW-460NE wyposażonego w nową instalację zraszającą (rys. 9).

Celem badań doświadczalnej powietrzno-wodnej instalacji zraszającej było:

- sprawdzenie prawidłowości przyjętych parametrów przepływowych wody i powietrza (ewentualnie ich korekta) w instalacji zabudowanej na kombajnie typu KSW-460NE, w warunkach eksploatacyjnych;
- sprawdzenie poprawności działania dwuczynnikowych dysz zraszających własnej konstrukcji;
- porównanie skuteczności w zwalczaniu zapylenia instalacji powietrzno-wodnej w stosunku do instalacji standardowej kombajnu typu KSW-460NE;
- określenie skuteczności działania powietrzno-wodnej instalacji w zwalczaniu zapylenia, przez pomiar występującego stężenia zapylenia w wyrobisku.

Dla instalacji zraszającej powietrzno-wodnej z zastosowaniem pompy wodnej typu ZW-50/8 i sprężarki typu PAS-75, które umieszczono w chodniku, zmierzono następujące parametry gwarantujące skuteczne działanie instalacji:

Ilość wody	70÷90 l/min
Ciśnienie wody	5,0 bar
Ilość powietrza	4,5÷2,5 m ³ /min
Ciśnienie powietrza	5,5 bar

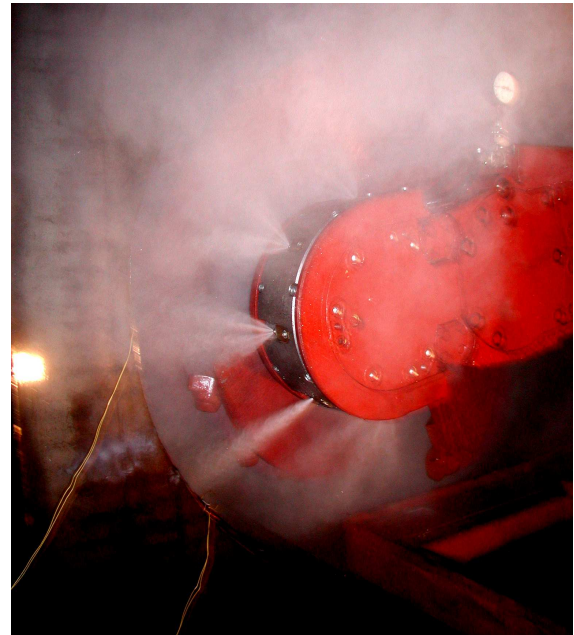
Dla instalacji zraszającej tylko wodnej zakresy zmierzonych parametrów wody wahały się:

Ilość wody	200÷225 l/min
Ciśnienie wody	28÷33 bar

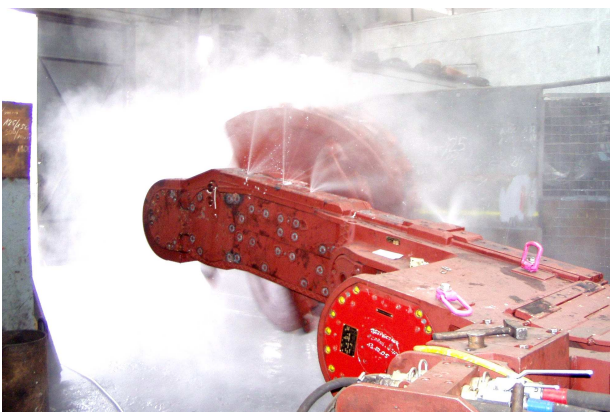
Przeprowadzone pierwsze badania eksploatacyjne (rys. 10), pokazały także, że system zraszania powietrzno-wodnego z wykorzystaniem sprężonego powietrza, może być porównywalny pod względem skuteczności zwalczania zapylenia, w stosunku do dotychczas stosowanego systemu wodnego. Natomiast, istotną zaletą nowego zraszania jest znaczące zmniejsze-



Rys.7. Ramię z instalacją zraszającą powietrzno-wodną i organem zabudowane na stanowisku badawczym w KD „Barbara”



Rys.8. Udana próba niedopuszczenia do powstania zapłonu od iskier zainicjowanych główkami zapalczymi



Rys.9. Próby działania instalacji powietrzno-wodnej kombajnu ścianowego typu KSW-460NE na powierzchni kopalni „Pniówek”



Rys.10. Zraszanie powietrzno-wodne z ramienia i organu urabiającego w czasie pracy kombajnu KSW-460NE w ścianie nr W-9 w KWK „Pniówek”



Rys.11. Próby działania kurtyny powietrzno-wodnej kombajnu chodnikowego typu R-200 na stanowisku REMAG-u



Rys.12. Wysięgnik z zabudowanymi bateriami zraszającymi kurtyny wraz z organem urabiającym, na stanowisku badawczym w KD „Barbara”

nie ilości zużywanej wody do zraszania, co ma niezwykle istotne pozytywne znaczenie w trakcie urabiania, a później w czasie transportu urobku, jak i w procesie wzbogacania węgla.

Po zakończeniu eksploatacji ściany W-9 kombajn ścianowy KSW-460NE został wytransportowany na powierzchnię, gdzie poddano go przeglądowi i dokonano modernizacji powietrzno-wodnej instalacji zraszającej. Modernizacja miała na celu uproszczenie instalacji na kombajnie, zamianę stosowanych czujników na mniej awaryjne oraz zmianę usytuowania na maszynie elementów kontroli i sterowania, zapewniając tym lepszy do nich dostęp.

Po modernizacji instalacji i przeglądzie kombajn wdrożono ponownie do eksploatacji w KWK „Pniówek” w ścianie nr W-10 [7]. W ścianie tej przeprowadzono również pomiary analogiczne jak w ścianie nr W-9.

W wyniku przeprowadzonych badań określono optymalne parametry wody i sprężonego powietrza w instalacji zraszającej, które wynosiły:

Całkowita ilość wody	100 l/min
Ciśnienie wody w dyszach na ramionach	5,0÷5,5 bar
Ciśnienie wody w dyszach na organach	15 bar
Całkowita ilość powietrza	2,0÷3,0 m ³ /min
Ciśnienie powietrza	5,0÷5,5 bar

Przeprowadzone pomiary zapylenia pokazały, że zastosowanie zmodernizowanej instalacji powietrzno-wodnej w ścianie nr W-10 przyniosło korzystniejsze rezultaty w stosunku do wyników uzyskanych w ścianie nr W-9. Osiągnięto tutaj blisko dwukrotnie mniejsze zapylenie na wylocie ze ściany w zakresie frakcji respirabilnej oraz trzykrotnie mniejsze w zakresie zapylenia całkowitego.

Praca instalacji powietrzno-wodnej w ścianach W-9 i W-10 potwierdziła również, że opracowane w CMG KOMAG własne konstrukcje dwuczynnikowych dysz zraszających w pełni zdają egzamin w warunkach eksploatacyjnych.

Po wybraniu ściany nr W-10 kombajn z instalacją powietrzno-wodną poddano kolejnemu przeglądowi na powierzchni, po którym rozpoczął on pracę w ścianie nr W-8 w tym samym pokładzie Kopalni „Pniówek”.

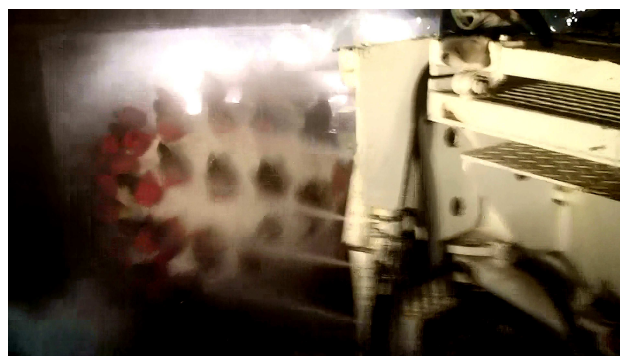
4.2. Próby i badania kurtyny powietrzno-wodnej do kombajnów chodnikowych

W miesiącach lipcu i sierpniu 2007 r. wykonano prototyp kurtyny powietrzno wodnej i zbudowano ją na kombajnie chodnikowym typu R-200. Następnie na stanowisku producenta przeprowadzono badania i testy stanowiskowe (rys. 11), które obejmowały próby zraszania przy założonych ciśnieniach wody – 5 bar

i sprężonego powietrza – 5,5 bar. Próby te potwierdziły znaczące zmniejszenie zużywanej do zraszania wody, uzyskano wymagany zasięg strumieni kurtyny, dobre pokrycie powierzchni organu urabiającego i właściwe rozdrobnienie kropeł strumieni powietrzno-wodnych [9].

Kombajn R-200 wyposażony w nową instalację zraszającą złożoną z powietrzno-wodnych baterii zraszających wyposażonych w dwuczynnikowe dysze typu STK-R [8], został pokazany na ekspozycji firmy REMAG S.A. podczas Międzynarodowych Targów Górnictwa, Przemysłu Energetycznego i Hutniczego KATOWICE 2007.

Nowe rozwiązanie przed wdrożeniem go w kopalni postanowiono poddać badaniom stanowiskowym, w aspekcie jego skuteczności działania w gaszeniu i zapobieganiu zapłonom gazu. Badania te przeprowadzone zostały na specjalnie zbudowanym stanowisku badawczym [10] w akredytowanym laboratorium KD „Barbara”, gdzie zabudowano wysięgnik kombajnu R-200 wyposażony w kurtynę powietrzno-wodną wraz z poprzecznym organem urabiającym (bez zraszania sektorowego) o wymiarach \varnothing 1000 x 1200 mm (rys. 12). Wielokrotnie przeprowadzone testy pokazały, że zastosowana kurtyna jest zdolna niemal natychmiast (do 5 s) zgasić płomień zapalonego gazu (rys. 13), jak również nie pozwala na powstanie zapłonu gazu podczas inicjowania iskier za pomocą główek zapalczyczych w atmosferze gazu wprowadzonego w obszar organu urabiającego niezależnie od miejsca źródła zapylenia.



Rys.13. Ugaszenie zapalonych płomieni gazu za pomocą powietrzno-wodnej kurtyny zraszającej

Przeprowadzone z pozytywnymi wynikami badania pozwoliły, w oparciu o wydaną przez KD „Barbara” opinię [10], na sformułowanie dla producenta kombajnu chodnikowego typu R-200 wyposażonego w badaną zraszającą kurtynę powietrzno-wodną, wniosków stanowiących podstawę do uzyskania certyfikatu dla takiej wersji kombajnu. Po uzyskaniu certyfikatu przewidywane jest wdrożenie kombajnu R-200 wyposażonego w kurtynę powietrzno-wodną w kopalni, gdzie

przeprowadzone zostaną badania pod kątem skuteczności tego rozwiązania w zwalczaniu zapylenia w drążonym przez kombajn wyrobisku chodnikowym.

5. Podsumowanie

Wykorzystanie w instalacji zraszającej sprężonego powietrza, oprócz wody pod ciśnieniem, zwłaszcza przy zastosowaniu dysz dwuczynnika, pozwala na znaczące obniżenie ilości wody zużywanej w instalacji oraz zapewnia bardzo dobre rozdrobnienie kropeł wody w strumieniach powietrzno-wodnych wyrzucanych przez dysze. Powyższe zalety decydują o bardziej efektywnym i skutecznym działaniu takich rozwiązań w porównaniu do zraszających instalacji wodnych. Tym samym przyczyniają się one do podwyższenia komfortu pracy załogi w wyrobisku, poprawy efektywności ochrony zdrowia górników i zwiększenia stopnia bezpieczeństwa pracy.

Przeprowadzony szeroki zakres badań i testów pozwolił na jednoznaczne sprecyzowanie wymaganych parametrów przepływowych czynników stosowanych dla uzyskania optymalnej skuteczności działania wytwarzanej mieszaniny powietrzno-wodnej.

Powietrzno-wodna instalacja zraszająca zabudowana na ramionach kombajnu ścianowego KSW-460NE pracującego w Kopalni „Pniówek” charakteryzowała się dużą niezawodnością działania. Przeprowadzone badania pokazały dobre wyniki w zwalczaniu zapylenia przy stosowaniu mieszaniny powietrzno-wodnej również w dyszach osadzonych na organach urabiających, przy czym wzrost ciśnienia wody w tych dyszach z 15 do 35 bar miał niewielki wpływ na wielkość występującego zapylenia. Wyższe ciśnienia zapewniają natomiast lepszą drożność tych dysz.

Stosowanie w instalacji zraszającej sprężonego powietrza o ciśnieniu około 5,5 bar zapewnia ponad dwukrotne zmniejszenie zużywanej ilości wody (z 200÷225 do 70÷90 l/min.) przy znaczącym obniżeniu zapylenia w wyrobisku ścianowym w porównaniu do typowego zraszania wodnego.

Uzyskane pozytywne wyniki badań stanowiskowych kurtyny powietrzno-wodnej w zastosowaniu do kombajnu chodnikowego typu R-200, również w aspekcie zwalczania zagrożeń gazowych, dają podstawę do zastosowania i sprawdzenia tego rozwiązania w warunkach eksploatacyjnych pod kątem jego skuteczności w zwalczaniu zagrożeń pyłowych. Zastosowanie kurtyny powietrzno-wodnej powoduje ponad dwukrotne zmniejszenie zużycia wody w systemie zraszania.

Wyniki tych badań uzasadniają również celowość prowadzenia dalszych prac konstrukcyjnych i wdrożeniowych nad zastosowaniem tego rozwiązania w innych typach produkowanych kombajnów chodnikowych zwłaszcza AM-50.

Zastosowanie nowo opracowanych w CMG KOMAG dwuczynnika dysz typu STK-2D, STK-Z [8] w nowej instalacji zraszającej kombajnu ścianowego oraz typu STK-R [8] w kurtynie powietrzno-wodnej kombajnu chodnikowego, potwierdziły skuteczność ich działania w zakresie zwalczania zagrożeń gazowych, a w przypadku dysz STK-2D także w zwalczaniu zapylenia.

Literatura

1. Gerer R.; Lammer E., Sifferlinger N., Wels F.: Bezpieczne maszyny górnicze firmy Voest Alpine Bergtechnik GMBH. Referat na konferencję CMG KOMAG pt. „Systemy ograniczające zagrożenia w procesach eksploatacji maszyn i urządzeń”. Zakopane, listopad 2005.
2. Jeschner E.: Poprawa bezpieczeństwa pracy w niemieckim górnictwie węgla kamiennego przez zastosowanie powietrzno-wodnego systemu zraszania firmy PAURAT. Referat na konferencję CMG KOMAG pt. „Nowoczesne metody drążenia wyrobisk korytarzowych z uwzględnieniem aspektów bezpieczeństwa pracy”. Szczyrk, maj 1996.
3. Krackhecke M., Finkenbusch R.: Wassernebelbedüsungungen für Querschneidköpfe und wettertechnische Optimierungen in TSM-Votrieben. Glückauf 138 nr 5, 2002.
4. Lebecki K., Prostański D., Sedlaczek J., Zellner E.: Wyniki pilotażowych badań nowej instalacji powietrzno-wodnego zraszania na kombajnach ścianowych, w aspekcie gaszenia i zapobiegania zapłonem gazu Przegląd Górniczy nr 7-8/2006. Lipiec-sierpień, 2006.
5. Ministerstwo Ugołnojj Promyszlennosti SSSR. – „Oborudowanie i pribory dla kompleksnowo obiepyliwanija ugołnych szacht, razriezow i obogatitielnych fabrik”. Katalog. Moskwa, 1979.
6. Pieczora E., Prostański D., Rojek P., Sedlaczek J.: Nowa koncepcja zraszania powietrzno-wodnego do zwalczania zapylenia i zagrożenia metanowego. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie – miesięcznik WUG nr 3. Marzec 2007.
7. Prostański D., Rojek P., Bałaga D., Wiśniarz D., Mentlik K.: Badania i ocena wdrożenia powietrzno-wodnej instalacji zraszającej kombajnu KSW-460NE. Referat na konferencję CMG KOMAG pt. „Innowacyjne i bezpieczne maszyny i urządzenia dla górnictwa węgla kamiennego”. Szczyrk, listopad 2007.

-
8. Prostański D., Rojek P., Sedlaczek J.: Nowe rozwiązania dysz zraszających dla górnictwa opracowane w CMG KOMAG. Referat na konferencję CMG KOMAG pt. „Innowacyjne i bezpieczne maszyny i urządzenia dla górnictwa węgla kamiennego”. Szczyrk, listopad 2007.
 9. Staniczek F., Trzęsimiech K., Puchała B., Prostański D., Rojek P., Bałaga D.: Kurtyna powietrzno-wodna kombajnu chodnikowego R-200. Referat na konferencję CMG KOMAG pt. „Innowacyjne i bezpieczne maszyny i urządzenia dla górnictwa węgla kamiennego”. Szczyrk, listopad 2007.
 10. Dokumentacja pracy badawczo-rozwojowej KD „Barbara” pt. „Badania i ocena skuteczności gaszenia i zapobiegania zapłonu gazu przy zastosowaniu kurtyny powietrzno-wodnej zabudowanej na ramieniu kombajnu chodnikowego R-200”. Praca nie publikowana. Mikołów, listopad 2007.

Artykuł wpłynął do redakcji w czerwcu 2008 r.

Recenzent: prof.dr hab.inż. Adam Klich

Dekompozycja w systemach sterowania zakładów przeróbki węgla kamiennego

Streszczenie

Nowoczesna technika dostarcza dla lokalnych i centralnych systemów sterowania nowych możliwości estymacji procesu. Do tego celu mogą służyć np. „wirtualne przyrządy pomiarowe” oparte na nowoczesnych rozwiązaniach softwarowych, posiadające dużą uniwersalność przy stosunkowo prostym sposobie tworzenia. Mogą one być bardzo przydatne w rozwiązywaniu zagadnień lokalnego sterowania i diagnostyki w węzłach technologicznych zakładów przeróbczych bez konieczności ingerencji w pracę centralnej sterowni.

Summary

State-of-the-art technology provides new possibilities as regards process estimation for local and central control systems. „Virtual measuring tools”, which are based on state-of-the-art software solutions and which are universal at relatively simple method of their manufacturing, can for example be used for this purpose. They can be very useful in solving the problems of local control and diagnostics in technological nodes of processing plants, without interfering in operation of central control room.

1. Systemy sterowania w zakładach przeróbki

Systemy wzbogacania węgla w zakładach przeróbczych charakteryzują się dużą złożonością zmiennych stanu procesu, dla których pełna automatyzacja jest trudna do realizacji. W ramach całego procesu można jednak wyróżnić procesy lokalne, które mają bezpośredni wpływ na funkcjonowanie ciągów technologicznych zakładów przeróbczych.

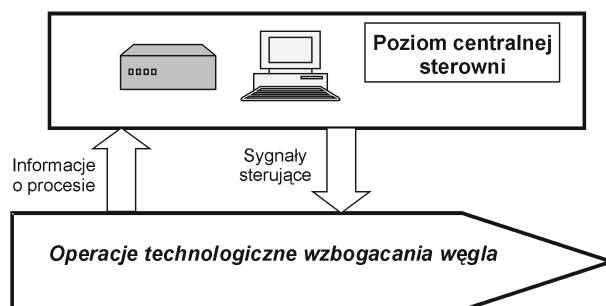
Nowoczesna technika dostarcza dla lokalnych i centralnych systemów sterowania nowych możliwości estymacji procesu. Do tego celu mogą służyć np. „wirtualne przyrządy pomiarowe” oparte na nowoczesnych rozwiązaniach softwarowych, posiadające dużą uniwersalność przy stosunkowo prostym sposobie tworzenia. Mogą one być bardzo przydatne w rozwiązywaniu zagadnień lokalnego sterowania i diagnostyki w węzłach technologicznych zakładów przeróbczych bez konieczności ingerencji w pracę centralnej sterowni [1].

W zakładach przeróbczych kopalń występuje duża złożoność całego procesu przeróbki. Jeżeli analizować całościowo proces wzbogacania węgla, gdzie użyte urządzenia wykonawcze muszą reagować na jakość węgla surowego, jego ilość, a także asortymenty produktu końcowego, to w takim przypadku, po podjęciu decyzji o automatyzacji, trzeba zastosować złożone oprogramowanie [1]. Można też podzielić automatyzację na etapy i wówczas w zależności od złożoności planowanych prac modernizacyjnych zastosować odpowiednie softwarowe systemy pomiarowe.

Rysunek 1 przedstawia uproszczony schemat sterowania w zakładach przeróbki węgla kamiennego.

Większość sygnałów kontrolnych i sterujących w istniejących systemach sterowania zakładów przerób-

czych jest doprowadzona do centralnej sterowni i tu odbywa się proces decyzyjny.



Rys.1. Podstawowy schemat sterowania zakładu przeróbczego

W standardowych procesach technologicznych zakładów przeróbki mechanicznej węgla nadawa jest przygotowywana poprzez klasyfikację urobku na klasy: 200-20(10) i 20(10)-0 mm.

Kolejną operacją jest wzbogacanie dwu lub trójproduktowe w cieczy ciężkiej nadawy o klasach: 200-20(10) mm. Po tej operacji następuje wzbogacanie w ośrodku wodnym (osadzarkach) klas o uziarnieniu 20(10)-0,5 lub 20(10)-6(3) mm.

W standardowych procesach technologicznych występują również operacje dotyczące obiegu wodno-mułowego odzysku wody i separacji części stałych oraz klasyfikacja końcowa (sortowanie) na sortymenty handlowe. Operacje te podlegają procesowi automatyzacji głównie na poziomie centralnej sterowni.

W układzie sterowania przedstawionym na rysunku 1 wprowadzanie zmian jest utrudnione, ponieważ w systemie centralnej sterowni występuje wiele współzależności i wprowadzenie zmian dla automatyzacji

jednego węzła technologicznego powoduje konieczność ingerencji w całość systemu, który ponadto musi działać w sposób ciągły, co utrudnia lub wręcz nie pozwala na dokonywanie prób. Ponadto ciągłe modernizowanie funkcjonujących, złożonych systemów jest niemożliwe.

Złożoność problemów jest często tak duża, że opracowanie zintegrowanego systemu optymalizacji dla całego procesu napotyka nieprzewidywane trudności, a mianowicie:

- zbyt duża czasochłonność opracowania algorytmów optymalizacji dla całego procesu,
- występowanie zmian w różnych fragmentach procesu (zmiany oprzyrządowania, zmiany urządzeń i technologii), powodujących zmiany algorytmu optymalizacji całego procesu,
- szybki wzrost zapotrzebowania na pamięć operacyjną ze wzrostem liczby zmiennych decyzyjnych,
- szybki wzrost czasochłonności realizacji algorytmów optymalizacji ze wzrostem liczby zmiennych decyzyjnych [3].

2. Dekompozycja sterowania

Rozczłonkowanie procesu podlegającego optymalizacji na szereg podprocesów i oddzielnej optymalizacji każdego z nich może znacznie zniekształcić pierwotny problem optymalizacji całego procesu. Przerwanie interakcji łączących poszczególne podprocesy i optymalizacja tak izolowanych podprocesów może doprowadzić do wyników dalekich od ogólnego optimum. W celu uzyskania ogólnego optimum konieczne jest wtedy zastosowanie nadrzędnego algorytmu zwanego często koordynatorem, którego zadaniem będzie takie oddziaływanie na algorytmy optymalizacji rozwiązujące problemy optymalizacyjne poszczególnych podprocesów i zwane algorytmami optymalizacji lokalnej, by algorytmy te, rozwiązując lokalne problemy optymalizacyjne, optymalizowały zarazem proces jako całość [3].

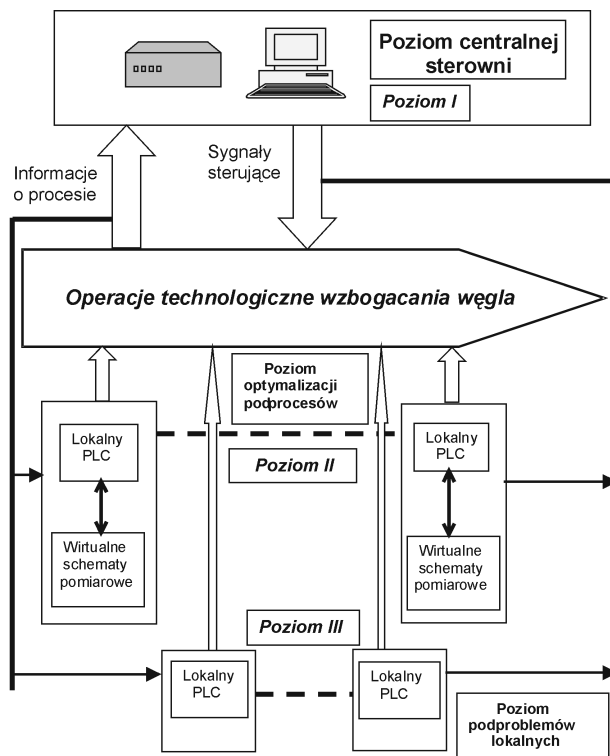
Aby uniknąć zastosowania koordynatora procesu w CMG KOMAG w celu wprowadzenia nowych rozwiązań, wynikających z szybkiego postępu w dziedzinie sterowania cyfrowego wprowadzono zasadę dekompozycji systemów sterowania na podsystemy lokalne tak, aby dekompozycja nie zmieniła istniejącej, podstawowej struktury sterowania oraz okablowania i sygnałów kontrolno-sterujących.

Istota tego rozwiązania została przedstawiona na rysunku 2.

2.1. Poziom podproblemów lokalnych

W przedstawionym na rysunku 2 poziomie podproblemów lokalnych wykorzystuje się nowoczesną

technikę do modernizacji istniejących węzłów technologicznych, aby likwidować np. wąskie gardła, blokujące proces technologiczny lub dostosowywać aktualną wydajność do aktualnego zapotrzebowania, oszczędzając w ten sposób energię i zmniejszając zużycie mechaniczne (np. wprowadzając przesiewacze w bieg jałowy przy braku nadawy).



Rys.2. Proponowana trzypoziomowa struktura sterowania zakładu przeróbki węgla

Przykładowo w układzie technologicznym zakładu przeróbki węgla, podczas automatycznego sterowania rozdziałem węgla w osadzarkach pulsacyjnych występują zmiany ilości produktu odpadowego, wynikające ze zmian charakterystyki nadawy lub założeń produkcyjnych. Wyżej wymieniony produkt odpadowy odprowadzany jest z osadzarek przy wykorzystaniu podajników kubekowych. Ich wydajność ogranicza możliwości produkcyjne zakładu przerobczego w sytuacji występowania w nadawie dostarczonej do osadzarek znacznych ilości frakcji odpadowych. Jeżeli dodatkowo obniżenie parametrów jakościowych nadawy ma zmienny charakter, uniemożliwiający operatorowi odpowiednio szybkie zareagowanie na przeciążenie poszczególnych urządzeń, to wzrasta prawdopodobieństwo ich awarii. Jest to typowe zagadnienie „wąskiego gardła”, które zostało rozwiązane na poziomie podproblemów lokalnych.

2.2. Poziom optymalizacji podprocesów

Poziom optymalizacji podprocesów jest zagadnieniem związanym z funkcjonowaniem poszczególnych węzłów technologicznych. Istnieje wiele metod identy-

fikacji i optymalizacji przydatnych na poziomie optymalizacji podprocesów. Są to np. metody algorytmu filtru Kalmana, metody programowania liniowego i dynamicznego.

Ogólnie, dla określenia algorytmów sterowania wymagana jest znajomość modelu matematycznego wiążącego sterowane, kontrolowane lub regulowane zmienne procesowe ze zmiennymi procesowymi wymuszającymi lub zakłócającymi.

Modele matematyczne w zależności od ich tworzenia możemy podzielić na:

- a. modele bazujące na pełnej znajomości mechanizmu zjawisk zachodzących w procesie,
- b. modele eksperymentalne otrzymane w wyniku przetwarzania statystycznego zmiennych procesowych zebranych podczas normalnej eksploatacji lub podczas specjalnie przygotowanych doświadczeń [2].

W naszym przypadku korzystne jest na tym poziomie maksymalne odtworzenie mechanizmu zjawisk zachodzących w procesie i do tego celu służą wirtualne schematy pomiarowe. Rozwój oprogramowania kart pomiarowych daje w chwili obecnej użytkownikowi takie możliwości, poprzez tworzenie własnych wirtualnych układów pomiarowych opartych na doświadczeniu pionów inżynierskich i przy wykorzystaniu zaawansowanych rozwiązań matematycznych, takich jak np. prowadzenie analizy FFT w czasie rzeczywistym i przeliczanie sygnałów pomiarowych według własnych założeń estymacji modelu [2].

Realizacja własnego, lokalnego i niezależnego od centralnego sterowania systemu posiadającego dużą uniwersalność pozwala na rozwiązywanie problemów związanych z przeciążeniami, na diagnozowanie przy użyciu analizy spektralnej dokonywanej w czasie rzeczywistym stanu łożysk napędów, stanu części ruchomych wirówek, a także pozwala na lokalne działania decyzyjne systemu, przy czym po uzyskaniu zadowalających wyników rozwiązywanego problemu, możemy lokalny system pomiarowo kontrolny włączyć do systemu nadrzędnego pracującego w dyspozytorni. Zaletą takich uniwersalnych „wirtualnych przyrządów pomiarowych” jest łatwość ich tworzenia, przy czym rozbudowana softwarowa biblioteka matematyczna nie stanowi ograniczeń dla końcowego sygnału wychodzącego z estymatora procesu [1].

Funkcję decyzyjną na tym poziomie pełni lokalny PLC. Jego zadaniem jest realizacja przy wykorzystaniu sygnałów z wirtualnych schematów pomiarowych połączenia ze sterowaniem nadrzędnym tak, aby nie zakłócać tego sterowania w czasie realizacji zadań optymalizacji podproblemów lokalnych. Inaczej mówiąc układ sterowania centralnej dyspozytorni „nie widzi” jakby działania lokalnego PLC, natomiast efektem jest

poprawa działania węzła technologicznego w ramach założonego dla tego węzła wskaźnika jakości, tak aby uzyskać maksymalną wartość tego wskaźnika.

3. Przewidywane efekty

W celu poprawy wyników ekonomicznych, a także zmniejszenia niekorzystnego oddziaływania na środowisko konieczne jest ciągle wprowadzanie nowych technologii. Technika pomiarowo-kontrolna i decyzyjna oparta na technice cyfrowej daje użytkownikom możliwości, które zmieniają typowe pojęcia inżynierskie na modelowanie środowiska. Dlatego ważna jest struktura systemów pozwalająca lub wręcz wymuszająca wprowadzanie nowości technicznych. Takim celom służy przedstawiona w artykule trypoziomowa struktura sterowania.

Jako podstawowe, doraźne efekty przewiduje się:

- eliminację „wąskich gardeł” procesów technologicznych,
- zmniejszenie zużycia energii poprzez optymalizację wydajności urządzeń,
- zmniejszenie zużycia mechanicznego urządzeń poprzez wprowadzenie biegów jałowych przy chwilowym braku przerabianego surowca,
- monitorowanie stanu mechanicznego istotnych elementów procesu przeróbki poprzez prowadzenie analizy widmowej w czasie rzeczywistym, przez co można przewidzieć z wyprzedzeniem zagrożenie awarią.

Jako dalsze efekty związane z rozbudową trypoziomowego systemu sterowania przewiduje się oddziaływanie na wskaźnik jakości podprocesów przeróbki poprzez budowę estymatorów lokalnych opartych na wirtualnych schematach pomiarowych i realizujących zaawansowane procesy decyzyjne na poziomie II, tak aby np. dostarczyć informację z wyprzedzeniem do urządzeń z poziomu III (rys. 2).

Literatura

1. Firczyk W., Korczyński J.: Wirtualne przyrządy pomiarowe dla celów węzłów technologicznych przeróbki węgla. KOMKO, Szczyrk, 2008, s. 121-125.
2. Firczyk W.: Model stanów dynamicznych w układzie napędowym podajników kubelkowych osadzarki pulsacyjnej w stanach przeciążenia. KOMKO, Szczyrk, 2008, s. 221-226.
3. Niederliński A.: Systemy cyfrowe automatyki przemysłowej. WNT, Warszawa 1977.

*Artykuł wpłynął do redakcji w czerwcu 2008 r.
Recenzent: prof.dr hab.inż. Aleksander Lutyński*

Wykorzystanie dodatkowego zawirowania zasysanej strugi do kształtowania charakterystyk pompy wirowej

Streszczenie

W pracy przedstawiono część wyników badań nad możliwością monitorowania kształtu charakterystyk przepływowo-energetycznych pompy wirowej poprzez aktywne oddziaływanie na zasysaną strugę określoną ilością cieczy odprowadzaną z obszaru tłoczego. Otrzymane rezultaty wskazują na możliwość zastosowania opisywanej metody do przeprowadzenia stałociśnieniowej regulacji wydajności pomp w polu pracy poniżej wydajności nominalnej, w którym pompa pracuje zazwyczaj przy niskich sprawnościach.

Summary

Part of results of tests on the possibility of monitoring the shape of flow-and-power characteristics of impeller pump, by active impacting on a sucked stream with determined amount of liquid taken from the pumping area, was presented in the paper. Obtained results show that there is a possibility of using a described method for conducting the constant-pressure regulation of pumps' efficiency in the field of operation below nominal efficiency, where the pump usually operates at low efficiency.

1. Wprowadzenie

Wysoki poziom technik projektowania pomp wirowych oraz nowoczesne technologie ich wytwarzania zapewniają wysoką sprawność tych maszyn. Rozwiązania konstrukcyjne nowoczesnych pomp nie pozostawiają zbyt szerokiego marginesu na dokonywanie istotnych zmian w geometrii elementów biorących bezpośredni udział w przekazywaniu energii i transporcie cieczy; oczekiwanie spektakularnego obniżenia energochłonności poprzez takie zabiegi wydaje się być mało prawdopodobne.

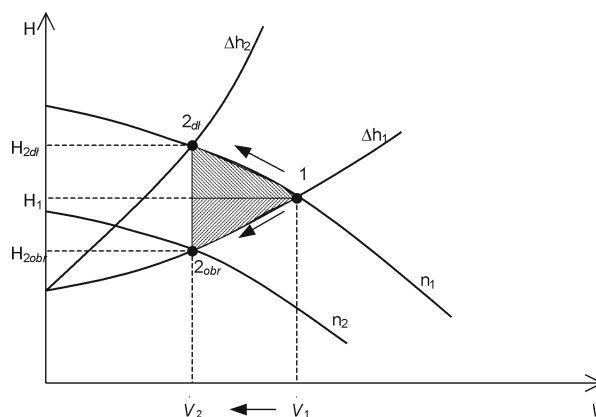
Zupełnie innym zagadnieniem pozostaje natomiast umiejętność odpowiedniego wykorzystywania możliwości pompy w jak najszerzym otoczeniu punktu pracy uważanego za optymalny, szczególnie, gdy charakterystyka sprawności jest stroma. W tym ujęciu ocena możliwości pompy, w sensie jej energooszczędności, powinna skłaniać do podejmowania działań, które – przy niezmienniej konstrukcji maszyny – pozwolą na możliwie proste i tanie uzyskiwanie poprawy bilansu energetycznego oraz jakości pracy.

2. Wstęp

Przez regulację pompy wirowej rozumie się zazwyczaj zmianę tylko jednego z jej podstawowych parametrów przepływowych, a mianowicie wydajności. Innymi słowy, pompę reguluje się wówczas, gdy jej wydajność nie odpowiada bieżącym potrzebom. Równoczesną zmianę drugiego parametru pracy pompy, którym jest wysokość podnoszenia, traktuje się zazwy-

czaj jako zdarzenie drugorzędne. Wiadomo jednak, że w zależności od kształtu krzywej dławienia, od proporcji pomiędzy statyczną, a dynamiczną wysokością podnoszenia oraz od stosowanej metody regulacji, zmiany ciśnienia mogą być znaczące. Na przykład: zmniejszeniu wydajności pompy poprzez obniżenie jej obrotów towarzyszy równoczesne zmniejszenie ciśnienia (rys. 1), natomiast uzyskanie tego samego efektu za pomocą dławienia strugi w przewodzie tłocznym skutkuje wzrostem ciśnienia.

Zastosowanie którejkolwiek z wymienionych metod regulacji wydajności powoduje więc zmianę wysokości podnoszenia, co może być niekorzystne w sytuacji, gdy pompa ma za zadanie zapewnić stałe ciśnienie w układzie niezależnie od wydajności.



Rys.1. Porównanie metod regulacji pompy wirowej: poprzez dławienie (indeks *dł*) oraz przez zmianę ilości obrotów (indeks *obr*)

3. Cel badań

W pracy przedstawiono wstępne wyniki badań¹ nad możliwością takiego oddziaływania na kształt pola prądu zasysanej strugi, które zapewniłoby zmianę wydajności pompy przy zachowaniu stałej wysokości podnoszenia.

4. Opis badań

Badania przeprowadzono na stanowisku pomiarowym w Katedrze Maszyn i Urządzeń Energetycznych Akademii Górniczo-Hutniczej. Obiektem badań była pompa wirowa firmy Grundfos. Wyposażenie stanowiska umożliwiło wyznaczanie podstawowych charakterystyk przepływowo-energetycznych oraz wytwarzanie dodatkowego krętu zasysanej cieczy za pomocą urządzenia prerotacyjnego. Urządzenie to, w postaci specjalnej przystawki, umożliwiło styczne doprowadzenie części strumienia tłoczego do końcowego odcinka przewodu ssawnego pompy.

Poszczególne serie pomiarów zostały przeprowadzone dla następujących parametrów badań:

- wartość dodatkowego strumienia prerotacyjnego,
- usytuowanie przekroju, w którym dokonywano iniekcji,
- zwrot dodatkowego krętu.

Badania dotyczą pracy pompy przy znamionowej ilości obrotów.

Względną wartość strumienia wytwarzającego dodatkowy kręt zasysanej cieczy zmieniano w granicach (2÷10)% wydajności pompy.

Konstrukcja przystawki umożliwiła wprowadzenie strumienia tworzącego dodatkowy kręt przez trzy przekroje odległe od siebie o odcinek równy około 1/3 wewnętrznej średnicy rury ssawnej.

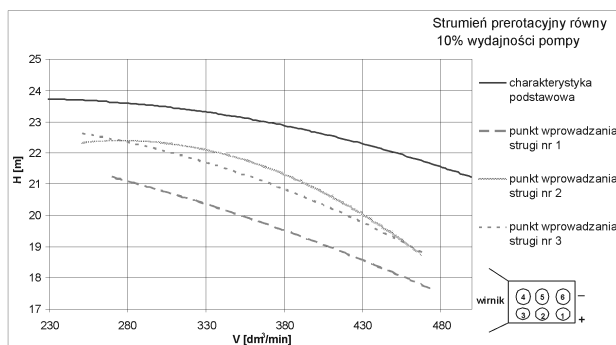
Zmiana usytuowania punktu wprowadzania strugi regulacyjnej pozwalała na interferencję prerotacji naturalnej z prerotacją dodatkową, powodując wzmacnianie lub osłabianie krętu wypadkowego.

5. Wyniki badań

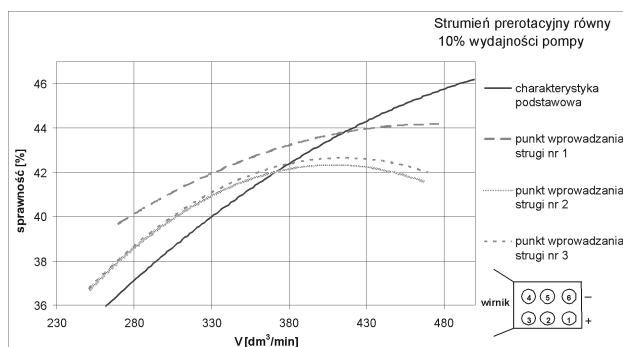
Przedstawione w formie wykresów niektóre wyniki badań (rys. 2 do 5) umożliwiają przeprowadzenie ich analizy pod kątem:

- określenia wpływu położenia miejsca wywierania dodatkowej prerotacji,
- wyznaczenia wpływu wielkości strumienia prerotacyjnego,
- określenia wpływu kierunku dodatkowego zawrotu na pracę pompy wirowej.

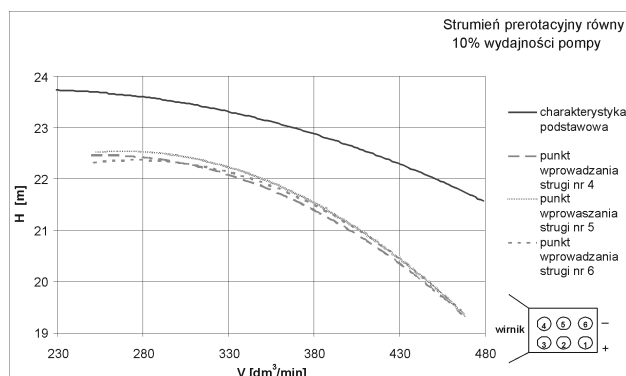
¹ W badaniach uczestniczyli również Adam Machaj oraz Rafał Szklarczyk.



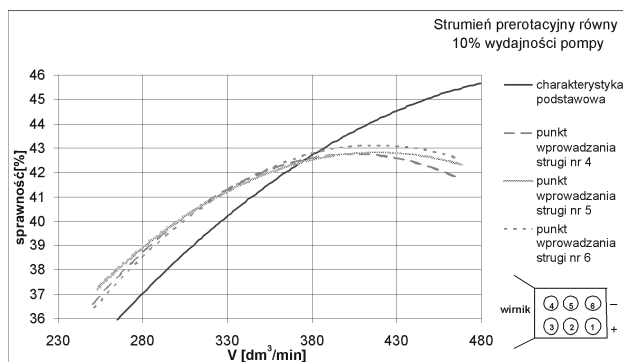
Rys.2. Charakterystyka wysokości podnoszenia dla różnych punktów wprowadzania dodatkowego strumienia zgodnie z kierunkiem obrotu wirnika przy obrotach 1430 [1/min]



Rys.3. Charakterystyka sprawności dla różnych punktów wprowadzania dodatkowego strumienia zgodnie z kierunkiem obrotu wirnika przy obrotach 1430 [1/min]



Rys.4. Charakterystyka wysokości podnoszenia dla różnych punktów wprowadzania dodatkowego strumienia przeciwnie do kierunku obrotu wirnika przy obrotach 1430 [1/min]



Rys.5. Charakterystyka sprawności dla różnych punktów wprowadzania dodatkowego strumienia przeciwnie do kierunku obrotu wirnika przy obrotach 1430 [1/min]

Prezentowane charakterystyki dotyczą serii badań przeprowadzonych przy nominalnej ilości obrotów wirnika oraz wartości strumienia prerotacyjnego stanowiącego 10% wydajności pompy, który doprowadzono do przedwirykowej przestrzeni ssawnej przez trzy różne przekroje zgodnie lub przeciwnie do kierunku wirowania.

Można zauważyć, że zmiana wartości wypadkowego krętu zasysanej cieczy (zarówno przy dodawaniu, jak i odejmowaniu się prerotacji naturalnej i wymuszonej) powoduje obniżanie się wysokości podnoszenia oraz wzrost sprawności w zakresie małych wydajności (poniżej $0,35 \text{ m}^3/\text{min}$).

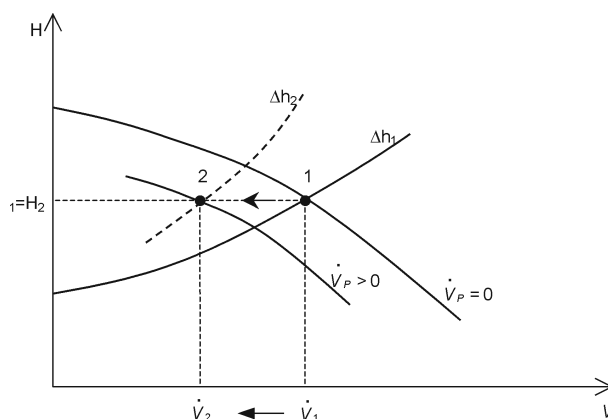
A zatem, skierowanie stosunkowo małego strumienia cieczy do przestrzeni ssawnej bezpośrednio przed wirnikiem powoduje istotne zmiany obrazu pracy pompy: dla przebadanego zakresu pomiarowego stwierdzono, że następuje wprawdzie raptowne przesunięcie krzywych dławienia w kierunku mniejszych wydajności i ciśnień, ale towarzyszy temu wzrost sprawności.

Potwierdza to przypuszczenie, że nawet nieznaczna ingerencja w przepływ cieczy po stronie ssawnej powoduje istotne zmiany pola prądu, a w rezultacie – zmiany w pracy pompy.

6. Podsumowanie

Istotnym efektem badań wydaje się być wykazanie, że w zakresie małych wydajności, gdzie sprawności pomp wirowych są zazwyczaj stosunkowo niskie, zmiana krętu zasysanej strugi poprzez odpowiednie skierowanie do przestrzeni przedwirykowej części cieczy z przewodu tłoczego, może być wykorzystana do regulacji wydajności pompy, przebiegającej przy niezmiennym podnoszeniu (rys. 6).

Dokładne wyjaśnienie problemów związanych z omawianym zagadnieniem badawczym wymaga przeprowadzenia dalszych poszerzonych badań eksperymentalnych.



Rys.6. Zmiana położenia punktu pracy poprzez

wprowadzenie strumienia prerotacyjnego \dot{V}_P do przestrzeni przedwirykowej

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2006-2009 jako projekt badawczy nr 520047.31/0773.

Literatura

1. Jędrał W.: Pompy wirowe. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2001.
2. Stępniewski M.: Pompy. Wyd. 2. WNT, Warszawa 1985.
3. Mikoś M., Kalukiewicz A., Wojciechowski J.: Wpływ wydajności pompy wirowej na rozkład ciśnień w końcowym odcinku przewodu ssawnego. *Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa*, Katowice 5/436, 2007.
4. Mikoś M., Wojciechowski J.: Przepływ cieczy przez końcowy odcinek przewodu ssawnego pompy wirowej. *Pompy Pompownie* nr 3/2007.
5. Mikoś M., Kalukiewicz A., Wojciechowski J.: Projekt badawczy nr 520047.31/0773 „Obniżenie energochłonności wirowych pomp odwadniających poprzez hydrauliczne kształtowanie prerotacji zasysanej strugi”.

Artykuł wpłynął do redakcji w czerwcu 2008 r.

Recenzent: prof.dr hab.inż. Adam Klich

Ograniczanie ponadnormatywnej emisji hałasu wentylatorów dużej mocy

Streszczenie

Hałas jest czynnikiem szkodliwym, który niekorzystnie oddziałuje na wszystkie organizmy żywe. Stąd oraz z opracowanych na tej podstawie wymogów formalno-prawnych wynika konieczność jego ograniczania. Jednym z bardziej istotnych źródeł hałasu biorąc pod uwagę wielkość populacji, która jest narażona na ich oddziaływanie, są układy wentylacji oraz będące ich głównym źródłem wentylatory. Źródła te charakteryzują się szerokim częstotliwościowym widmem oddziaływania, znacznym poziomem mocy akustycznej, jak również ciągłym charakterem pracy. Ograniczanie ponadnormatywnej emisji hałasu każdego ze źródeł, powinno być prowadzone w oparciu o badania modelowe, dzięki którym możliwy jest prawidłowy dobór zarówno materiałowych, jak i geometrycznych cech konstrukcyjnych oraz określenie ich wpływu na skuteczność środka redukcji. Niniejszy artykuł opisuje główne źródła hałasu w układach wentylacji, jakie można spotkać zarówno na terenie obiektów energetycznych, powierzchni kopalń, jak również podziemnych wyrobisk górniczych. Przedstawiono skróconą metodykę badań, których celem jest ograniczenie ponadnormatywnej emisji hałasu do środowiska i na stanowiskach pracy oraz przede wszystkim różne konstrukcje biernych środków redukcji hałasu, opisując ich cechy konstrukcyjne.

Summary

Noise is a harmful factor which has an unfavourable impact on all living organisms. The necessity of noise reduction results from this fact and from formal-and-legal requirements developed on this basis. Ventilation systems and fans are one of the most significant sources of noise, taking into account the size of population exposed to them. These sources are of wide impact frequency spectrum, considerable level of acoustic power, as well as continuous character of operation. Limitation of above-standard noise emission from each source should be conducted on the basis of model tests, due to which a real selection of both material and geometrical features, as well as determination of their impact on effectiveness of reduction factor, are possible. The main noise sources in ventilation systems, which can be met both in the area of power objects, mines' surface and underground mine workings, were described in the paper. Shortened methodology of tests, which objective is to reduce the above-standard noise emission to the environment and at the workplaces, were presented, as well as different designs of passive means for noise reduction were presented and their design features were described.

1. Hałas i jego wpływ na organizmy

Hałas jako czynnik szkodliwy, niekorzystnie oddziałuje na wszelkie organizmy żywe, przede wszystkim jednak na ssaki [1, 2]. Przyjęło się dotychczas rozpatrywać głównie oddziaływanie hałasu na organizm człowieka, jednakże czynnik ten ma również niekorzystny wpływ na zwierzęta, znacząco ograniczając ich przestrzeń życiową, a co niezwykle szkodliwe – zmieniając ich naturalne nawyki [3].

Hałas oddziałując na człowieka wywołuje nie tylko skutki zdrowotne, lecz również nie mniej groźne skutki pośrednie – funkcjonalne, wpływając na rozwój intelektualny i emocjonalny dzieci, wpływając na spadek efektywności i jakości pracy oraz odpoczynku [3]. Niejednokrotnie zmęczenie wywołane długotrwałym narażeniem na ponadnormatywną emisję hałasu jest przyczyną znacznego spadku wydajności pracownika, a co niezwykle groźne, przyczyną wielu wypadków na stanowiskach pracy. Jest to o tyle istotne, że ponad 50 milionów mieszkańców Unii Europejskiej narażo-

nych jest codziennie na ponadnormatywną emisję hałasu na swoich stanowiskach pracy [4].

Natomiast do zdrowotnych skutków narażenia człowieka na ponadnormatywną emisję hałasu, możemy zaliczyć uszkodzenia: struktury narządu słuchu i sprawności słuchu oraz skutki pozasłuchowe, które związane są z zaburzeniami pracy układu: krążenia, hormonalnego, jak również układu pokarmowego. Efektem wieloletniego narażenia na hałas jest często podwyższenie ciśnienia tętniczego oraz zaburzenia rytmu pracy serca, co w konsekwencji niejednokrotnie prowadzi do zawału mięśnia sercowego [5].

Istotne jest, że organizm ludzki różnie reaguje na hałas, a reakcja ta uzależniona jest od: poziomu hałasu, jego rozkładu widmowego, impulsowości, przebiegu czasowego oraz pory, w której jest ekspozycja. Organizm najostrzej reaguje na hałas wieczorem i w porze nocy, najmniej w porze dnia [3]. Dlatego też, niezwykle uciążliwy jest hałas źródeł pracujących w sposób ciągły, a do takich możemy zaliczyć źródła

wchodzące w skład układów wentylacji, a więc: wentylatory, czerpnie i wyrzutnie powietrza, kanały powietrzne oraz dyfuzory.

2. Wymagania formalno-prawne

Ze względu na swoje niekorzystne oddziaływanie na organizmy żywe, emisja hałasu podlega normą określonym wymogami formalno-prawnymi, które w każdym z krajów Unii Europejskiej, cechują się pewnymi różnicami. Na terenie Polski, podobnie jak w innych krajach Unii Europejskiej obowiązują oddzielne wymagania w zakresie dopuszczalnych poziomów ekspozycji na stanowiskach pracy i dopuszczalnych poziomów dźwięku w otaczającym instalacje środowisku. W zakresie ochrony środowiska przed hałasem obowiązuje Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 14 czerwca 2007 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku¹. Rozporządzenie to określa pory, dla których obowiązują różne czasy odniesienia oraz poziomy emisji hałasu – a więc:

- porę dnia (w godzinach od 6⁰⁰ do 22⁰⁰), dla której przedział czasu odniesienia równy jest ośmiu najmniej korzystnym godzinom,
- porę nocy (w godzinach od 22⁰⁰ do 6⁰⁰), dla której przedział czasu odniesienia równy jest jednej najmniej korzystnej godzinie.

Rozporządzenie to w odniesieniu do instalacji, klasyfikuje również tereny podlegające ochronie przed hałasem, wyróżniając kategorie chronione od I=VI (§1.1), jak również ujmując dodatkowo tereny w strefie śródmiejskiej miast powyżej 100 tys. mieszkańców.

W zakresie ochrony stanowisk pracy obowiązują następujące normy: PN-N-01307:1994², zaś dla obiektów energetycznych – PN-M-35200:1992³. Normy te określają dopuszczalny poziom ekspozycji na hałas w odniesieniu do lokalizacji danego stanowiska pracy.

3. Układy wentylacji istotnym źródłem emisji hałasu

Układy wentylacji występują prawie we wszystkich instalacjach, zarówno kopaniach węgla kamiennego, kopalniach węgla brunatnego, obiektach energetycznych oraz innych zakładach przemysłowych, a nawet hipermarketach. To, co odróżnia układy wentylacji od innych źródeł hałasu, to warunki pracy, niejednokrotnie

konieczność ciągłej pracy, a także szerokopasmowe widmo emitowanego hałasu, przy znacznym poziomie mocy akustycznej. Istotne jest, iż zasięg emitowanego hałasu determinuje moc akustyczna źródła, przy czym im większa jest moc akustyczna, tym większy jest zasięg emitowanego przez źródło, hałasu. Biorąc powyższe pod uwagę, można stwierdzić, iż znacznie większa część populacji narażona jest na oddziaływanie źródeł hałasu, wchodzących w skład układów wentylacji, niż innych znaczących źródeł hałasu.

Układy wentylacji, również tym różnią się od innych źródeł emisji hałasu, że niemożliwe jest ich całkowite odseparowanie od środowiska, a jedynie częściowe zmniejszenie mocy akustycznej poprzez stosowanie: aktywnych i biernych środków redukcji hałasu. Aktywne tłumienie hałasu jest z powodzeniem stosowane do ograniczania ponadnormatywnej emisji hałasu w kanałach powietrznych. Jednakże najczęściej stosowane są bierne środki redukcji hałasu, przede wszystkim: obudowy i osłony dźwiękoizolacyjne oraz tłumiki. Jednakże wadą biernych środków redukcji hałasu jest ograniczenie wymiany ciepła w przypadku obudów i osłon, jak również zwiększone opory przepływu w przypadku tłumików.

Niniejszy artykuł nakreśla główne źródła hałasu, na terenie kopalń i obiektów energetycznych, które powiązane są z układami wentylacji, opisując jednocześnie ich badania doświadczalne, badania modelowe, jak również zastosowane środki redukcji hałasu.

4. Układy wentylacji w obiektach energetycznych

Na terenie obiektów energetycznych występuje cały szereg układów wentylacji, a w nich: wentylatory powietrza, wentylatory młynowe i dmuchawy uszczelniające, wentylatory spalin [6]. Jednym z najbardziej istotnych źródeł hałasu są układy wentylatorów powietrza oraz wentylatory spalin. Wentylatory powietrza zlokalizowane są w przeważnie w budynku głównym, nawie kotłowni, stąd ich oddziaływanie na środowisku jest mniejsze od np. wentylatorów spalin, jednakże czerpnie powietrza pierwotnego będące częścią układu doprowadzania powietrza do kotła (a więc układu wentylatorów powietrza), oddziałują już bezpośrednio na środowisko i przy tym zlokalizowane są na znacznej wysokości, co ma wpływ na zasięg emitowanego hałasu.

Poziom dźwięku w odległości 1 m od typowej czerpni powietrza pierwotnego: $L_{Aeq} = 93,2 \pm 2,2 \text{ dB(A)}$, zaś moc akustyczna czerpni o wymiarach 2,5 x 2,5 m; $L_{WA} = 107,9 \text{ dB(A)}$ [7]. Tak wysoki poziom mocy akustycznej klasyfikuje te źródła do prowadzenia działań inwestycyjnych, w zakresie ograniczenia emisji hałasu do wartości dopuszczalnych. Czerpnie powietrza pierwotnego, pod względem parametrów akustycznych

¹ 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).

² PN-N-01307:1994: Hałas. Dopuszczalne wartości parametrów hałasu w środowisku pracy. Wymagania dotyczące wykonywania pomiarów.

³ PN-M-35200:1992: Dopuszczalne poziomy dźwięku w pomieszczeniach obiektów energetycznych.

mają swojego odpowiednika w czerpniach układów chłodzenia przetwornic maszyn wyciągowych, spotykanych na terenie kopalń węgla kamiennego. Ograniczenie ponadnormatywnej emisji hałasu tego typu źródeł może być realizowane poprzez zabudowę wielokomorowego tłumika, takiego jak przedstawiony na rysunku 7.

Kolejnym źródłem hałasu, który pod względem akustycznym ma swoje odpowiedniki w wielu zakładach przemysłowych są wentylatory spalin kotłów energetycznych. Konieczność ich stosowania, jest konsekwencją silnego schłodzenia spalin wychodzących z kotła, przez co ich naturalna siła wyporu nie jest wystarczająca. Podobnie jak inne wentylatory zlokalizowane bezpośrednio w przestrzeni otwartej, mają duży wpływ na kształtowanie się klimatu akustycznego na terenach przyległych. Poziom emisji hałasu typowego wentylatora spalin wynosi: $L_{Aeq} = 90,2 \pm 2,2 \text{ dB(A)}$ [7], co przy znacznych gabarytach daje wysoki poziom mocy akustycznej, wymuszając stosowanie osłon akustycznych o wysokiej izolacyjności. Na rysunku 1 przedstawiono widmo hałasu typowego wentylatora spalin.

Jednakże określanie, zarówno zakresu stosowanych środków redukcji hałasu, jak i ich parametrów, powinno odbywać się w oparciu o badania modelowe.

5. Ogólna metodyka ograniczania emisji hałasu w układach wentylacji

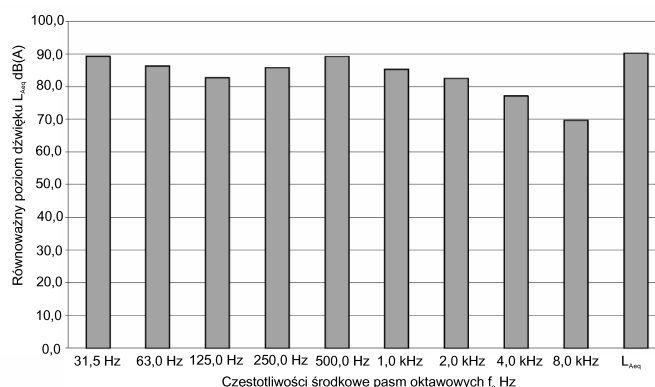
Badania modelowe, prowadzone są najczęściej metodami geometrycznymi w oparciu o pomiary akustyczne źródeł hałasu [8] oraz pomiary wykonane w dodatkowych punktach, nazywanych punktami kalibracji modelu obliczeniowego. Istotne jest by model akustyczny zawierał model geometrii terenu uwzględniający rzeczywistą rzeźbę terenu, co ma szczególne znaczenie na terenie kopalń węgla kamiennego, gdzie często występują duże zmiany terenu, jak również obiekty mające duży wpływ na propagację fali akustycznej, takie jak: zwały węgla i kamienia, budynki o znacznych wysokościach, pomosty itp.

Badania modelowe pozwalają przede wszystkim na określenie rozkładu pola akustycznego w badanej przestrzeni, a więc na określenie zasięgu emitowanego hałasu, identyfikację i opis parametrów głównych źródeł hałasu, a przede wszystkim prowadzenie badań w zakresie wpływu środków redukcji hałasu o różnych parametrach na uzyskiwane poziomy dźwięku w wybranych punktach kontrolnych.

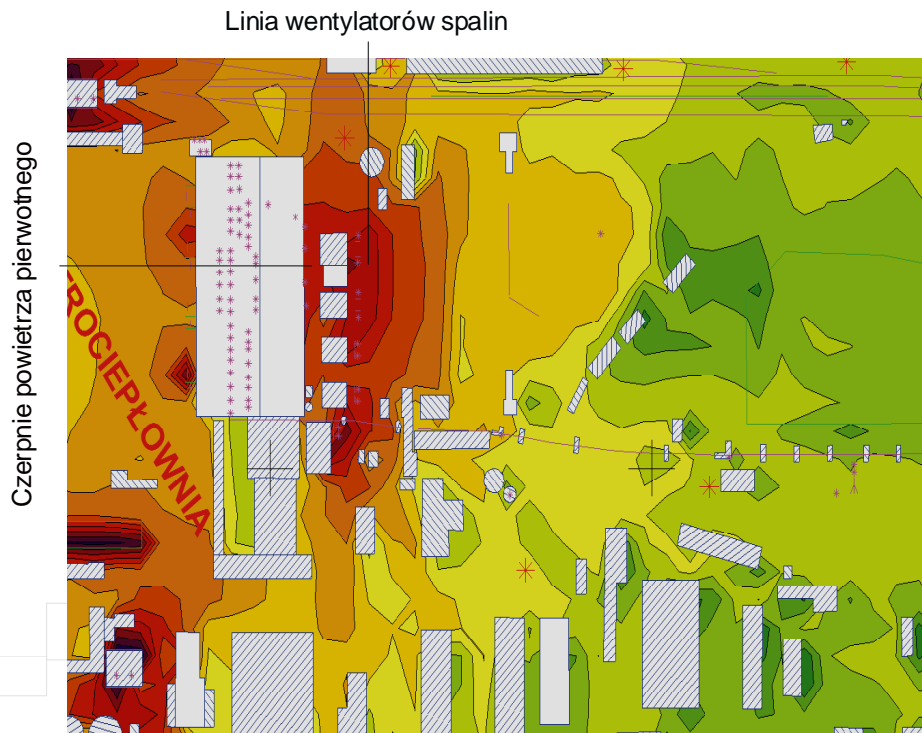
Należy podkreślić, iż tylko na podstawie badań modelowych możliwe jest przeprowadzenie pełnej analizy zależności skuteczności środka redukcji hałasu, od jego materiałowych i geometrycznych cech konstrukcyjnych, a następnie powiązanie ich z koniecznymi do poniesienia nakładami inwestycyjnymi.

Ograniczanie ponadnormatywnej emisji hałasu źródeł zewnętrznych często prowadzi się poprzez zabudowę obudów i osłon dźwiękoizolacyjnych. System tłumienia wentylatora przedstawiony na rysunku 3 charakteryzuje się wysoką izolacyjnością – powyżej $R_A = 20,0 \text{ dB (A)}$, prostą obsługą wentylatora, która zapewnia łatwy i szybki demontaż całego systemu, strefy przeszklone, a przede wszystkim możliwość dostępu do rejonu sprzęgła i silnika, poprzez przesuwającą osłonę. Opracowany system tłumienia wentylatora posiada wytłumione strefy wymiany powietrza, w tym wlot powietrza w kształcie litery „Z”, dodatkowo przedzielony kasetami dźwiękochłonnymi równoległymi do przepływającej strugi powietrza.

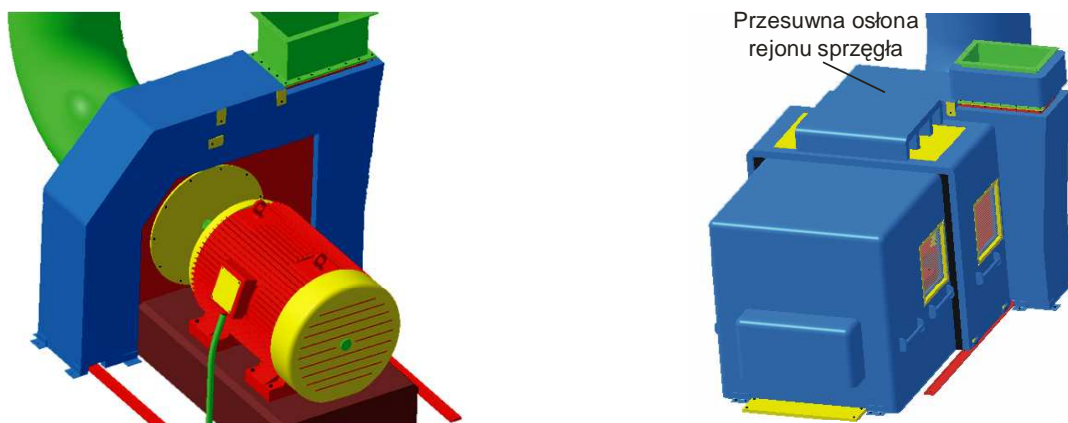
Podczas projektowania biernych środków redukcji hałasu istotna jest nie tylko wysoka izolacyjność zastosowanych przegród, którą uzyskuje się poprzez połączenie ze sobą materiałów o różnej gęstości i masie, lecz również duża szczelność miejsca styku połączeń poszczególnych przegród, a także styku przegrody z podłożem, która to w dużym stopniu zależy od poprawnego wykonawstwa – montażu środka redukcji [10]. Istotnym, lecz często pomijanym zagadnieniem jest zapewnienie przez osłonę/obudowę, poprawnej wymiany ciepła z otoczeniem, tak by nie prowadzić do



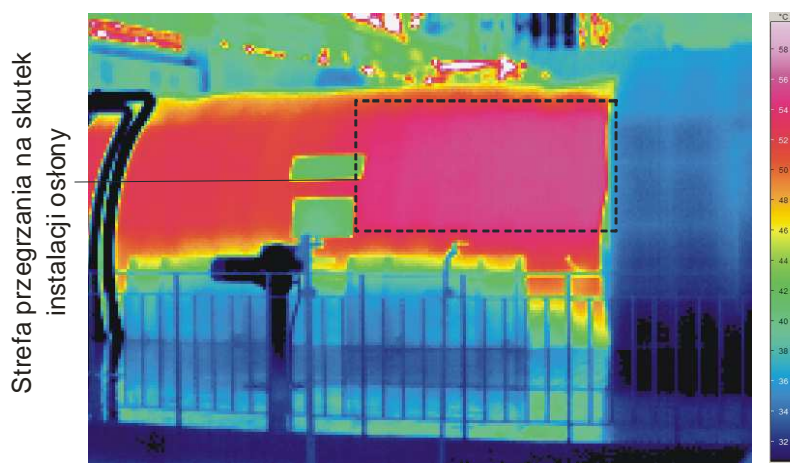
Rys.1. Widmo emisji hałasu wentylatora spalin [7]



Rys.2. Wpływ wentylatorów spalin i czerpni powietrza pierwotnego na kształtowanie się klimatu akustycznego w środowisku [7]



Rys.3. System tłumienia wentylatora zaprojektowany przez autora - ochrona patentowa [9]



Rys.4. Maszyna wirnikowa przedstawiona na obrazie termowizyjnym [7]

miejscowego przegrzania źródła, którego emisja hałasu jest ograniczana. Szczególną uwagę należy zwrócić na prawidłowe wytłumienie (jak również minimalne opory przepływu) stref wymiany powietrza oraz możliwość występowania w tych strefach odbić fali akustycznej. Przykładem niekorzystnego wpływu osłon akustycznych, niech będzie rysunek 4, na którym widoczna jest strefa przegrzania maszyny wirnikowej po zabudowaniu od strony prawej (ciemniejszy, a więc chłodniejszy obszar) osłony akustycznej.

6. Układy wentylacji na powierzchni kopalń węgla kamiennego

Na terenie kopalni istotnym źródłem ponadnormatywnej emisji hałasu są często wentylatory głównego przewietrzania, jak również wspomniane już wcześniej wentylatory układu chłodzenia przetwornic maszyny wyciągowej oraz wentylatory w układach odpylania, zabudowane w budynkach mechanicznej przeróbki węgla.

Jednakże największym zasięgiem oddziaływania cechują się wentylatory głównego przewietrzania zabudowane w układach szybów wydechowych i połączone z dyfuzorami, które cechują się mocą akustyczną od $L_{WA} = 110,9 \pm 2,2 \text{ dB(A)}$ do $L_{WA} = 120,1 \pm 2,2 \text{ dB(A)}$, co przy znacznej wysokości posadowienia źródła hałasu, istotnie wpływa na wielkość populacji narażonej na ponadnormatywną emisję hałasu. Na terenie szybów wydechowych istotnymi źródłami hałasu są również: kanały powietrzne, śluzy oraz kłapy rewersyjne. Nierzadko zasięg oddziaływania szybów wydechowych na poziomie: 40,0 dB(A) przekracza 250 m, czyniąc to źródło jednym z największych, spośród tych, z jakimi mamy do czynienia na terenie zakładów przemysłowych (np. źródłem o zbliżonych parametrach akustycznych są chłodnie kominowe).

Ograniczanie ponadnormatywnej emisji hałasu szybów wydechowych realizuje się najczęściej poprzez zabudowanie w koronie dyfuzora, dodatkowych przegród tworzących tłumik, który powinien cechować się możliwie jak najmniejszymi oporami przepływu oraz bardzo dużą odpornością na korozyjną atmosferę przepływającego powietrza. Niezwykle istotny jest również fakt, występowania zagrożenia metanowego, co wymusza odpowiedni dobór przede wszystkim materiałowych cech konstrukcyjnych tłumika. Ograniczając ponadnormatywne oddziaływanie szybów wydechowych, często stosuje się również osłony kanałów powietrznych, które są znacznym źródłem hałasu oraz dodatkowe przegrody dźwiękoizolacyjne śluz i kłap rewersyjnych. Praktykuje się również zwiększenie izolacyjności przegród budynku stacji wentylatorów, poprzez wymianę szyb na podwójnie szklone i zabudowę wytłumio-

nych zespołów wentylacyjnych, nawiewno/wywiewnych, zmniejszając tym samym oddziaływanie silników wentylatorów, których poziom emisji hałasu nierzadko przekracza $L_{Aeq} = 92,9 \pm 2,2 \text{ dB(A)}$.

Natomiast na rysunku 5 przedstawiono rozkład pola akustycznego w rejonie szybu materiałowo-zjazdowego. Dla tego typu szybów, jak również dla szybów wdechowych istotnym źródłem hałasu są wentylatory układu chłodzenia systemów zasilania (najczęściej przetwornic) maszyny wyciągowej, jak również układy nagrzewnic. Niejednokrotnie moc akustyczna czepni powietrza w układach chłodzenia jest tak duża, że wymaga stosowanie zabezpieczeń przeciwhałasowych o skuteczności większej od $R = 20,0 \text{ dB(A)}$ [11].

Nowym rozwiązaniem w zakresie biernych środków redukcji ponadnormatywnej emisji hałasu układów wentylacji, jest opracowany przez autora – dwudzielny, sześciokomorowy tłumik, przeznaczony do współpracy z wentylatorami dużej mocy. Tłumik ten może być instalowany, zarówno na wlocie i wylocie powietrza, również tam gdzie spotykamy się z zagrożeniem wybuchu pyłu węglowego lub metanu. Poszczególne komory tłumika zostały podzielone kasetami dźwiękochłonnymi, dwustronnie pełniącymi funkcję pochłanianą falą akustyczną. Aby zwiększyć skuteczność tłumienia w rejonie wymiany powietrza zabudowano dodatkowe kasety dźwiękochłonne, równoległe do przepływającej strugi powietrza, tak by dzieliły ją one, jednocześnie zwiększając liczbę odbić fali akustycznej. Tłumik ten charakteryzuje się minimalnymi oporami przepływu, jednakże jego wymiary gabarytowe, jak i jego masa są znaczne.

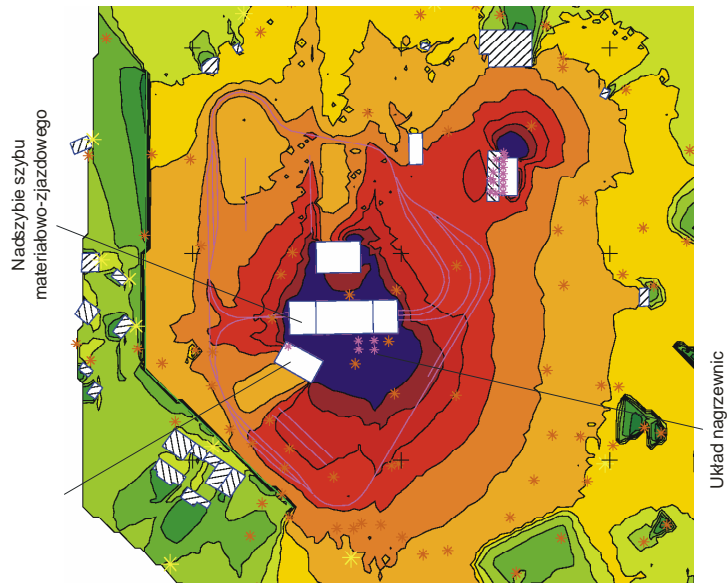
Dodatkowo w tłumiku zastosowano kierownice, ukierunkowujące przepływ strugi powietrza, której prędkość dochodzi do $v = 22 \text{ m/s}$.

Skuteczność przedstawionego tłumika uzależniona jest od widma emisji hałasu wentylatora oraz gabarytów, jednakże minimalna skuteczność zaproponowanego rozwiązania wynosi $R = 22,0 \text{ dB(A)}$ [11].

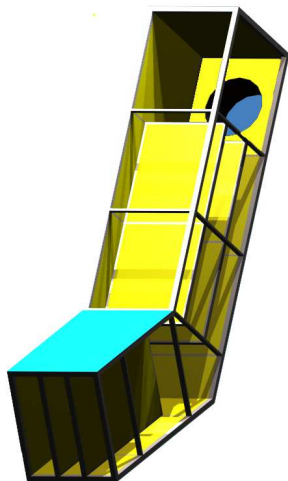
7. Podziemne wyrobiska górnicze

Istotnym źródłem hałasu w podziemnych wyrobiskach górniczych są wentylatory typu WLE, przeznaczone do przewietrzania ślepych wyrobisk korytarzowych drażonych kombajnami chodnikowymi.

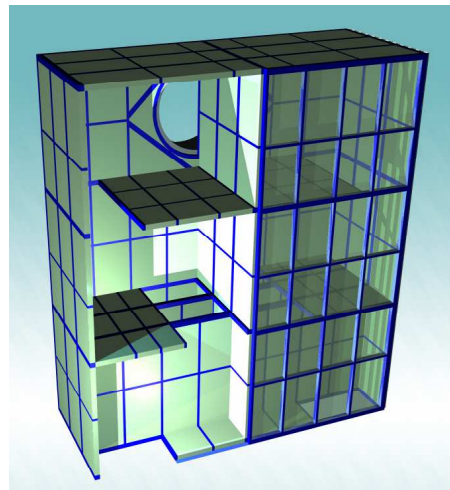
Typowy wentylator WLE-1010 B o nominalnej wydajności $V_1 = 620 \text{ m}^3/\text{min}$ i spiętrzeniu całkowitym $\Delta p_c = 4600 \text{ Pa}$, charakteryzuje się uśrednionym z punktów od A-M (rys. 1), poziomem emisji hałasu: $L_{Aeq} = 117,0 \pm 2,3 \text{ dB(A)}$ [12].



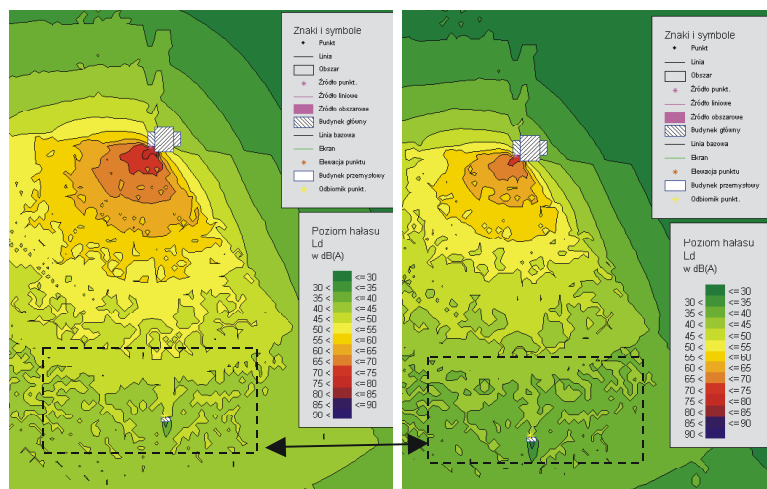
Rys.5. Rozkład pola akustycznego w rejonie szybu materiałowo – zjazdowego



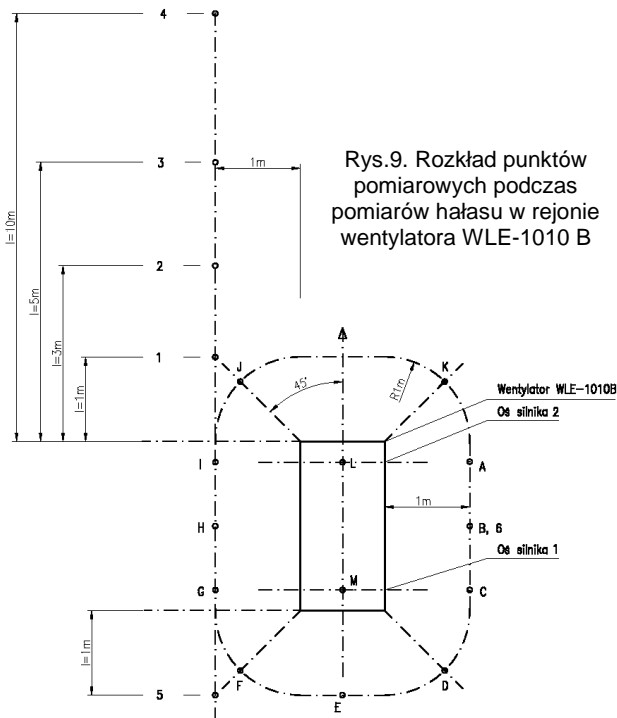
Rys.6. Tłumik hałasu o skuteczności $R = 22,0 \text{ dB (A)}$ w układzie wentylatorów osiowych, przewietrzających budynek nadszybia na poziomie instalacji przetwornic



Rys.7. Półprzekrój/półwidok tłumika przeznaczonego do współpracy z wentylatorami promieniowymi dużej mocy



Rys.8. Tłumik hałasu czepni wentylatora promieniowego i rozkład pola akustycznego [11]: a) przed zabudową (rys. lewy), b) po zabudowie tłumika hałasu (rys. prawy) - widoczne ciemniejsze kolory (niższe poziomy dźwięku) w obszarze zabudowy chronionej



Rys.9. Rozkład punktów pomiarowych podczas pomiarów hałasu w rejonie wentylatora WLE-1010 B

Uśredniony poziom emisji hałasu wentylatora typu WLE-1010B [12]

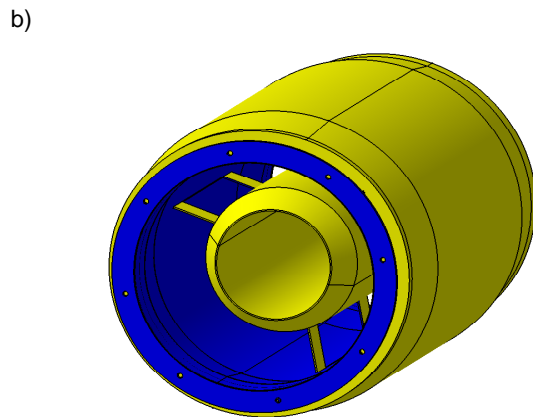
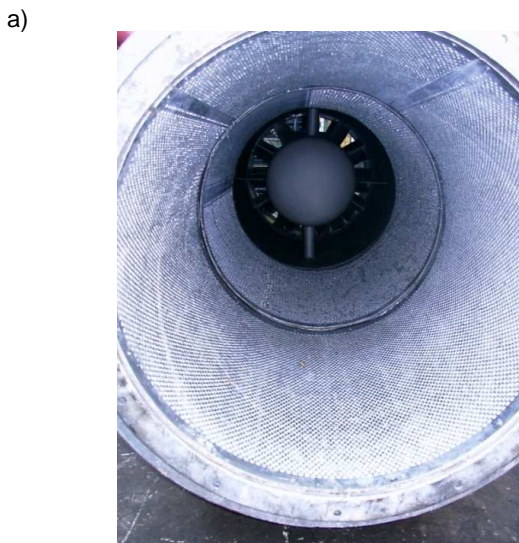
Tabela 1

Punkt pomiarowy	$L_{Aeq} \pm U_c$ dB(A)
1	119,0 ±2,2
2	116,0 ±2,1
3	113,5 ±2,1
4	109,6 ±2,1
5	115,6 ±2,0

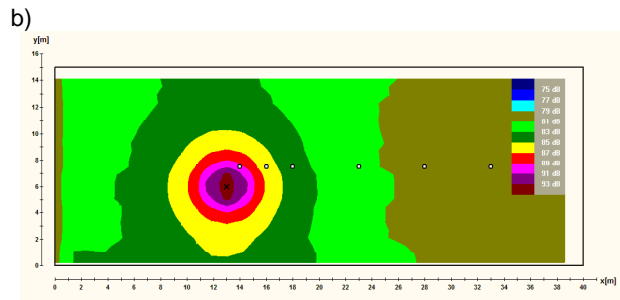
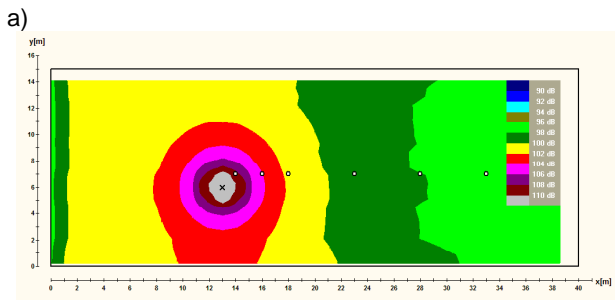
Moc akustyczna badanego wentylatora typu WLE wynosi: $L_{WA} = 131,7 \pm 2,3$ dB (A). Poziom mocy akustycznej wentylatora wymusza konieczność stosowania zabezpieczeń przeciwhałasowych, ograniczając narażenie pracowników na ponadnormatywną emisję hałasu. Przykładem takich zabezpieczeń są zaprojektowane przez autora tłumiki typu TG, taki jak np. TG \varnothing 1010/2200 o skuteczności $R = 18,1$ dB (A) [12].

Dobór tłumika do wentylatora powinien odbywać się w oparciu o przeprowadzone badania doświadczalne, jak również badania modelowe, obrazujące rozkład pola akustycznego. Skuteczność zastosowanego zabezpieczenia przeciwhałasowego w znacznym stopniu zależy od rozkładu widma emitowanego przez źródło hałasu.

Tabela 1 przedstawia rozkład pola akustycznego w rejonie przedmiotowego wentylatora WLE.



Rys.10. Tłumiki typu TG, do stosowania w atmosferze zagrożenia wybuchem metanu i pyłu węglowego: a) tłumik TG 630/2000 (rys. prawy), b) typoszereg tłumików TG z elementem rozpraszającym (rys. lewy)



Rys.11. Rozkład pola akustycznego w podziemnym wyrobisku górniczym, dla źródła hałasu jakim jest wentylator typu WLE [12]: a) rozkład pola akustycznego bez zabezpieczenia przeciwhałasowego, b) rozkład pola akustycznego z tłumikiem TG \varnothing 1010/2200

8. Podsumowanie

1. Hałas jest czynnikiem szkodliwym, który niekorzystnie oddziałuje na wszystkie organizmy żywe.
2. Konieczność ograniczania ponadnormatywnej emisji hałasu wynika przede wszystkim z obowiązujących wymogów formalno-prawnych, narzucających dopuszczalne poziomy dźwięku:
 - a. w środowisku: Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 14 czerwca 2007 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku,
 - b. na stanowiskach pracy:
 - PN-N-01307:1994: Hałas. Dopuszczalne wartości parametrów hałasu w środowisku pracy. Wymagania dotyczące wykonywania pomiarów,
 - PN-M-35200:1992: Dopuszczalne poziomy dźwięku w pomieszczeniach obiektów energetycznych.
3. Przekraczanie dopuszczalnych poziomów dźwięku na terenach podlegających ustawowej ochronie przed hałasem, skutkuje nałożeniem na zakład przemysłowy kar, których wysokość dla danego roku określa Minister Środowiska obwieszeniem zamieszczonym w Monitorze Polskim. Narzucane kary za ponadnormatywną emisję hałasu do środowiska, mogą być przeznaczane na inwestycje w zakresie ograniczenia emisji hałasu.
4. Ograniczanie ponadnormatywnej emisji hałasu każdego ze źródeł, powinno być prowadzone w oparciu o badania modelowe, dzięki którym możliwy jest prawidłowy dobór zarówno materiałowych, jak i geometrycznych cech konstrukcyjnych oraz określenie ich wpływu na skuteczność środka redukcji.
5. Poprawnie opracowany model akustyczny powinien zawierać model geometrii terenu uwzględniający rzeczywistą rzeźbę. Jest to szczególnie istotnie w badania prowadzonych na terenie kopalń węgla kamiennego.
6. Jednym z najbardziej istotnych źródeł hałasu na terenie obiektów energetycznych są wentylatory spalin i czerpnie powietrza pierwotnego. Ograniczanie ponadnormatywnego oddziaływania wentylatorów spalin możliwe jest poprzez zabudowanie systemu tłumienia jaki pokazano na rysunku 3. Natomiast redukcja hałasu czerpni i wyrzutni powietrza możliwa jest o poziom $R = 22,0$ dB (A), dzięki zastosowaniu tłumika, jak na rysunku 6 lub w przypadku układów o bardzo dużych przepływach, takiego jak na rysunkach 7 i 8.
7. Projektując i odbierając zabezpieczenia przeciwhałasowe, należy zwrócić szczególną uwagę, czy nie ograniczają one swobodnej wymiany ciepła, gdyż może mieć to wpływ na niezawodność środka technicznego, którego emisja hałasu jest ograniczana.
8. Spośród źródeł zlokalizowanych na powierzchni kopalń węgla kamiennego największym zasięgiem emitowanego hałasu cechują się szyby wydechowe, a w nich dyfuzory i kanały powietrzne wentylatorów głównego przewietrzania. Moc akustyczna dyfuzorów dochodzi do poziomu $L_{WA} = 120,1 \pm 2,2$ dB(A). Znacznym źródłem emisji hałasu są również szyby wdechowe i materiałowo-zjazdowe. Staje się tak na skutek oddziaływania układów chłodzenia systemów zasilania (najczęściej przetwornic w układzie Leonarda) maszyny wyciągowej.
9. Eksploatacja wentylatorów służących przewietrzaniu ślepych wyrobisk korytarzowych drążonych kombajnami chodnikowymi, związana jest ze znaczną emisją hałasu, która stanowi zagrożenie dla zdrowia pracowników, mogąc się przyczyniać do wypadków na stanowiskach pracy. Dlatego też należy bezwzględnie ograniczać ją poprzez stosowanie tłumików przepływowych, takich jak np. przedstawione w niniejszym artykule tłumiki serii TG.

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.: Pomiar i ocena hałasu środowiskowego w Polsce i w Unii Europejskiej. Instytut Medycyny Pracy i Zdrowia Środowiskowego w Sosnowcu. Akademia Medyczna im. Piastów Śląskich we Wrocławiu.
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. Pierchała M.: Analiza przyczynowo-skutkowa oddziaływania zakładów przemysłowych na klimat akustyczny aglomeracji. Masz. Gór. nr 1, 2007, s. 7-15.
7. Pierchała M.: Metodyka identyfikacji i ograniczania emisji hałasu podstawowych źródeł zlokalizowanych w obiektach energetycznych. Praca statutowa CMG KOMAG, 2007.
8. Lipowczan A.: Podstawy pomiarów hałasu. Warszawa-Katowice 1987.
9. Pierchała M.: Patent CMG KOMAG (21) 378392, (22) 12-12-2005.
10. Engel Z.: Ochrona środowiska przed drganiami i hałasem. Wydawnictwa Naukowe PWN, Warszawa 2001.
11. Pierchała M.: Konceptyjny projekt szeregu tłumików refleksyjnych i absorpcyjnych oraz wytłumionego zespołu nawiewno/wywiewnego. Praca statutowa CMG KOMAG, 2008.
12. Pierchała M.: Badania tłumików przepływowych. Praca statutowa CMG KOMAG, 2006.

Artykuł wpłynął do redakcji w czerwcu 2008 r.

Recenzent: prof.dr hab.inż. Teodor Winkler

System monitorowania technologii środowiskowych

Streszczenie

Omówiono podstawy formalne oraz założenia i cele systemu monitorowania technologii środowiskowych, który będzie gromadził informacje na temat rozwoju tych technologii w Polsce. Przedstawiono zasadniczą budowę systemu oraz zasady klasyfikacji technologii jako środowiskowej, wraz z podziałem na sektory i podsektory środowiskowe.

Summary

Formal bases, assumptions and objectives of a system for monitoring of environmental technologies, which will collect information on a development of these technologies in Poland, were discussed in the paper. A principal design of the system and principles of classification of technology as environmental technology, with an environmental division into sectors and sub-sectors, were presented in the paper.

1. Uwarunkowania formalne systemu

Technologiami środowiskowymi nazywamy technologie (technologie produkcji, systemy technologiczne, procesy produkcyjne, wyroby, obsługę, urządzenia oraz procedury organizacyjne i zarządzanie), które wprowadzają do środowiska mniej zanieczyszczeń oraz wykorzystujące wszelkie zasoby naturalne w sposób zapewniający ich dłuższą dostępność¹⁾. Prowadzone w Polsce działania na rzecz technologii środowiskowych, zmierzające do pełnego wykorzystania potencjału innowacji ekologicznych²⁾, są prowadzone zgodnie z dokumentem pt. „Mapa drogowa” Wdrażania Planu Działań na rzecz Technologii Środowiskowych w Polsce³⁾. Celem przygotowania „Mapy Drogowej” jest skupienie uwagi krajów członkowskich UE na istniejących planach i działaniach oraz osiągnięciach we wdrażaniu ETAP⁴⁾ w Polsce.

Zgodnie z wymienionymi powyżej dokumentami, wdrażanie ETAP w Polsce obejmuje:

- ukierunkowanie badań naukowych i prac rozwojowych na eko-innowacyjność⁵⁾,

¹⁾ Definicja według komunikatu COM (2004) 38, odwołująca się do definicji zawartej w rozdziale 34 Agendy 21 ONZ.

²⁾ Program Wykonawczy do Krajowego Planu Działań na rzecz Technologii Środowiskowych na lata 2007-2009 z uwzględnieniem perspektywy na lata 2010-2012, Ministerstwo Środowiska, Warszawa, 22 lutego 2007 r.

³⁾ „Mapa Drogowa” Wdrażania Planu Działań na rzecz Technologii Środowiskowych w Polsce, Ministerstwo Środowiska, 2006.

⁴⁾ Plan Działań Unii Europejskiej na rzecz Technologii Środowiskowych (ang. Environmental Technologies Action Plan – ETAP).

⁵⁾ Przez eko-innowacyjność rozumie się wszystkie formy innowacji (technologiczne i nie-technologiczne, nowe produkty i usługi, nowe praktyki biznesowe, itp.), które zmniejszają niekorzystny wpływ na środowisko, lub które umożliwiają optymalne wykorzystanie zasobów.

- monitorowanie rozwoju i wdrożeń technologii środowiskowych,
- weryfikacja i certyfikacja technologii,
- wyznaczanie celów środowiskowych,
- upowszechnienie zielonych zamówień publicznych,
- koncentrowanie środków finansowych,
- kreowanie instrumentów rynkowych i fiskalnych,
- promocja i upowszechnianie informacji o technologiach środowiskowych.

2. Założenia i cele systemu

Realizacji drugiego z wymienionych celów służy „Koncepcja systemu monitorowania technologii środowiskowych”, opracowywana obecnie na zlecenie Ministra Środowiska przez konsorcjum składające się z:

- Centrum Mechanizacji Górnictwa KOMAG,
- Instytut Ekologii Terenów Uprzemysłowionych,
- Polskie Centrum Badań i Certyfikacji SA.

Przedmiot monitorowania technologii środowiskowych obejmuje cztery grupy:

- **„właściwe” technologie środowiskowe**, do których można zaliczyć: technologie kontroli emisji substancji zanieczyszczających, technologie oczyszczania, technologie czystszej produkcji, sprzęt wykorzystywany w zagospodarowywaniu odpadów, monitoring środowiskowy i instrumentarium, technologie wytwarzania zielonej energii, zaopatrzenie w wodę, kontrolę hałasu i wibracji;
- **innowacje organizacyjne dla środowiska**, w tym: systemy zapobiegania zanieczyszczeniu, systemy zarządzania środowiskowego i instrumenty analityczne, zarządzanie łańcuchem dostaw;
- **innowacyjne produkty i usługi**, a wśród nich: nowe lub udoskonalone pod względem ich wpływu na środowisko produkty (np. eko-domy, budynki)

i materiały, zielone produkty finansowe (np. eko-leasing, hipoteki), usługi środowiskowe (np. zarządzanie odpadami niebezpiecznymi, wodami i ściekami, konsulting środowiskowy, testy, usługi analityczne), usługi i rozwiązania, które charakteryzują się mniejszym oddziaływaniem na środowisko;

- **zielone systemy innowacyjne**, czyli alternatywne systemy produkcji i konsumpcji, które są przyjazne dla środowiska, takie jak rolnictwo ekologiczne, systemy energetyczne wykorzystujące odnawialne źródła energii itp.

Opracowywany system monitorowania ma na celu przede wszystkim wzmocnienie procesu rozwoju i wdrażania eko-innowacji w Polsce przez identyfikację i analizę działań podejmowanych zarówno przez sferę nauki, jak i przedstawicieli biznesu. Cel ten będzie realizowany poprzez następujące cele szczegółowe:

- kojarzenie zainteresowanych stron (nauka, przedsiębiorcy wytwórcy technologii, potencjalni odbiorcy technologii, źródła finansowania, fundusze kapitałowe),
- edukacja i informacja (administracja wszystkich szczebli, przedsiębiorcy, użytkownicy technologii, naukowcy, konsumenci),
- ułatwienie podejmowania decyzji w ramach zielonych zakupów publicznych przez prezentację oferty liderów eko-innowacyjności (administracja wszystkich szczebli, przedsiębiorstwa państwowe),
- opracowanie i realizacja strategii eko-innowacyjności (administracja krajowa, regionalna, organizacje branżowe):
 - monitorowanie wydatków krajowych (fundusze publiczne, prywatne) na badania i rozwój eko-innowacyjności,
 - diagnozowanie stanu badań naukowych i wdrożeniowych w odniesieniu do kierunków polityki ekologicznej państwa,
 - analiza dostępności technologii środowiskowych w Polsce,
- ułatwienie podejmowania decyzji przez firmy i konsumentów przez prezentację oferty liderów eko-innowacyjności (administracja wszystkich szczebli, przedsiębiorstwa państwowe).

Podstawowym elementem systemu będzie moduł zbierania, gromadzenia, przetwarzania i udostępniania danych w postaci bazy danych z interfejsem udostępnionym poprzez serwer internetowy. Równoległe działającą będzie sieć ekspertów środowiskowych, gwarantująca poprawność działania systemu oraz wspomagająca merytorycznie realizację zadań systemu. Dodatkowo konieczne będzie powołanie moderatorów i administratorów systemu, zarządzających od strony technicznej i porządkowej.

Wysoka skuteczność systemu będzie wymagała pozyskania jak największej ilości danych, zarówno ze strony środowisk naukowych, jak też ze strony przemysłu i prywatnych przedsiębiorców. Przewiduje się, że oprócz dobrowolnych wpisów dokonywanych w systemie przez twórców technologii, prowadzone będą badania ankietowe, w których formularze zgłoszenia technologii środowiskowej będą rozsyłane do firm, będących potencjalnymi twórcami technologii środowiskowych⁶⁾. Dodatkowo formularz technologii środowiskowej byłby elementem dokumentacji na pozyskanie środków publicznych lub elementem raportu końcowego z wykonania zadań, w których środki publiczne były wykorzystane.

Promocyjny aspekt systemu będzie osiągnięty poprzez środki, takie jak: broszury, ulotki informacyjne, strony internetowe, promocję na targach itp. oraz poprzez cyklicznie generowany raport „Zielone innowacje”⁷⁾, który będzie podsumowaniem działania systemu za okres 2 lat. Dodatkową stymulację rozwoju systemu można osiągnąć poprzez system zielonych zamówień publicznych, w których czynnik ekologiczny będzie jednym z kryteriów wyboru najkorzystniejszej oferty. System monitorowania byłby wówczas czynnikiem referencyjnym, pozwalającym na ocenę eko-innowacyjności oferty proponowanej w zamówieniu publicznym.

3. Budowa systemu

System będzie obejmował zebranie informacji o każdej technologii w następujących grupach:

- informacje o zgłaszającym,
- nazwa i kategoria technologii,
- kwalifikacja technologii jako technologii środowiskowej,
- opis technologii:
 - część opisowa,
 - efekt ekologiczny,
 - część parametryczna,
 - materiały dodatkowe,
- harmonogram i kosztorys,
- informacje uzupełniające,
- grupy potencjalnych użytkowników,
- uwagi użytkowników.

Najważniejszym elementem jest tutaj kwalifikacja technologii, jako technologii środowiskowej oraz opis efektu ekologicznego związanego z technologią. Prawidłowe zakwalifikowanie technologii do grupy technologii środowiskowej zapewni bowiem wysoką jakość informacji gromadzonych przez system. W tym celu

⁶⁾ Firmy takie mogą być typowane np. na podstawie istniejących baz danych, np. uczestników targów ekologicznych, podmiotów uczestniczących w projektach celowych itp.

⁷⁾ Nazwa robocza.

zgłaszający będzie wybierał sektory i podsektory środowiskowe, do których może zakwalifikować swoją technologię, szeregując je według stopnia ważności, a następnie dla każdego z nich będzie musiał podać uzasadnienie, dlaczego technologia jest ekoinnowacyjna w wybranym zakresie.

Równolegle, dla uniknięcia sytuacji, w której technologia będzie innowacyjna pod pewnymi względami, ale pod innymi będzie wręcz uciążliwa dla środowiska⁸⁾, obowiązywać będzie podanie uzasadnienia dla kilku podstawowych kryteriów środowiskowych, wspólnych dla wszystkich technologii. Proponuje się, aby tymi kryteriami były:

- energooszczędność (energochłonność),
- niska emisja do środowiska,
- niska ilość odpadów,
- niskie zużycie wody.

Proponowany podział sektorów i podsektorów środowiskowych jest przedstawiony w tabeli 1⁹⁾.

Środowiskowe sektory główne i podsektory

Tabela 1

Sektory główne	Podsektory
Czyste technologie	Metody produkcji o mniejszym zużyciu surowców
	Metody produkcji niskoemisyjnej
	Produkt końcowy o mniejszym zużyciu surowców
	Ekologiczne produkty jednorazowego użytku
	Produkcja surowców ekologicznych
Efektywne użycie energii oraz oszczędność energii	Monitorowanie, audyty, certyfikacja produkcji i zużycia energii
	Energooszczędne urządzenia, sprzęt i systemy
	Nisko-energetyczny sprzęt, izolacje
Energia odnawialna	Bioenergia i biopaliwa
	Energia wiatrowa
	Energia słoneczna i pompy ciepła
	Technologie paliw wodorowych i ogniwo paliwowych
	Inne niskoemisyjne technologie energetyczne
Recykling	Zbiórka, recykling i przeróbka surowców
	Kompostowanie i fermentacja beztlenowa
Gospodarka odpadami	Gromadzenie i transport odpadów
	Oczyszczanie ścieków
	Magazynowanie odpadów i końcowe usuwanie
	Energia z odpadów
Gospodarka wodno-ściekowa	Pomiar, monitoring i analiza wód i ścieków
	Produkcja, oczyszczanie wody pitnej
	Oczyszczanie ścieków przemysłowych
	Oczyszczanie ścieków komunalnych Inna działalność związana z oczyszczaniem ścieków i ochroną systemów wodnych
Kontrola zanieczyszczenia powietrza	Pomiary jakości powietrza i emisji
	Klimatyzacja i filtracja
	Oczyszczanie gazów odlotowych i spalin

⁸⁾ Technologia może być np. energooszczędna ale generować znaczne ilości odpadów.

⁹⁾ Podział ten oparty jest na fińskim systemie monitorowania biznesu środowiskowego – patrz Hannu Hernesniemi, Etlatieta Oy: Rapidly growing environmental business needs monitoring, Heikki Sundquist, Sitra, the Finnish Innovation Fund.

	Wychwytywanie i sekwestracja (unieszkodliwianie) CO ₂
Ochrona gleby	Analiza gleby i pomiary
	Oczyszczanie
	Kształtowanie krajobrazu
Redukcja hałasu	Pomiary hałasu
	Ochrona przed hałasem i ochrona słuchu
	Akustyka i ochrona przed hałasem – planowanie
Gromadzenie	Badania i nauka
	Działalność publikacyjna, wystawy, konferencje
	Systemy bazodanowe i systemy komunikacyjne
	Konsulting, ocena, finansowanie i usługi
	Sieci i organizacje sektora środowiskowego
	Działalność rządowa

Zakłada się, że system będzie miał postać rozproszoną, tj. zostanie udostępniony na wszystkich poziomach dostępu poprzez sieć Internet, zaś dostęp będzie podlegał gradacji – od użytkowników uprawnionych jedynie do przeglądania części informacji, poprzez użytkowników uprawnionych do dokonywania i modyfikowania wpisów własnych technologii po użytkownikach administracji rządowej i samorządowej, posiadających pełny dostęp do wszystkich danych oraz posiadających uprawnienia administracyjne.

Modułowa budowa systemu pozwoli na jego rozbudowę w przyszłości, w tym poszerzenie o segmenty służące innym celom niż cele podstawowe systemu – na jego bazie możliwe będzie np. zbudowanie platformy kojarzącej rozwiązania dostarczane przez twórców technologii z potrzebami zgłaszanymi przez użytkowników (konsumentów) technologii środowiskowych. Dzięki modułowej budowie system będzie również przystosowany do rodzących się koncepcji i wymogów UE w zakresie ochrony środowiska i technologii środowiskowych.

4. Podsumowanie

Opracowywana koncepcja stanowi podstawę działań mających na celu monitorowanie technologii środowiskowych w Polsce.

Powstający system pozwoli zarówno na gromadzenie i obróbkę danych pod kątem generowania statystyk i raportów przedstawiających stan rozwoju technologii środowiskowych w Polsce, jak również na wymianę informacji pomiędzy środowiskami naukowymi, twórcami technologii i użytkownikami rozwiązań. Jednocześnie system będzie mógł pełnić rolę referencyjnej bazy wiedzy, mogącej znaleźć zastosowanie np. w systemach zielonych zamówień publicznych. Równolegle system będzie pełnił rolę edukacyjno-szkoleniową.

Artykuł wpłynął do redakcji w czerwcu 2008 r.

Recenzent: prof.dr hab.inż. Adam Klich

Ocena jakości usług poprzez pomiar satysfakcji klienta

Streszczenie

Występujące na rynku wyroby i usługi stają się coraz bardziej podobne pod względem jakości materiałów, technologii, a nawet ceny, stąd też elementy te przestają odgrywać decydującą rolę w „grze rynkowej”. Czynnikiem, decydującym o konkurowaniu z innymi firmami są relacje z klientami budowane poprzez właściwy system informacji, obsługi i opieki. Tendencje występujące w działaniach przedsiębiorstw dowodzą tezy, że jakość i marketing to niewątpliwie dwie wzajemnie przenikające się ze sobą dziedziny.

Summary

Products and services, which are present on the market, become more and more similar to each other as regards quality of materials, technologies and even price. That is why they do not play a key role in the “market competition”. Relationships among the customers, which are built by a proper system of information, customer service and care, are the factor which decides about competition with other companies. Tendencies present in enterprises’ activities prove the thesis that the quality and marketing are undoubtedly two domains which penetrate each other.

1. Wprowadzenie

Problem satysfakcji klienta przestał być elementem czysto teoretycznym, a coraz szersze grupy przedsiębiorstw dostrzegają konieczność większej dbałości o klienta. Występujące na rynku wyroby i usługi stają się coraz bardziej podobne pod względem jakości materiałów, technologii, a nawet ceny, stąd też elementy te przestają odgrywać decydującą rolę w „grze rynkowej”. Czynnikiem, decydującym o konkurowaniu z innymi firmami są relacje z klientami budowane poprzez właściwy system informacji, obsługi i opieki. Tendencje występujące w działaniach przedsiębiorstw dowodzą tezy, że jakość i marketing to niewątpliwie dwie wzajemnie przenikające się ze sobą dziedziny.

Pojęcie jakości wiąże się z nowoczesnym przedsiębiorstwem, w którym jakość nie dotyczy tylko produktu, wyrobu i nie może być kontrolowana, lecz jest wynikiem planowych działań, w którym **zarządzanie jakością** jest procesem innowacyjnym skierowanym na spełnienie oczekiwań odbiorców, obejmującym m.in. – planowanie strategiczne jakości i zaprojektowanie oraz wdrożenie systemu.

Potrzeby klienta są podstawowym parametrem wyznaczającym jakość produktów i usług, a jego ocena jest jednym z mierników jakości. Badanie stopnia zadowolenia klienta jest, zatem narzędziem pozwalającym na sprawdzenie i zweryfikowanie jakości własnych wyrobów lub usług.

Pierwsza z ośmiu zasad zarządzania jakością oparta na koncepcji TQM mówi: „Przedsiębiorstwa zależą od swoich klientów i dlatego powinny zrozumieć obecne i przyszłe ich potrzeby, spełniać wymagania klienta i starać się przekroczyć jego oczekiwania”.

Zasada ta znalazła przełożenie na konkretne zapisy w kolejnych wydaniach norm serii ISO 9001:2000 oraz pozostałych normach jakościowych, w których szczególnie nacisk kładzie się na zobowiązania wobec klienta, podkreślając jednocześnie odpowiedzialność kierownictwa oraz procesowego podejścia do zarządzania i badania satysfakcji klienta [10].

Punkt 3.1.4 normy PN-EN ISO 9000:2006 zdefiniowano zadowolenie klienta jako percepcję dotyczącą stopnia, w jakim jego wymagania zostały spełnione. Zgodnie z tą zasadą wymagane jest, by organizacje podejmowały działania w kierunku zrozumienia obecnych i przyszłych potrzeb klienta, tak, aby spełniały jego wymagania oraz podejmowały starania, wykraczające ponad jego oczekiwania.

Punkt 5.2 normy ISO 9001 „Orientacja na klienta” wyraźnie precyzuje by organizacja dążyła by obecne wymagania klientów były rozumiane i zaspokojone do stałego wzrostu satysfakcji. Wymaganie to dotyczy także potrzeb i oczekiwań innych stron zainteresowanych np. lokalnej społeczności, środowiska. Norma ISO 9001 wprowadza także w **punkcie 8.2** wymóg oceny funkcjonowania systemu zarządzania jakością poprzez badanie stopnia zadowolenia klienta.

Założenia dotyczące relacji klient-organizacja zawierają także inne normy z obszaru jakości, w tym norma określająca wymagania dotyczące kompetencji laboratoriów badawczych i wzorcujących PN-ISO/IEC 17025:2005, która wprowadza do punktu 4.7 wymagania związane z koniecznością uzyskiwania informacji zwrotnych od swoich klientów na przykład poprzez badanie ich stopnia zadowolenia.

Tak, więc zagadnienia związane z pojęciem *Customer Satisfaction*, a tym samym badaniami poziomu zadowolenia klienta znacznie wykraczają poza obszar działalności marketingowej organizacji i coraz powszechniej wiążą się z systemem zarządzania, a tym samym systemem zarządzania jakością.

2. Satysfakcja klienta – metody i techniki pomiaru

Przyjmuje się, że kluczowa dla satysfakcji klienta jest relacja pomiędzy subiektywną oceną poziomu wykonania usługi, a oczekiwaniami klienta. Zgodnie z tym wzorcem, satysfakcja powstaje w sytuacji, gdy subiektywna ocena poziomu wykonania usługi jest, co najmniej równa oczekiwaniom. Satysfakcja klienta bywa też często definiowana jako kluczowy element relacji klient-dostawca, wpływający na kształtowanie się długoterminowej współpracy pomiędzy usługodawcą i usługobiorcą.

Satysfakcja jest zatem stanem psychicznym, odczuwanym przez nabywcę w czasie użytkowania nabytego produktu lub korzystania z zakupionej usługi. Satysfakcja zależy od cech osobowych nabywcy i wynika ze stopnia zgodności oczekiwań dotyczących cech i walorów – ogólnie korzyści produktu – z faktycznymi jego wartościami.

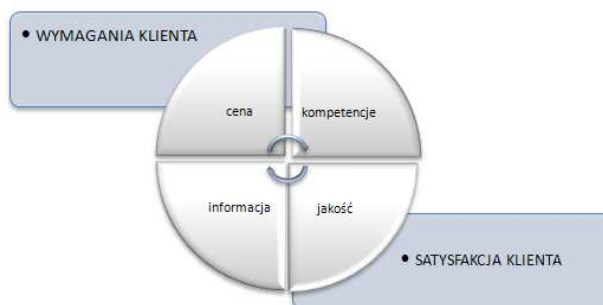
Według koncepcji *relationship marketing*, satysfakcja klienta stanowi główny czynnik determinujący lojalność wobec usługodawcy, poprzez porównanie postrzeganych cech produktu i oczekiwań jego zdolności do zaspokajania odczuwanej potrzeby. Najwyższy stopień zadowolenia wywołują wyroby lub usługi przekraczające oczekiwania, co jest główną podstawą elementu lojalności wobec produktów i firm je oferujących. Satysfakcja Klienta jest również czynnikiem, który w sposób wyraźny przekłada się na finansowy sukces firmy świadczącej usługę.

Wyniki amerykańskich badań rynkowych wskazują, że lojalny, stały klient to podstawowe źródło dochodów przedsiębiorstwa. Obliczono, że korzyść w dochodach firm, które mają stałych klientów wynosi 1:5. Oznacza to, że każda jednostka pieniężna wydawana na podwyższenie zadowolenia klienta może przyczynić się do zwiększenia sprzedaży o 5 jednostek pieniężnych. Tymczasem okazuje się, że pozyskanie nowego klienta kosztuje 5-7 razy więcej niż utrzymanie klienta stałego i lojalnego.

Badania wskazują, iż istnieje zależność pomiędzy wzrostem lojalności i wzrostem dochodów. Ocenia się, że wzrost lojalności klientów o 5% może przynieść wzrost dochodu od 25 do 85%, w zależności od gałęzi przemysłu. Zadowoleni klienci są najbardziej skuteczną formą reklamy [10].

Satysfakcja klienta jest, zatem nadrzędnym celem organizacji, a do podstawowych elementów składowych zalicza się (rys. 1):

- stałość utrzymywania wysokiej jakości wyrobu/ usługi,
- konkurencyjność ceny,
- dostępność wyrobu/ usługi w określonym czasie,
- kompetencje,
- natychmiastową reakcją na zgłoszoną reklamację,
- informację wzbogacającą wiedzę o wyrobie/ usłudze.



Rys.1. Elementy składowe satysfakcji klienta [12]

Organizacje najczęściej gromadzą informacje na temat zadowolenia klientów poprzez analizę zgłaszanych reklamacji, a także poprzez wywiady z klientami. Analizy reklamacji dokonują najczęściej duże organizacje, natomiast na wywiadach koncentrują się usługodawcy [9].

Brak metod zbierania danych od klientów, szczególnie od tych wprawdzie niezadowolonych, ale nie zgłaszających uwag lub skarg lub tych, którzy rezygnują ze współpracy i nie są pytani o powód tej decyzji, prowadzi niejednokrotnie do fałszywego obrazu w obszarze jakości swoich usług.

Usystematyzowany sposób i forma zbierania danych o potrzebach klientów powinny uwzględniać wiele aspektów, wśród których należy wymienić [3]:

- istniejące zasady przeglądu umowy,
- zapytania ofertowe składane przez klientów,
- dane o potrzebach klientów uzyskane podczas bezpośrednich kontaktów,
- informacje o strukturze serwisowej,
- dane o ilości i charakterze reklamacji.

Pomiar satysfakcji klienta powinien spełniać trzy podstawowe zadania:

- eliminować pojedyncze przypadki identyfikując niezadowolenie klienta na przykład poprzez wymianę produktu, naprawę, odszkodowanie,
- wyszukiwać potencjał naprawczy mający na celu zapobieganie błędom i nie powielanie ich,
- doskonalenie systemu organizacji pracy w celu stałego wzrostu satysfakcji klienta [5].

Pomiar satysfakcji może być dokonywany za pomocą różnorodnych metod i technik badawczych. Dobre ich zależny jest od szeregu czynników, do których zaliczyć można: charakter oferowanego wyrobu/usługi, charakter klientów. Logicznym jest, iż zupełnie inne metody i kryteria oceny dobierane będą dla klienta nabywającego produkt masowy, a zupełnie inne dla odbiorcy usługi o jednostkowym charakterze. Dotyczy to również tak delikatnego obszaru, jakim są badania wykonywane przez laboratoria posiadające wdrożony system zarządzania zgodny z PN-ISO/IEC 17025:2005, bądź usług związanych z certyfikacją wyrobów zgodnie z PN EN 45011:2000.

Techniki zbierania informacji od klientów mogą mieć różnorodny charakter, począwszy od badań ankietowych poprzez wywiady, sprawozdania z rozmów i wyjazdów służbowych, kończąc na bezpośrednich spotkaniach z klientami.

W praktyce, w badaniach wykorzystuje się: indywidualne wywiady pogłębione (*In-Depth Interviews*), zogniskowane wywiady grupowe (*Focus Group Interviews*), wywiady telefoniczne (*CATI – Computer Assisted Telephone Interviews*), czy ankiety pocztowe [4].

Wybór zastosowanej przez organizację metody badania satysfakcji klienta zależy od warunków i obszaru, w jakim funkcjonuje przedsiębiorstwo, branży, rodzaju oferowanego produktu lub usługi oraz samego klienta.

Istotnym elementem, wiążącym się z przeprowadzaniem badaniami jest dokonanie faktycznego pomiaru satysfakcji poprzez podanie wymiernych wskaźników satysfakcji. Najpopularniejszymi metodami względnie technikami są:

- CSI (Customer Satisfaction Index), wskaźnik zadowolenia klienta, który pozwala zidentyfikować trendy i priorytety oraz dokonać poprawy produktu. CSI uwzględnia względną istotność poszczególnych cech produktu/usługi oraz na podstawie ocen klientów ustala wagi poszczególnych wskaźników. Metoda ta pozwala na analizę poziomu zadowolenia klienta pod względem każdej cechy istotnej z punktu widzenia satysfakcji klienta, jak i całości produktu/usługi. Jest też doskonałym narzędziem do podejmowania decyzji związanych ze strategią marketingową firmy. Pozwala analizować zmiany preferencji i oceniać poziom satysfakcji z produktów konkurencji [6]. Badanie CSI daje odpowiedź na pytania:
 - jakie są oczekiwania klienta co do produktu/usługi?
 - które z tych oczekiwań mają największą wartość dla klienta?
 - w jakim stopniu analizowany produkt spełnia te oczekiwania?
 - w jakim stopniu konkurencja spełnia te oczekiwania?

- CIT (Critical Incident Technique), technika zdarzeń krytycznych, która polega na analizie zdarzeń krytycznych. Na metodę tę składa się zestaw ściśle określonych procedur gromadzenia obserwacji ludzkich zachowań i ich klasyfikacji w taki sposób, by mogły służyć definiowaniu występujących problemów. Metoda CIT polega na rejestrowaniu określonych interakcji pomiędzy klientami i pracownikami firmy usługowej, które albo są szczególnie zadowolające albo niezadowolające [2].
- Metoda Servqual – która polega na zarządzaniu „lukami”, czyli na pomiarze różnic pomiędzy poziomem zaspokojenia oczekiwań a postrzeganiem usług przez klienta, zdefiniowanych w postaci pięciu luk dotyczących jakości usług. W metodzie Servqual badanych jest pięć najważniejszych wymiarów usług, które są oceniane i porównywane. Metoda ta pozwala na ocenę ogólnego poziomu realizacji usług oraz uzyskanie informacji dotyczących przyczyn powstawania problemów związanych z jakością usług [8].

Badania ankietowe to najbardziej popularny sposób uzyskiwania informacji od klientów na temat obszarów współpracy. Kierowane do klienta pytania pozwalają:

- wskazać powody, dla których klient decyduje się na usługi określonej organizacji – mogą to być: dobre wcześniejsze kontakty, renoma jednostki, opinie otoczenia, atrakcyjna cena fachowa obsługa oraz doradztwo, łatwość dotarcia do siedziby.
- określić poziom kwalifikacji i profesjonalizmu poprzez merytoryczną poprawność wykonania usługi, kompetencje personelu, czas realizacji usługi, prowadzenie konsultacji, kulturę obsługi, koszt usługi jakość wydanych dokumentów,
- usystematyzować i sklasyfikować obszary usług w zależności od ich przeznaczenia np.: badania w celu uzyskania opinii (ekspertyzy), eksperta, uzyskanie atestu, uzyskanie certyfikatu, uzyskanie aprobaty technicznej, wystawienie deklaracji zgodności z normami zlecenie opracowania nowej dokumentacji technicznej,
- ocenić jakość usługi na różnych etapach jej realizacji.

Warto także zwrócić uwagę na niezwykle istotny element pomiaru satysfakcji, jakim jest monitorowanie wyników. W odróżnieniu od pomiaru, monitorowanie wskazuje, że jest to czynność powtarzana w sposób stały, bądź okresowy, co wiąże się w konsekwencji z koniecznością wyłonienia reprezentatywnej grupy klientów, których wyniki badań będą możliwe do zastosowania dla całej populacji. Monitorowanie stanowi element decydujący o podejmowanych w organizacji działaniach zapobiegawczych oraz doskonalących. Podczas analizy wyników należy każdorazowo rozważyć na ile informacja ta jest wiarygodna i istotna oraz

w jakim zakresie powinna ona stanowić punkt wyjścia do głębokiej analizy oraz wypracowania propozycji zmian [1].

3. Ocena jakości usług w obszarze prac projektowych, badań i usług certyfikacyjnych poprzez pomiar satysfakcji klienta, na przykładzie badań ankietowych prowadzonych przez CMG KOMAG

Jednym z nieodłącznych elementów polityki jakości realizowanym w CMG KOMAG od 2001 roku jest stałe badanie stopnia zadowolenia klienta. Ma ono na celu systematyczne monitorowanie zmieniającego się rynku, jego potrzeb i wymagań w odniesieniu do świadczonych usług. Pomiar satysfakcji klienta jest oceną obsługi, jaką jednostka zapewnia swoim klientom, a jednocześnie jest miarą sukcesu. Coroczne poznanie postaw klientów wobec oferty CMG KOMAG umożliwia dostosowanie działań do wymagań nabywców tym bardziej, że oferowane przez jednostkę usługi obejmują bardzo różnorodne obszary działalności – od wykonywania ekspertyz i opinii poprzez tworzenie projektów nowych maszyn i urządzeń, a kończąc na badaniach laboratoryjnych oraz dobrowolnej ocenie zgodności i wydawaniu certyfikatów.

Zadaniem nadrzędnym jest określenie stopnia zadowolenia klientów w zakresie oferty świadczonych usług poprzez:

- zbadanie postrzegania organizacji przez odbiorców,
- oceny, w jakim stopniu firma spełnia oczekiwania klientów,
- określenie silnych i słabych stron firmy, przy szczególnym uwzględnieniu obszarów wymagających poprawy.

W prowadzonych badaniach, jako formę pomiaru stosuje się kwestionariusz ankiety. Narzędzie badawcze składa się przede wszystkim z pytań o charakterze zamkniętym. Ponadto respondentom stworzono możliwość otwartego wypowiedzenia się w punktach „Uwagi i sugestie”. Ankietowani mają do wyboru 6-stopniową skalę ocen: oceny negatywne: „poniżej standardu”, „źle”, „bardzo źle” od „bardzo źle”, oceny pozytywne: „bardzo dobrze”, „dobrze”, „poprawnie” oraz ocenę neutralną - „nie mam zdania”.

Prezentowane wybrane wyniki badań za 2007 rok udowodniły, że ogólna ocena stopnia zadowolenia świadczonych przez CMG KOMAG usług wypadła bardzo pozytywnie. Wśród ankietowanych, 43% odpowiedziało, że są „bardzo zadowoleni”, 51% „zadowoleni”, a 6% deklarowało „umiarkowane zadowolenie” z poziomu usług świadczonych przez CMG KOMAG.

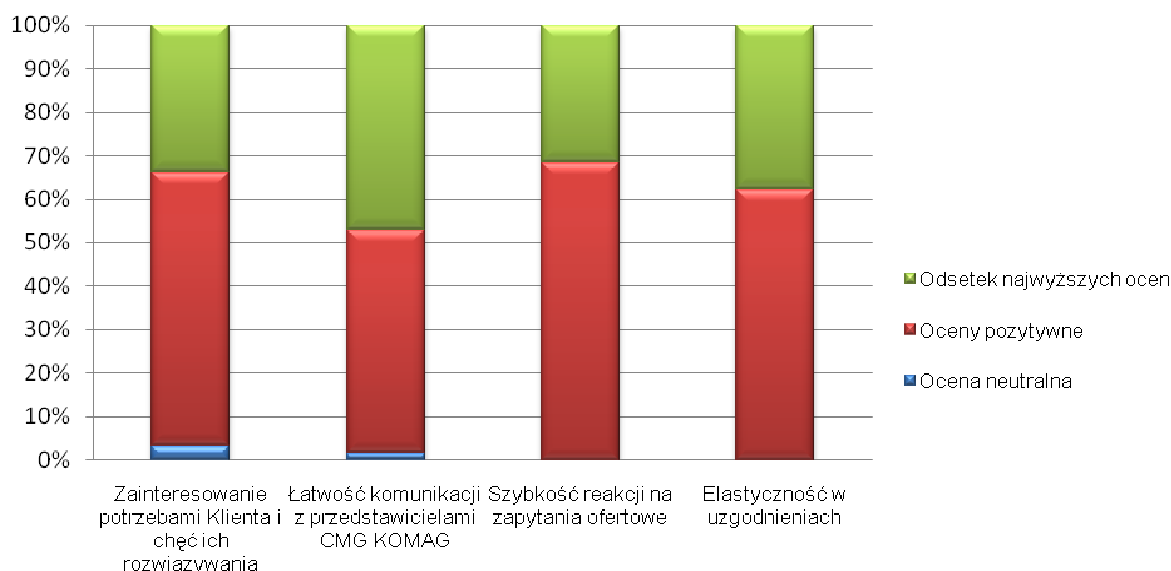
Należy jednak podkreślić, że dla doskonalenia systemu współpracy z klientami, w ankiecie przeprowadzonej przez CMG KOMAG zdecydowanie bardziej istotne są wyniki oceny szczegółowej dotyczącej poszczególnych etapów realizacji, w ramach których wyróżniono następujące kategorie:

1. Pierwszy kontakt i początek współpracy:

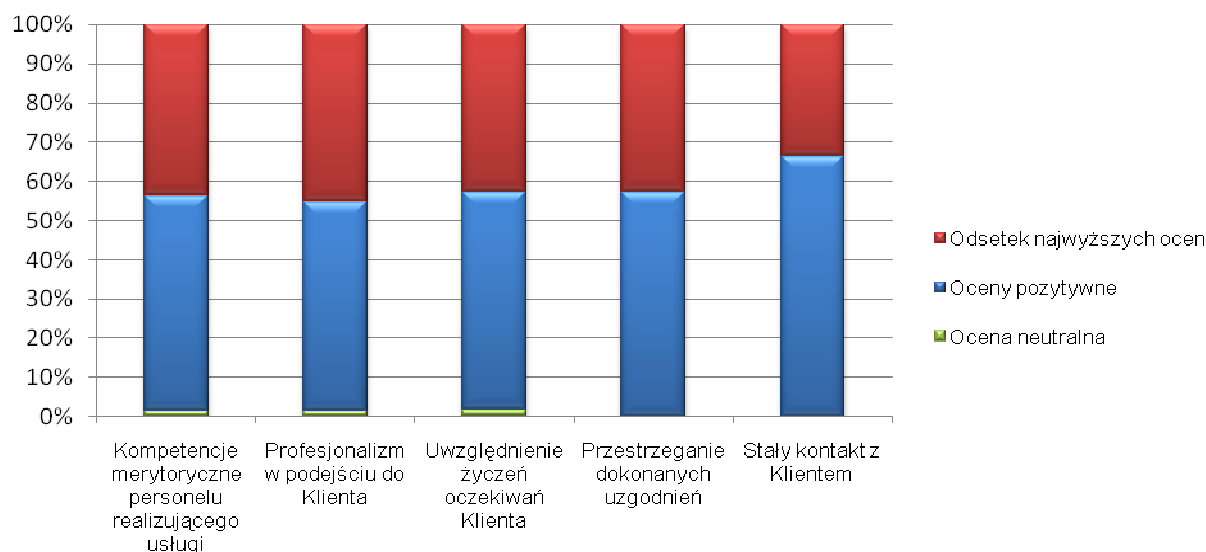
- zainteresowanie potrzebami Klienta i chęć ich rozwiązywania,
- łatwość komunikacji z przedstawicielami jednostki,
- szybkość reakcji na zapytanie ofertowe,
- elastyczność w uzgodnieniach.

2. Realizacja usługi:

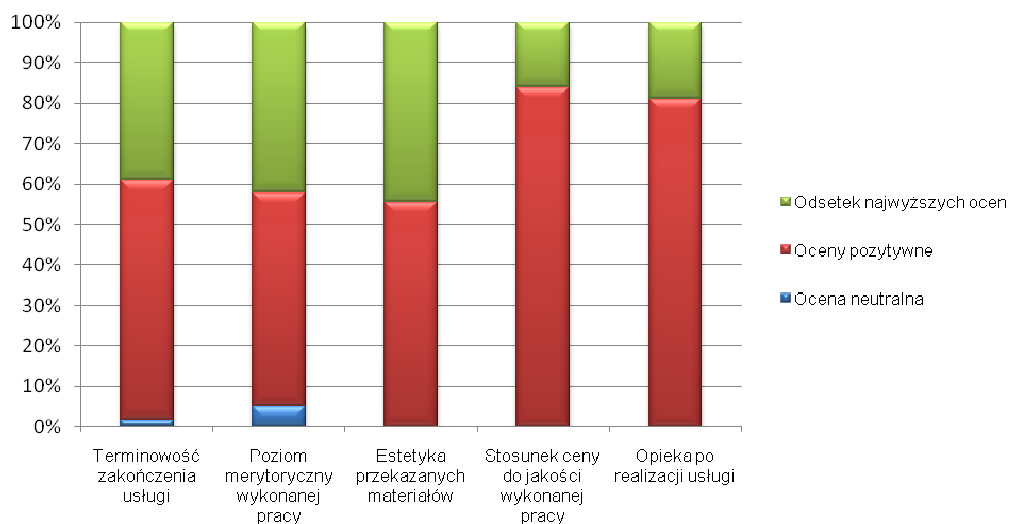
- kompetencje merytoryczne personelu realizującego usługę,



Rys.2. Ocena pierwszego kontaktu i początku współpracy – ogólne wyniki [11]



Rys.3. Ocena realizacji usług – ogólne wyniki [11]



Rys.4. Ocena etapu końcowego współpracy – ogólne wyniki [11]

- profesjonalizm w podejściu do Klienta,
- uwzględnienie życzeń i oczekiwań Klienta,
- przestrzeganie dokonanych uzgodnień,
- stały kontakt z Klientem.

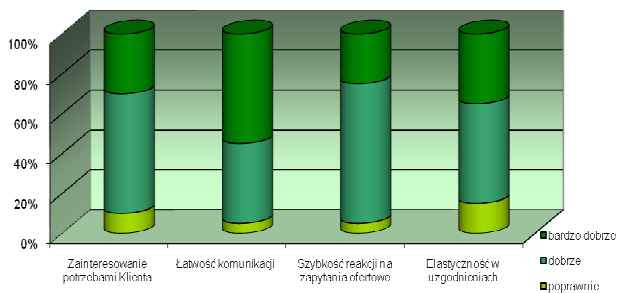
3. Etap końcowy współpracy:

- terminowość zakończenia usługi,
- poziom merytoryczny wykonanej pracy,
- estetyka przekazanych materiałów,
- stosunek ceny do zakresu wykonanej pracy,
- opieka po realizacji usługi.

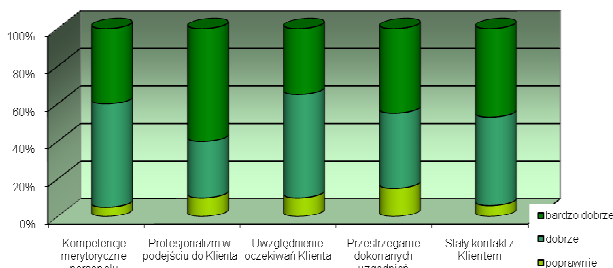
Zbiorcze wyniki badań poszczególnych etapów dla wszystkich obszarów działalności CMG KOMAG zostały przedstawione na rysunkach 2, 3 i 4. Warto podkreślić, że pomimo ogólnej pozytywnej oceny kierownictwo jednostki ma świadomość potrzeby stałego doskonalenia, szczególnie w obszarach, które uzyskały najniższe oceny.

Niezależnie od ogólnej oceny usług CMG KOMAG, ankieta miała także na celu zbadanie odczuć Klientów w poszczególnych grupach usług realizowanych przez jednostkę, obejmujących: projektowanie maszyn i urządzeń, badania laboratoryjne i pomiary eksploatacyjne, certyfikację i ocenę wyrobu oraz usługi z zakresu opinii i ekspertyz, zezwoleń i raportów. Wyniki ankiety były zróżnicowane, gdyż w zależności od charakteru usług klienci mieli nieco inne oczekiwania i priorytety.

W przypadku usług dotyczących wydawania opinii, ekspertyz, zezwoleń oraz projektów maszyn i urządzeń sporządzanych przez specjalistów CMG KOMAG, z których korzysta 40% przebadanych Klientów, najlepiej oceniono „łatwość komunikacji z przedstawicielami CMG KOMAG” oraz „kompetencje pracowników”. Ankietowani słabiej ocenili „elastyczność w uzgodnieniach”. Wyniki badań z zakresu wydawania opinii, ekspertyz, zezwoleń oraz projektów maszyn i urządzeń przedstawiono na rysunku 5 i 6.

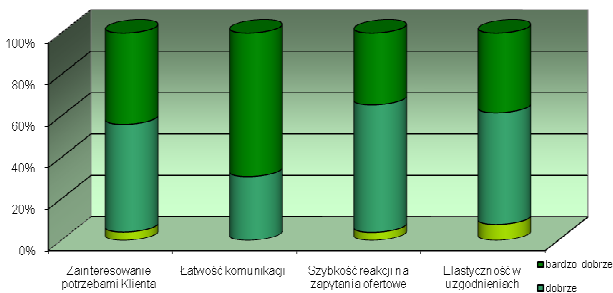


Rys.5. Ocena pierwszego kontaktu i początku współpracy – ekspertyzy i projekty maszyn [11]

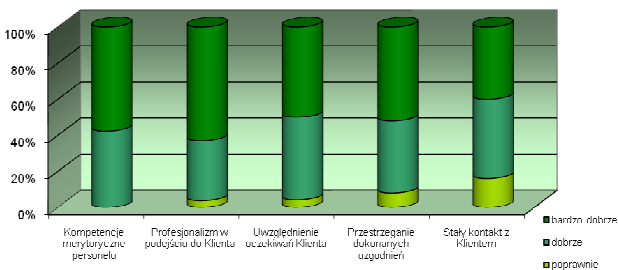


Rys.6. Realizacja usług – ekspertyzy i projekty maszyn [11]

W przypadku badań laboratoryjnych oraz pomiarów eksploatacyjnych, z których korzysta około 52% wszystkich Klientów CMG KOMAG, na etapie „Pierwszy kontakt i początek współpracy” Klienci zdecydowanie najlepiej ocenili „łatwość komunikacji”, najniższe oceny otrzymała kategoria „szybkość reakcji na zapytania ofertowe”, natomiast na etapie „Realizacja usług” bardzo wysoko oceniono „kompetencje merytoryczne” pracowników laboratoriów oraz „profesjonalizm w podejściu do Klienta”, co przedstawiono na rysunkach 7 i 8.



Rys.7. Pierwszy kontakt i początek współpracy w laboratoriach [11]

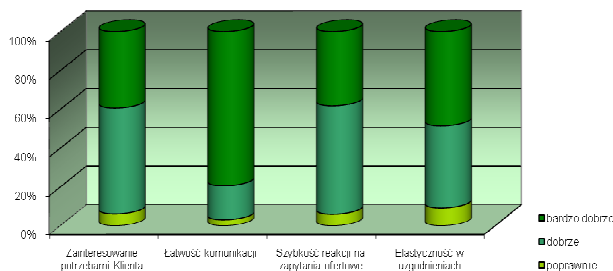


Rys.8. Realizacja usług w laboratoriach badawczych [11]

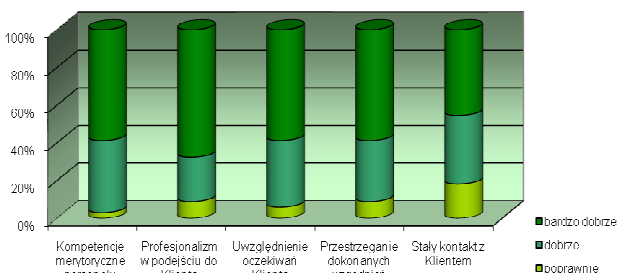
Wyniki szczegółowej analizy ankiety w laboratoriach wykazały pozytywne efekty podjętych w 2007 r. działań eliminujących zdarzenia najniżej oceniane, dzięki czemu kategoria „szybkość reakcji na zapytanie

ofertowe” uzyskała zdecydowanie lepsze wyniki niż w 2006 roku. Natomiast w wyniku analizy wyników ankiety z 2007 roku podjęto działania korygujące w ramach „opieki klienta” polegające na informowaniu klientów o zasadach działania laboratoriów badawczych, ich ograniczeniach wynikających z akredytowanych metodyk badawczych, jak również niezależności. Podjęte działania dotyczą szczególnych przypadków, gdy badanie określonego parametru potwierdza niespełnienie określonych wymagań, co w konsekwencji może prowadzić do złudnego negatywnego odczucia klienta, iż jego oczekiwania (wynik badania) jest negatywny. W takiej sytuacji bardzo ważną rolę staje się współpraca po zakończeniu usługi. Klient może uzyskać negatywne wyniki, ale pomimo tego powinien być zadowolony – zadaniem personelu laboratorium jest wyjaśnienie wszelkich wątpliwości, co do wiarygodności i poprawności wyników.

W przypadku usług z zakresu oceny zgodności i certyfikacji wyrobów, z których korzysta około 68% wszystkich Klientów CMG KOMAG, ankieta wykazała, że na etapie pierwszego kontaktu bardzo wysoko oceniono „łatwość komunikacji”, natomiast w trakcie realizacji usługi równie wysoko oceniono kompetencje merytoryczne pracowników. Wyniki tych badań przedstawiono na rysunku 9 i 10.



Rys.9. Pierwszy kontakt i początek współpracy w jednostce certyfikującej wyroby [11]



Rys.10. Realizacja usług certyfikacyjnych [11]

Wynik ankiety, analogicznie jak w przypadku laboratoriów wskazuje, że w wielu przypadkach oczekiwania Klientów w stosunku do jednostki certyfikującej znacznie wybiegają poza prawne możliwości jej działania, co wynika często z braku wiedzy na temat niezależności i bezstronności w działaniu jednostki certyfikującej. Klient, w tym obszarze może zatem posiadać negatywne odczucia szczególnie wtedy, gdy jego wy-

rób nie przejdzie pozytywnie procesu oceny. Stąd też jego subiektywna ocena powinna być każdorazowo poddawana analizie w aspekcie innych ocenianych kategorii.

Podsumowując wyniki ankiety przeprowadzonej w 2007 roku można stwierdzić, że najwyżej ocenianymi kategoriami były: „łatwość komunikacji z przedstawicielami CMG KOMAG”, „kompetencje merytoryczne pracowników” oraz „estetyka przekazanych materiałów”. Istnieją jednak aspekty wzajemnych relacji, które otrzymują oceny określane jako poprawne, a więc nie mieszczące się w skali ocen „dobre” lub „bardzo dobre”. Spośród tych kategorii zdecydowanie najsłabiej oceniono: „zainteresowanie potrzebami Klienta”, „stały kontakt z Klientem” oraz „terminowość”. Uzyskane wyniki ankiety stanowiły podstawę do podjęcia działań doskonalących.

4. Podsumowanie

Satysfakcja klienta to podstawowy czynnik warunkujący wzrost konkurencyjności rynku. Każda organizacja przeprowadzająca badania satysfakcji klienta uzyskuje szereg istotnych informacji, na temat:

- całościowego postrzegania firmy przez klientów,
- stopnia spełnienia oczekiwań klientów oraz poziomu ich satysfakcji,
- identyfikacji kryteriów odgrywających kluczową rolę w ocenie współpracy klientów z dostawcą,
- głównych wyznaczników satysfakcji oraz niezadowolonia,
- obszarów, gdzie firma może podjąć działania naprawcze,
- stopniowanej skali dla czynników wpływających na ocenę obsługi,
- silnych i słabych stron w zakresie obsługi przy szczególnym uwzględnieniu obszarów wymagających poprawy.

Prowadzenie badań stopnia zadowolenia czy ogólnie relacji „klient-organizacja” przynosi szereg korzyści, do których zaliczyć należy większą lojalność klientów, prowadzącą do większej ilości wykonywanych usług na jego rzecz, a tym samym wzrostu zysków.

Wyniki przeprowadzonych w CMG KOMAG szczegółowych badań pozwoliły na ocenę funkcjonującego w jednostce systemu zarządzania jakością, jak również pozwoliły dokonać oceny poszczególnych ogniw struktury organizacyjnej w aspekcie powiązań relacji klient-przedsiębiorstwo, stały się również pomocne przy ocenie:

- poziomu i skuteczności przekazywanej informacji reklamowej,
- trwałości kontaktów z klientem,
- jakości pracy poszczególnych zakładów i działów,

- kompetencji merytorycznych pracowników,
- jakości usług,
- przyszłych oczekiwań jakościowych klientów.

Badanie satysfakcji jest podstawą do wprowadzenia ulepszeń. Pozwala określić potrzeby obecnych oraz potencjalnych klientów, zidentyfikować problemy i słabości jednostki oraz określić najważniejsze cechy wyrobu/usługi i porównać je z konkurencją. Pomiar satysfakcji klienta musi być stale ponawiany, a jego wyniki powinny być każdorazowo przedstawiane wszystkim pracownikom, w celu podkreślenia znaczenia tego zagadnienia oraz w celu poszukiwania sposobów służących doskonaleniu.

Literatura

1. Klieniewski A.: Monitorowanie percepcji klienta. „Problemy Jakości” nr 11/2005.
2. Krzyżanowska M., Wajdner R.: CIT – metoda badania jakości usług. „Problemy Jakości” nr 11/2000.
3. Leist R.: Praktyczne Zarządzanie Jakością. Metody i narzędzia stosowane do planowania i utrzymania systemów zarządzania jakością w przedsiębiorstwach wg norm serii ISO 9000. Wydawnictwo Informacji Zawodowej WEKA Sp. z o.o., ostatnia aktualizacja listopad 2000.
4. Marciniak B.: Badanie satysfakcji Klientów – problemy i metody badawcze. „Marketing i Rynek” nr 11/2000.
5. Nieżurawski L., Witkowska J.: Pojęcie satysfakcji klienta. „Problemy Jakości” nr 7/2007.
6. Rodriguez F.: Pomiar współczynnika Klienta. Biuletyn Informacyjny Klubu POLSKIE FORUM ISO 9000 nr 3(33) 1999.
7. Szczepańska K.: Parametr satysfakcji Klienta w koncepcji TQM. Biuletyn informacyjny Klubu Polskie Forum ISO 9000 nr 2(32) 1999.
8. Sidor M.: Ocena jakości usług za pomocą metody Servqual. „Marketing i Rynek” nr 11/2000.
9. Szymczak J., Urbaniak M.: Satysfakcja klienta jako wyznacznik konkurencyjności przedsiębiorstw. Studia empiryczne, „Problemy Jakości” nr 12/2006.
10. Szkrzypek A.: Satysfakcja i lojalność klienta w konkurencyjnym otoczeniu. „Problemy Jakości” nr 7/2007.
11. Badanie zadowolenia klienta w CMG KOMAG za rok 2007. Opracowanie własne.
12. Zając R.: Badanie satysfakcji klienta w kontekście zarządzania jakością usług. Zarządzanie Jakością nr 3/2007.

Artykuł wpłynął do redakcji w czerwcu 2008 r.

Recenzent: dr inż. Antoni Kozieł