

2(130)2012

Kwartalnik naukowo-techniczny
ROK XXX, czerwiec 2012

Zespół Redakcyjny:

Redaktor Naczelny:

dr inż. Antoni Kozieł

Z-ca Redaktora Naczelnego:

dr inż. Edward Pieczora

Sekretarz Redakcji:

mgr inż. Romana Zając

Redaktor statystyczny:

mgr Magda Szczygłowska

Redaktor językowy:

mgr Anna Okulińska

Redaktorzy tematyczni:

prof. dr hab. inż. Marek Jaszczyk

prof. dr hab. inż. Adam Klich

prof. dr hab. inż. Zdzisław Kłeczek

prof. dr hab. inż. Aleksander Lutyński

prof. dr inż. Włodzimierz Sikora

dr hab. inż. Stanisław Szweda,

prof. nadzw. w Pol. Śl.

prof. dr hab. inż. Teodor Winkler

Wydawca

Instytut Techniki Górniczej KOMAG

ul. Pszczyńska 37, 44-101 Gliwice

tel. 32 2374 528

fax 32 2374 304

<http://www.komag.eu>

Redakcja nie zwraca nadsyłanych
artykułów i nie odpowiada za treść
ogłoszeń i reklam.

Wersję papierową wydawanego
kwartalnika należy traktować jako
wersję pierwotną.

Skład i druk:

KOMDRUK-KOMAG Sp. z o.o.

ul. Pszczyńska 37, 44-101 Gliwice

tel.: 32 2374 563

Nakład 180 egz.

PL ISSN 0209-3693

Szanowni Państwo

Zapewnienie wysokiego poziomu wydawanych czasopism naukowych jest jednym z zadań Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego. W tym celu stosowany jest system oceny czasopism, któremu podlega również nasz kwartalnik naukowo-techniczny „Maszyny Górnicze”.

W 2011 r. opracowano nowy system kryteriów i zasad, który zwraca szczególną uwagę na przestrzeganie zasad etyki podczas publikowania i recenzowania publikacji. Redakcja „Maszyn Górniczych” podjęła szereg działań związanych z doskonaleniem naszego wydawnictwa, począwszy od zmian w składzie Rady Programowej, zmian w strukturze redakcji, poprzez opracowanie regulaminu i procedur wydawania oraz recenzowania zgłaszanych publikacji.

Modyfikacji uległa również strona internetowa naszego kwartalnika. Liczymy, że podjęte przez nas zmiany wpłyną na podniesienie jego merytorycznej i edytorskiej jakości.

W bieżącym numerze prezentujemy wyniki prac badawczych z obszaru projektowania i badań maszyn wyciągowych, obudowy zmechanizowanej oraz ochrony środowiska. Szczególną uwagę chcielibyśmy zwrócić na artykuły poświęcone zagadnieniom badań spoin, redukcji zapylenia na przesypach przenośników taśmowych oraz wyładowań elektrostatycznych na powierzchni dielektryków stałych. Powyższa tematyka wiąże się ściśle z zaleceniami raportu Wyższego Urzędu Górniczego z 2011 r. w zakresie stosowania skutecznych układów zraszania w kombajnach ścianowych i chodnikowych oraz na przesypach przenośników taśmowych transportujących urobek, jak również stosowania materiałów, maszyn i urządzeń zgodnie z dyrektywą ATEX.

Polecamy również publikację dotyczącą tworzonej nowej Polskiej Normy n.t.: węży i przewodów hydraulicznych stosowanych w górniczych napędach i sterowaniach hydraulicznych. Mamy nadzieję, że również pozostała tematyka niniejszego wydania wzbudzi Państwa zainteresowanie.

Życząc przyjemnej lektury zapraszamy tradycyjnie do współpracy z redakcją „Maszyn Górniczych”.

Redaktor Naczelny
dr inż. Antoni Kozieł

Spis treści	Contents
PROJEKTOWANIE I BADANIA	DESIGNING AND TESTING
Kowal L., Turewicz K., Kruczek T.: Pomiary temperatury tarcz hamulcowych maszyn wyciągowych górniczych wyciągów szybowych 3	Kowal L., Turewicz K., Kruczek T.: Measurements of temperature of brake disks in hoisting machines of mine shaft hoists 3
Rakwicz B., Wojtynek R.: Ocena stanu złączy spawanych w elementach sekcji ścianowej obudowy zmechanizowanej oraz odkuwek elementów zawiesi za pomocą badań nieniszczących 13	Rakwicz B., Wojtynek R.: Assessment of condition of welded joints in the components of powered roof support as well as of forgings of hooks and slings with use of non-destructive tests 13
Talarek M.: Badania rozkładu potencjału elektrostatycznego na powierzchni dielektryków stałych 22	Talarek M.: Testing the distribution of electrostatic potential on the surface of solid dielectric materials 22
Tomas A.: Oddziaływania magnetyczne w technice przeniesienia napędu 27	Tomas A.: Magnetic interactions in drive transmission technology 27
SZYBY I MASZyny WYCIĄGOWE	SHAFTS AND HOISTING MACHINES
Barańska H., Zygmunt A., Szczygiel M.: Wybrane zagadnienia bezpieczeństwa górniczych wyciągów szybowych 34	Barańska H., Zygmunt A., Szczygiel M.: Selected problems of safety of mine shaft hoists 34
OCHRONA ŚRODOWISKA	ENVIRONMENT PROTECTION
Ślusarek A.: Redukcja hałasu wybranych maszyn i urządzeń górniczych 43	Ślusarek A.: Reduction of noise of selected mining machines and equipment 43
Bałağa D., Siegmund M., Urbanek A.: Nowe rozwiązania urządzeń zraszających ograniczające zagrożenia pyłowe w górnictwie 50	Bałağa D., Siegmund M., Urbanek A.: New solutions of spraying devices eliminating dust hazard in the mining industry 50
JAKOŚĆ, CERTYFIKACJA, NORMALIZACJA, ZARZĄDZANIE	QUALITY, CERTIFICATION, STANDARDIZATION, MANAGEMENT
Zajac R., Wierzbicka D., Czerniak D.: Wymagania techniczne dla węży i przewodów hydraulicznych wzmocnionych drutem stosowanych w napędach i hydraulicznych układach sterowania maszyn i urządzeń górniczych 56	Zajac R., Wierzbicka D., Czerniak D.: Technical requirements for hoses and hydraulic pipes strengthened with wire, which are used in drives and hydraulic control systems of mining machines and equipment 56
WARTO PRZECZYTAĆ	WORTH TO READ
Podgórska M.: Recenzje monografii 63	Podgórska M.: Monography review..... 63

Pomiary temperatury tarcz hamulcowych maszyn wyciągowych górnich wyciągów szybowych

Streszczenie

Maszyny wyciągowe górniczych wyciągów szybowych to urządzenia ciężkie o wysokich parametrach ruchowych tj. m.in. prędkości jazdy i wielkości transportowanego ładunku, przeznaczone do transportu urobku, maszyn, materiałów i ludzi pomiędzy powierzchnią kopalni, a jej podziemnymi wyrobiskami. Będące w ruchu urządzenia wyciągowe w niektórych specyficznych warunkach musi zostać zatrzymane hamulcem mechanicznym. W nowoczesnych maszynach wyciągowych są to hamulce tarczowe, które są zdolne zatrzymać będącą w ruchu maszynę o energii od 30 do nawet 150 MJ, wydzielając przy tym ciepło. Nadmierna temperatura może powodować deformacje elementów hamulca lub utratę własności ciernych w układzie tarcza-kłosek hamulcowy. Może to być przyczyną awarii urządzenia, które stanowi jedyną drogę transportową pomiędzy podziemnymi wyrobiskami kopalni, a powierzchnią. W artykule opisano badane urządzenia oraz przedstawiono uzyskane wyniki pomiarów przeprowadzonych na obiektach rzeczywistych i w laboratorium. Identyfikacja ilościowa parametrów pracy występujących podczas hamowania pozwoli na zaprojektowanie nowych rozwiązań tarcz hamulców dla maszyn wyciągowych o większych parametrach ruchu, przy równoczesnym zachowaniu ich niezawodnego działania.

Summary

The hoisting machines of mine shaft hoists are the heavy-duty machines of high operational parameters, i.e. among others speed and size of transported load, which are designed for transportation of run-of-mine, machines, materials and people between the mine surface and mine underground workings. In some special conditions the hoisting machine, which is in operation, must be stopped by a mechanical brake. In the state-of-the-art hoisting machines these are the disk brakes, which are able to stop the operating machine of energy from 30 even up to 150 MJ, with heat generation. Excessive temperature can cause deformation of brake components or loss of frictional properties in a disk – brake shoe system. It can be the reason of a failure of the machine, which is the only transportation way between mine underground workings and the surface. The tested machines are described in the paper and the results of measurements taken on real objects and in the laboratory are given. Quantitative identification of operational parameters that occur during braking will enable to design new solutions of brake disks for the hoisting machines of higher operational parameters, at the same time maintaining reliable operation of these machines.

1. Wprowadzenie

W polskich kopalniach głębokości ciągnięcia sięgają 1000 m. Coraz częściej pojawiają się zapotrzebowania użytkowników na maszyny wyciągowe mogące zagwarantować zasięg do 1300 – 1500 m. W porównaniu do najgłębszych kopalń na świecie, nie są to zbyt wysokie wymagania. W powiązaniu z coraz większymi oczekiwaniami pod względem wydajności stawiają jednak projektantom nowe wyzwania, związane między innymi z odpowiednio skonfigurowanymi hamulcami maszyn zapewniającymi bezpieczne zatrzymanie będącego w ruchu całego wyciągu szybowego.

W polskich kopalniach maszyny wyciągowe transportują ładunki o masach 20 – 30 Mg, z prędkościami 16 – 20 m/s. Rosnące wymagania stawiane przez inwestorów podnoszą te parametry do udźwignięw 40 Mg

i prędkości nawet do 25 m/s, a instalowane w tego typu maszynach silniki napędowe charakteryzują się mocami rzędu 6 – 9 MW.

Będące w ruchu urządzenia wyciągowe, w niektórych specyficznych warunkach, musi zostać zatrzymane hamulcem mechanicznym, w który wyposażona jest maszyna wyciągowa. W nowoczesnych maszynach wyciągowych są to hamulce tarczowe, wyposażone w hydrauliczne siłowniki hamulcowe, które są zdolne zatrzymać będącą w ruchu maszynę wyciągową napędzającą układ o wysokiej energii mechanicznej, wynoszącej od 30 do nawet 150 MJ, która w sytuacjach awaryjnych musi zostać przejęta przez hamulec mechaniczny. Energia ta, w trakcie procesu hamowania hamulcem, w blisko 100 % przekształcana jest w ciepło, które przejmują tarcze hamulcowe oraz okładziny hamulcowe siłowników hamulcowych.

Generowane w trakcie hamowania ciepło powoduje nagrzewanie się zarówno tarcz hamulcowych, jak i materiałów ciernych szczęk hamulcowych. W przypadku tarcz hamulcowych nadmierna temperatura może powodować ich deformacje, a w przypadku okładzin szczęk hamulcowych może spowodować utratę ich właściwości ciernych i znaczny spadek współczynnika tarcia, a tym samym zmniejszyć skuteczność hamowania. Może to być powodem poważnej w skutkach awarii urządzenia, które stanowi często jedyną drogę transportową pomiędzy wyrobiskami podziemnymi kopalni, a powierzchnią. Zatrzymanie wyciągu z powodu awarii może być przyczyną wstrzymania wydobywania i powstaniem poważnych strat finansowych.

Istotne jest więc, w przypadku projektowania maszyn wyciągowych o dużych mocach, prognozowanie zjawisk cieplnych jakie mogą zaistnieć podczas hamowania maszyny hamulcem mechanicznym. Do tej pory stosowano bardzo uproszczone, analityczne metody określania temperatur tarcz hamulcowych w trakcie procesu hamowania. Nowoczesne narzędzia obliczeniowe dają zdecydowanie większe możliwości. W Instytucie Techniki Górniczej KOMAG podjęto prace mające na celu wykorzystanie nowoczesnych narzędzi obliczeniowych opartych na metodzie elementów skończonych do analizowania zjawisk cieplnych w hamulcach mechanicznych maszyn wyciągowych. Prace te realizowane są wspólnie z Instytutem Techniki Ciepłej i Instytutem Mechanizacji Górnictwa Politechniki Śląskiej. Zakres prowadzonych prac obejmował:

- przeprowadzenie pomiarów temperatury tarcz hamulcowych, za pomocą kamery termowizyjnej, w wybranych obiektach rzeczywistych, podczas hamowania maszyny hamulcem mechanicznym, w określonych warunkach ruchu,
- budowę modelu numerycznego procesu hamowania hamulcem maszyny wyciągowej, do prowadzenia analiz z wykorzystaniem metody elementów skończonych,
- weryfikację modelu w oparciu o przeprowadzone pomiary na obiektach rzeczywistych,
- wykorzystanie wyników analiz numerycznych nagrzewania się tarcz hamulcowych do konfiguracji hamulca maszyny wyciągowej o określonych parametrach ruchowych.

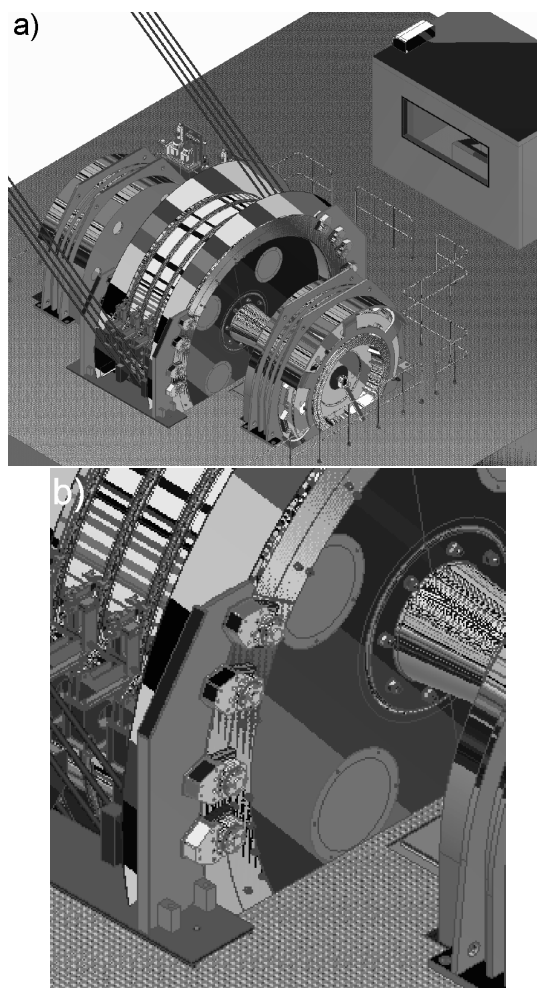
2. Charakterystyka obiektów

Charakteryzując problematykę prezentowanego zadania omówiono i zidentyfikowano obiekty rzeczywiste, jak również zagadnienia związane z procesem hamowania hamulcem mechanicznym maszyny wyciągowej, a tym samym całego wyciągu szybowego.

2.1. Ogólny opis budowy części mechanicznej maszyny wyciągowej

Model przykładowej maszyny wyciągowej czterolinowej z dwoma silnikami o mocy 3600 kW przedstawiono

na rysunku 1. Głównym elementem części mechanicznej takiej maszyny jest wał główny posadowiony w łożyskach tocznych lub ślizgowych mocowanych do ramy fundamentu wraz z linopędnią. Na końcach wału osadzone są wirniki silników elektrycznych wolnoobrotowych prądu stałego oraz linopędnia (bęben pędny typu Koepe), przez który przewijają się liny nośne, na końcach których zawieszone są naczynia transportowe. Po obu stronach bębna zamocowane są tarcze hamulcowe, na które oddziałują siłowniki hamulcowe wyposażone w wykładziny cierne, gwarantujące stabilny, określony współczynnik tarcia pomiędzy nimi, a tarczą hamulcową. Siłowniki hamulcowe sterowane są hydraulicznie, a docisk do tarcz generowany jest sprężynami zainstalowanymi wewnątrz korpusów siłowników.



Rys.1. Maszyna wyciągowa 4L-5500/2x3600 kW
(źródło: opracowanie własne ITG KOMAG)
a) widok maszyny, b) widok siłowników hamulca

Średnica linopędni zależy od średnicy stosowanych lin nośnych, które dobrane są pod względem ich wytrzymałości do mas zawieszonych na ich końcach tj. naczyń, transportowanego ładunku, masy samych lin nośnych i wyrównawczych zwisających w szybie górniczego wyciągu szybowego. Obecnie konfigurowane hamulce maszyn wyciągowych mają dwie tarcze hamulcowe mocowane do pobocznic płaszcza lino-

pędni (po obu jej stronach), o średnicach zbliżonych do średnicy zewnętrznej linopędni. Liczba siłowników hamulcowych niezbędnych do zapewnienia wymaganej pewności statycznej maszyny w trakcie postoju dobierana jest w zależności od niewyrównoważenia sił w linach po obu stronach linopędni, z uwzględnieniem odpowiednich współczynników pewności statycznych układu, wymaganych przepisami i parametrów samych siłowników, czyli generowanej przez nie siły docisku.

2.2. Opis procesu hamowania maszyny hamulcem mechanicznym

W nowoczesnych maszynach wyciągowych ich hamulce nie odgrywają ważniejszej roli w procesie zwalniania maszyny w trakcie realizowania regularnej jazdy wyciągiem szybowym. Zwalnianie będącej w ruchu maszyny wyciągowej odbywa się na drodze zwalniania silnikiem elektrycznym z oddawaniem energii do sieci elektrycznej. Hamulce mechaniczne uruchamiane są w chwili wytracenia prędkości do 0 m/s i pełnią rolę elementów utrzymujących maszynę i cały wyciąg w spoczynku.

Bardzo ważnym zadaniem hamulców maszyn wyciągowych jest jednak zdolność do zatrzymania na drodze mechanicznej, czyli poprzez tarcie okładzin hamulcowych siłowników hamulca o tarcze hamulcowe maszyny wyciągowej, a tym samym całego układu górniczego wyciągu szybowego w sytuacji awaryjnej. Takie zadziałanie hamulca odbywa się w sytuacjach wyjątkowych, np. przy stwierdzeniu poprzez układy kontroli niepoprawnego działania określonych podzespołów maszyny lub też poprzez zainicjowanie tego procesu przez operatora maszyny wyciągowej, który stwierdził konieczność takiego zatrzymania. W takim

trybie hamowania maszyny wyciągowej, całą energię będącego w ruchu wyciągu szybowego muszą przejąć hamulce mechaniczne.

Całkowitą energię będącego w ruchu urządzenia wyciągowego w trakcie hamowania można obliczyć według zależności 1:

$$E_c = E_k \pm E_p = \frac{\sum m_r v^2}{2} \pm Ns \quad (1)$$

gdzie:

E_k — energia kinetyczna będącego w ruchu wyciągu [J],

m_r — suma mas wszystkich elementów wyciągu będących w ruchu [kg],

v — prędkość ruchu wyciągu [m/s],

E_p — energia potencjalna podnoszonej lub opuszczanej masy niewyrównoważonej po obu stronach linopędni (nadwaga statyczna) [J],

N — różnica sił w linie po obu stronach linopędni wynikająca z wielkości transportowanego ładunku [N],

s — droga hamowania wyciągu [m].

Generowany w trakcie hamowania strumień ciepła można wyznaczyć z zależności 2:

$$q = F_t v(t) = F_d \mu v(t) \quad (2)$$

gdzie:

F_t — siła tarcia pomiędzy okładziną szczęki hamulcowej a tarczą hamulcową [N],

$v(t)$ — prędkość ruchu wyciągu w trakcie hamowania [m/s],

Charakterystyczne parametry badanych wyciągów oraz procesu hamowania

Tabela 1

Typ maszyny	4L-5500/2×3600 kW	2L-6000/2×2000 kW	2L-5000/2000 kW
Suma mas wyciągu będąca w ruchu	180 000 kg	163 000 kg	108 000 kg
Masa niewyrównoważona	30 000 kg	21 000 kg	12 500 kg
Prędkość maksymalna	16 m/s	10 m/s	10 m/s
Charakterystyczne parametry procesu hamowania wyciągu - maksymalne			
Maksymalna całkowita energia układu podczas hamowania (opuszczanie nadwagi)	36,6 MJ	25,5 MJ	9,8 MJ
Maksymalny strumień ciepła w chwili rozpoczęcia hamowania	8,6 MW	4,6 MW	2,7 MW
Charakterystyczne parametry procesu hamowania w warunkach badań			
Wariant ruchu w trakcie pomiaru	podnoszenie masy niewyrównoważonej	jazda pustymi naczyniami	jazda pustymi naczyniami
Wielkość masy niewyrównoważonej	30 000 kg	0 kg	0 kg
Prędkość w chwili rozpoczęcia hamowania	14 m/s	10 m/s	10 m/s
Całkowita energia układu podczas hamowania	11,6 MJ	11,9 MJ	4,8 MJ
Maksymalny strumień ciepła w chwili rozpoczęcia hamowania	8,6 MW	4,6 MW	2,7 MW

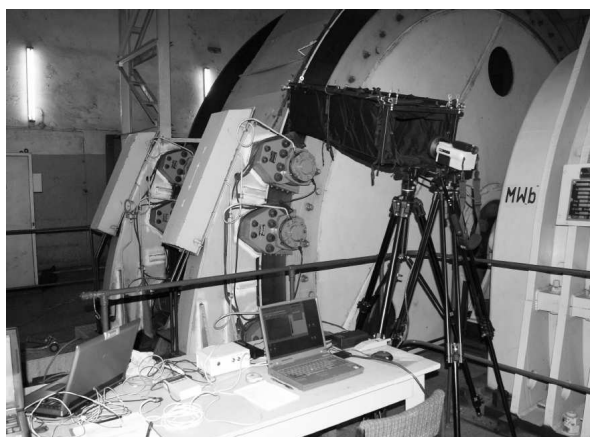
- F_d — siła docisku szczęk hamulcowych do tarczy [N],
 μ — współczynnik tarcia pomiędzy okładziną szczęki hamulcowej a tarczą hamulcową.

Wykorzystując zależności 1 i 2, określono parametry w odniesieniu do przeprowadzonych prób hamowania na obiektach rzeczywistych, w trakcie których wykonano pomiary temperatury tarcz hamulcowych kamerą termowizyjną podczas hamowania górniczych wyciągów szybowych.

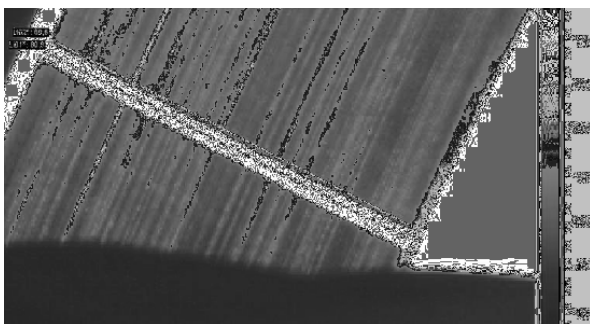
3. Badania na obiektach rzeczywistych

W ramach prowadzonych badań wykonano pomiary na eksploatowanych maszynach wyciągowych w warunkach rzeczywistych. Badania obejmowały pomiary emisyjności powierzchni tarczy oraz pomiary temperatury tarczy podczas symulowanego hamowania awaryjnego. Badania wykonywano podczas normalnej pracy maszyny i w związku z tym istniały określone ograniczenia w czasie dostępu do urządzenia, jak również dotyczące zakresu badań. Program badań nie mógł obejmować zbyt wygórowanych parametrów pracy urządzenia, aby nie spowodować jego awarii.

3.1. Charakterystyka obiektów oraz zakres badań



Rys.2. Widok badanej maszyny wyciągowej 2L-6000/2×2000 i stanowiska pomiarowego (źródło: opracowanie własne ITG KOMAG)



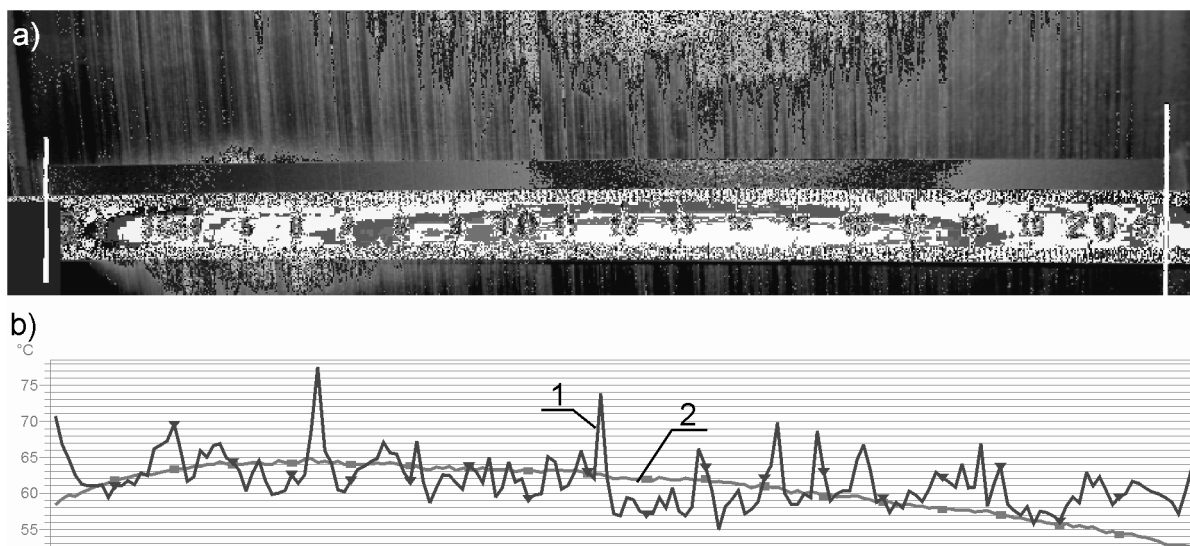
Rys.3. Przykładowy wynik badania termowizyjnego emisyjności powierzchni tarczy; biały pasek z linią LI01 – pasek o wysokiej emisyjności uzyskany przez pomalowanie czarną farbą; powyżej linia LI02 na rzeczywistej powierzchni tarczy hamulca (źródło: opracowanie własne ITG KOMAG)

Pomiary prowadzono na trzech obiektach. Podstawowe dane dla tych obiektów przedstawiono w tabeli 1. Na rysunku 2 przedstawiono widok badanej maszyny wyciągowej (2L-6000/2×2000 kW) i stanowiska pomiarowego. W czasie pomiarów mierzono temperaturę na powierzchni tarczy hamulca za pomocą kamery termowizyjnej oraz parametry mechaniczne procesu hamowania (masę ładunku, siłę docisku klocków hamulcowych, drogę hamowania i prędkość obrotową linopędni). Na jakość wyniku termowizyjnego pomiaru temperatury miały wpływ radiacyjne warunki otoczenia, na ogół nieizotermiczne. Wpływ ten był szczególnie istotny przy niskich wartościach emisyjności [3, 4] (taką emisyjność posiadają tarcze hamulców). W celu ograniczenia wpływu otoczenia na wyniki pomiaru zastosowano odpowiedni rękaw ochraniający miejsce pomiaru przed wpływem zróżnicowanego termicznie otoczenia, rysunek 2.

3.2. Analiza wyników badań w warunkach rzeczywistych

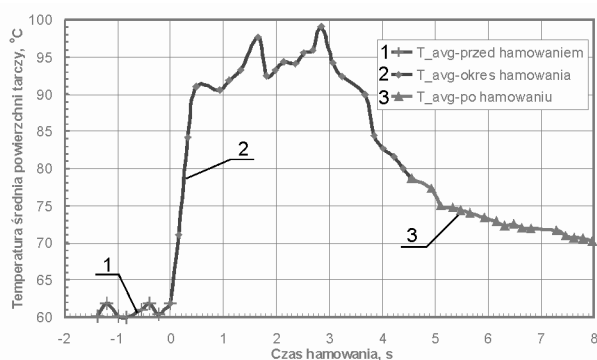
Podczas pomiarów badano rozkłady temperatury tarczy podczas symulowanych hamowań awaryjnych oraz określano współczynnik emisyjności powierzchni tarczy. Emisyjność powierzchni tarczy badano nagrzewając zewnętrznym grzejnikiem tarczę, a następnie mierzono temperaturę powierzchni tarczy za pomocą termoelementu dotykowego oraz kamery termowizyjnej. Ponadto badano zmienność emisyjności tarczy w przekroju promieniowym tarczy, malując na tarczy pasek farbą o wysokiej znanej emisyjności. Następnie, po nagraniu tarczy, porównywano wynik pomiaru jej temperatury wykonany z wykorzystaniem obszaru pomiarowego lub linii. Pomiar wykonano na pomalowanym pasku i obok na powierzchni tarczy, rysunek 3. Emisyjność wyznaczano z warunku równości obu temperatur, rysunek 4b.

Na rysunku 4b porównano temperaturę tarczy w miejscu przekroju temperaturowego, linią LI01, naniesioną na pasku, z rozkładem temperatury zmierzonej na rzeczywistej powierzchni tarczy, w miejscu linii LI02, rysunki 3 oraz 4b. Ze względu na bliskość linii LI01 oraz LI02 można przyjąć, że temperatura w obu przekrojach ma identyczną wartość. Stwierdzone różnice temperatury dla obu linii (rys. 4b) są różnicami pozornymi i wynikają ze zróżnicowania współczynnika emisyjności rzeczywistej powierzchni tarczy. Technikę tę wykorzystano w celu porównania wielkości zróżnicowania emisyjności tarczy w kierunku promieniowym. Stwierdzono, że struktura roboczej powierzchni tarczy ma charakter pasmowy, uformowany podczas pracy hamulca przez ziarnową strukturę materiału klocka hamulcowego. Zjawisko to utrudnia przeprowadzenie poprawnego pomiaru temperatury tarczy za pomocą kamery termowizyjnej.



Rys. 4. Wynik badań struktury i własności radiacyjnych powierzchni tarczy hamulca; a) fotografia przedstawiająca pasmową strukturę powierzchni tarczy; b) rozkład temperatury na powierzchni tarczy w kierunku promieniowym, linia regularna czarna (1) – rozkład temperatury wzdłuż linii profilu LI01, linia czerwona nieregularna (2) – wahania pozornej temperatury tarczy wzdłuż linii LI02, rysunek 3 (źródło: opracowanie własne ITG KOMAG)

Na rysunku 5 przedstawiono przykładowy rozkład średniej temperatury powierzchni tarczy w czasie, podczas badań hamulca maszyny 2L-6000/2×2000 kW. Wyróżniono okres przed uruchomieniem hamulca, okres hamowania oraz okres po zahamowaniu (ochładzanie nieruchomej tarczy). W okresie hamowania, bezpośrednio po uruchomieniu hamulca, obserwowano gwałtowny przyrost temperatury, która następnie utrzymywała się przez okres około 2 s. Następnie nastąpił spadek temperatury powierzchni, spowodowany zmniejszonym strumieniem generowanego ciepła wskutek zmniejszającej się prędkości ruchu tarczy.



Rys.5. Przykładowy rozkład średniej temperatury tarczy hamulca w czasie hamowania (2L-6000/2×2000kW) (źródło: opracowanie własne ITG KOMAG)

4. Badania laboratoryjne

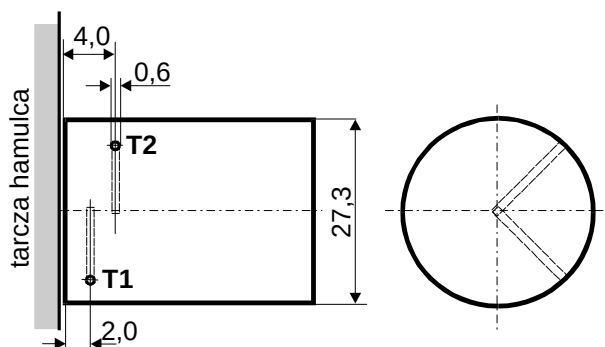
W celu dokładniejszego poznania zjawisk cieplnych zachodzących podczas procesu hamowania oraz zbierania danych do weryfikacji numerycznych modeli obliczeniowych, przeprowadzono serię pomiarów na stanowisku laboratoryjnym. Stanowisko przedstawiono na rysunku 6.

4.1. Stanowisko laboratoryjne i zakres badań

Stanowisko laboratoryjne posiadało jedną wentylowaną tarczę hamulcową, wraz z pojedynczym dwustronnym zaciskiem hamulcowym. Klocki hamulcowe wykonano w kształcie walca. Dla celów badawczych od strony jednej podstawy klocka wykonano dwa otwory o średnicy 0,6 mm i głębokości równej połowie średnicy walca. W otworach tych umieszczono dwa termoelementy płaszczowe o średnicy 0,5 mm, służące do pomiaru temperatury w osi geometrycznej klocka. Odległość pierwszego termoelementu (T1) od podstawy klocka wynosiła 2,0 mm, odległość drugiego (T2) wynosiła 4,0 mm, rysunek 7. Średnica klocka hamulcowego wynosiła 27,3 mm, natomiast średnica tarczy była równa 310 mm. Zacisk hamulcowy umieszczono na średnicy podziałowej 280 mm.



Rys.6. Stanowisko laboratoryjne do badań parametrów hamowania (źródło: opracowanie własne ITG KOMAG)



Rys. 7. Widok klocka hamulcowego (źródło: opracowanie własne ITG KOMAG)

Układ pomiarowy stanowiska umożliwiał pomiar i rejestrację następujących wielkości:

- prędkość liniową tarczy w punkcie hamowania,
- siły docisku klocków hamulcowych,
- siłę tarcia.

W czasie pomiarów rejestrowano wymienione wyżej parametry procesu hamowania. Dodatkowo wykonywano pomiar temperatury klocka za pomocą termoelementów T1, T2, oraz pomiar temperatury powierzchni tarczy za pomocą kamery termowizyjnej, pomiar temperatury otoczenia. Wynik pomiaru temperatury za pomocą kamery termowizyjnej (ThermaCAM SC2000) rejestrowano co 0,15 s, natomiast pomiary temperatury za pomocą termoelementów rejestrowano co 1,0 sekundę.

W trakcie badań dokonywano obserwacji i rejestracji zmian temperatury na powierzchni tarczy i wewnątrz klocków hamulcowych (termoelementy T1 i T2) podczas hamowania tarczy napędzanej przez silnik. Hamowanie realizowano do momentu osiągnięcia w klocku (termoelement T1) zadanej temperatury (200 °C). Dodatkowo, przed każdym pomiarem wykonywano pomiar emisyjności powierzchni tarczy za pomocą termoelementu dotykowego i równocześnie za pomocą kamery termowizyjnej. Stwierdzono dość wyraźne zróżnicowanie emisyjności powierzchni tarczy, dlatego pomiar ten powtarzano wielokrotnie w 4 przekrojach na obwodzie tarczy (rys. 8) [2].

4.2. Analiza wyników pomiarów laboratoryjnych

Na rysunku 8 przedstawiono rozmieszczenie miejsc pomiaru emisyjności tarczy. W każdym przekroju wykonywano po kilka pomiarów. Nie zaobserwowano zależności pomiędzy wartością emisyjności a temperaturą lub położeniem punktu pomiaru na tarczy hamulca. Powierzchnia robocza tarczy charakteryzuje się dość dużym zróżnicowaniem barwy, co w istotny sposób wpływa na jej emisyjność. Na rysunku 9 przedstawiono fotografię fragmentu tarczy hamulca. Widać wyraźną różnicę pomiędzy powierzchnią aktywną tarczy i obszarem nieaktywnym. Ponadto widoczna jest pasmowa niejednorodna struktura aktywnej powierzchni tarczy.

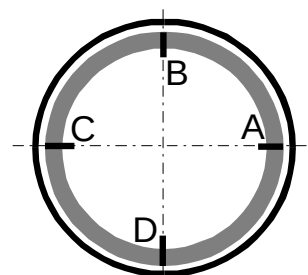
Czynniki te bardzo utrudniają otrzymanie wiarygodnego wyniku pomiarowego emisyjności tarczy.

Na rysunku 10 przedstawiono przykładowe wyniki pomiaru emisyjności wraz z obszarem zmienności współczynnika emisyjności. Przedział odchylenia standardowego [1] położony powyżej i poniżej średniej wartości wyznaczonego współczynnika emisyjności charakteryzuje stopień rozproszenia wyników pomiarów. Stwierdzone rozproszenie wyników pomiarów emisyjności w obszarze aktywnym tarczy nie jest jednak bardzo duże. Eksperymentalne odchylenie standardowe $s(\varepsilon)$ wyznaczone za pomocą zależności (3) i wyniosło 0,025.

$$s(\varepsilon) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\varepsilon_i - \bar{\varepsilon})^2}{n-1}} \quad (3)$$

gdzie:

- $\varepsilon = 0,49$ — średnia wartość emisyjności (średnia arytmetyczna),
 n — liczba pomiarów.



Rys. 8. Schemat tarczy hamulcowej z miejscami pomiaru emisyjności powierzchni



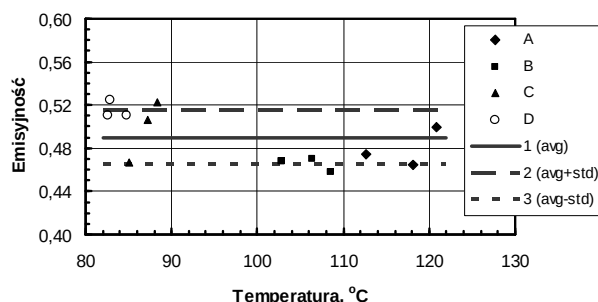
Rys. 9. Fotografia roboczej powierzchni tarczy hamulcowej

Prezentowany przykładowy pomiar (oznaczony symbolem BC_25_1), przeprowadzono przy następujących warunkach:

- siła docisku klocków hamulcowych 400 N,
- prędkość ruchu tarczy hamulcowej 12 m/s.

Na rysunku 11 przedstawiono przykładowy termogram (zdjęcie termowizyjne) nagrzaną w czasie eksperymentu tarcz hamulcową. Wszystkie odczyty temperatury dokonywano dla obszaru pomiarowego AR01, naniesionego na wymieniony termogram. Na termogramie zaznaczono kierunek obrotu tarczy hamulca oraz lokalizację zacisku hamulcowego. Należy zauważyć, że budowa stanowiska uniemożliwiała wykonanie pomia-

rów temperatury powierzchni tarczy hamulca bezpośrednio po wyjściu tarczy ze szczęk hamulcowych. Pomiar realizowano w miejscu odległym o 3/4 obrotu tarczy.



Rys.10. Wyniki pomiaru emisyjności powierzchni tarczy z obszarem obejmującym jedno odchylenie standardowe; 1-emisyjność średnia $\bar{\varepsilon}$; 2, 3-obszar emisyjności $\bar{\varepsilon} \pm S(\varepsilon)$

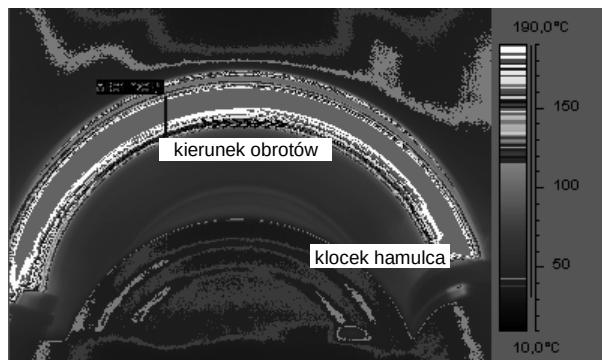
Na rysunku 12 zaprezentowano przykładowe rozkłady temperatury w przekroju AR01 na promieniu tarczy hamulcowej współpracującym z klockiem hamulcowym. Wymienione rozkłady temperatury przedstawiono dla chwil czasowych wyspecyfikowanych w legendzie rysunku. Cały proces hamowania trwał 72,61 sekund. Pierwszy od góry profil temperaturowy na rysunku 12 jest jednym z końcowych wyników zarejestrowanych w czasie tego eksperymentu. Prezentowane rozkłady temperatury wyznaczono dla średniej wartości emisyjności tarczy $\varepsilon = 0,49$. Na podstawie rysunku 12 można sformułować następujące uwagi:

- stwierdzono dość wyraźne zróżnicowanie temperatury na powierzchni tarczy,
- najprawdopodobniej nagrzewanie tarczy nie jest równomierne w jej poprzecznym przekroju,
- występuje powtarzalność kształtu zarejestrowanych profili temperaturowych (np. zawsze w tym samym miejscu występuje maksymalna wartość temperatury) mimo, że z pewnością zostały one zarejestrowane w różnych punktach obwodu tarczy,
- występuje duży spadek temperatury tarczy w pobliżu brzegów obszaru roboczego tarczy.

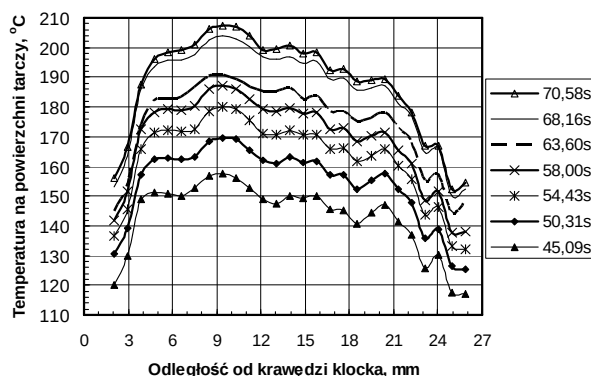
Przyczyną stwierdzonego obniżenia temperatury w pobliżu brzegu obszaru roboczego tarczy może być:

- mniejsza ilość generowanego ciepła tarcia na brzegu klocka hamulcowego spowodowana krótszym czasem kontaktu z klockiem danego punktu na obwodzie tarczy, (kłócek hamulcowy ma kształt walca, patrz rys. 7),
- bardziej intensywny odpływ ciepła przez przewodzenie z brzegu obszaru roboczego tarczy, w porównaniu ze środkową częścią tego obszaru,
- niższa rzeczywista emisyjność tej strefy powierzchni tarczy niż przyjęta w analizie termogramu.

W podsumowaniu analizy należy stwierdzić, że włączenie strefy brzegowej do obliczenia średniej temperatury powierzchni obszaru roboczego tarczy wpływa na jej obniżenie. W dalszej części artykułu zaprezentowano zmiany maksymalnej temperatury zaobserwowanej w przyjętym obszarze pomiarowym AR01 (rys. 11) w czasie oraz temperatury średniej dla tego obszaru, rysunek 13.



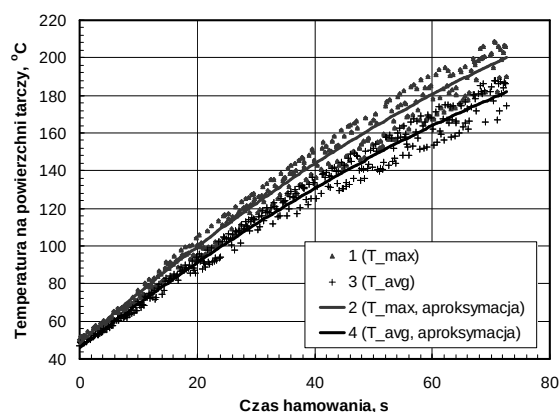
Rys. 11. Przykładowy termogram tarczy hamulcowej, pokazanie kierunku obrotów tarczy i lokalizacji zacisku hamulcowego



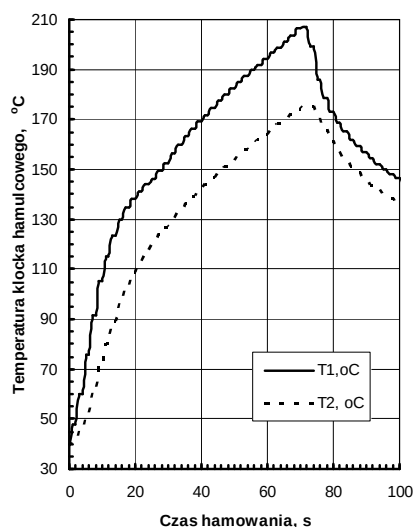
Rys.12. Rozkłady temperatury w przekroju poprzecznym tarczy (pozycja AR01) dla podanych w legendzie czasów mierzonych od początku procesu hamowania

Na rysunku 13 przedstawiono wyniki pomiaru temperatury na powierzchni tarczy wykonane za pomocą kamery termowizyjnej, natomiast na rysunku 14 wyniki pomiaru temperatury w klocku hamulcowym zarejestrowane za pomocą termoelementów T1 i T2 (umieszczone jak przedstawiono na rys. 7). Na rysunku 13 przedstawiono maksymalne wartości temperatury zaobserwowane w obszarze pomiarowym AR01 (rys. 11), zbiór punktów „1” i krzywa aproksymacyjna „2” oraz średnie wartości temperatury dla obszaru AR01, prezentowane przez zbiór punktów „3” i krzywą aproksymacyjną „4”, wyznaczone metodą najmniejszych kwadratów. Wykres ten obejmuje cały czas trwania eksperymentu, ponieważ ostatni wynik zarejestrowano po czasie 72,61 s od momentu rozpoczęcia hamowania. Najwyższa temperatura jaką zaobserwowano w obszarze AR01 wyniosła 208°C (zbiór punktów „1”, rys. 13), natomiast według krzywej aproksymacyjnej „2” najwyż-

sza temperatura po uśrednieniu dla wszystkich punktów wyniosła 200°C (koniec hamowania, rys. 13). Wyniki te są dość dobrze zgodne z wynikami pomiaru temperatury klocka hamulcowego termoelementami T1 i T2, rysunek 14. Najwyższa temperatura jaką wskazał termoelement T1 wyniosła 207°C (szczyt krzywej na wykresie, rys. 14). Temperatura wystąpiła po czasie 72 s od momentu rozpoczęcia procesu hamowania. Po- zornie wydawałoby się, że temperatura powierzchni tarczy powinna być wyższa, ponieważ w miejscu styku współpracujących klocka i tarczy temperatury są takie same. Należy jednak pamiętać, że pomiar temperatury tarczy odbywał się z pewnym opóźnieniem, po wyko- naniu przez tarczę 3/4 obrotu od momentu jej wyjścia ze szczęk hamulcowych. W tym czasie nastąpiło obni- żenie temperatury na powierzchni wskutek odpływu ciepła w głąb materiału tarczy i wymiany ciepła z o- tożeniem.



Rys.13. Przyrost temperatury na powierzchni tarczy w funkcji czasu hamowania dla średniej wartości emisyjności tarczy $\varepsilon = 0,49$; 1, 2 - punkty pomiaru maksymalnej wartości temperatury w obszarze AR01 i aproksymacja krzywą; 3, 4 - punkty pomiaru średniej wartości temperatury dla obszaru AR01 i aproksymacja krzywą, odpowiednio



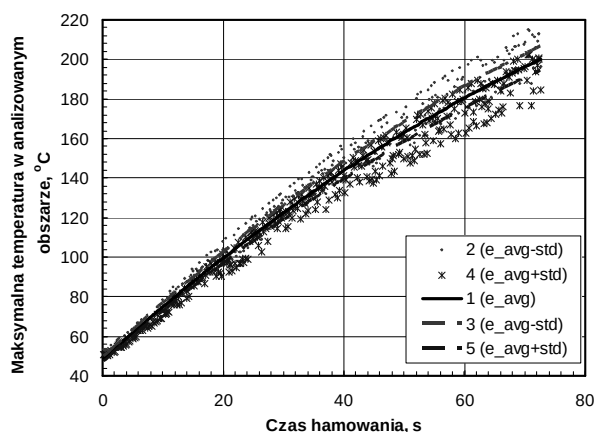
Rys.14. Przyrost temperatury klocka hamulcowego w punktach pomiaru T1 i T2 przedstawiony w funkcji czasu

4.3. Wpływ pomiaru emisyjności na wynik pomiaru temperatury na powierzchni tarczy hamulca

Aby zbadać ilościowy wpływ emisyjności tarczy na wynik pomiaru jej temperatury, wyznaczono zakres zmian temperatury tarczy w czasie hamowania, stosując różne wartości współczynnika emisyjności dla powierzchni tarczy. Analizowano zmiany średniej temperatury oraz maksymalnej temperatury dla obszaru pomiarowego AR01 (rys. 11). Przyjmowano dwie skrajne wartości współczynnika emisyjności, charakteryzujące jego typowy obszar zmienności (obliczone według zależności $\bar{\varepsilon} \pm S(\varepsilon)$). Wyniki obliczeń przedstawiono na rysunkach 15 i 16.

Na rysunku 15 przedstawiono zmiany maksymalnej wartości temperatury zaobserwowane w obszarze pomiarowym AR01. Zmiany te przedstawiono w postaci zbioru punktów pomiarowych oraz w postaci krzywej aproksymacyjnej wyznaczonej metodą najmniejszych kwadratów (rys. 15). Maksymalna zaobserwowana wartość temperatury w czasie eksperymentu była równa 215°C, natomiast maksymalna wartość temperatury wyznaczona w oparciu o krzywą aproksymacyjną dla końca eksperymentu wyniosła 208°C (krzywa „3”, rys. 15). Oznacza to, że obniżenie emisyjności o wartość odchylenia standardowego $s(\varepsilon) = 0,025$ spowodowało wzrost temperatury o 8°C (patrz krzywa „3” na rys. 15 i krzywa „2” na rys. 13).

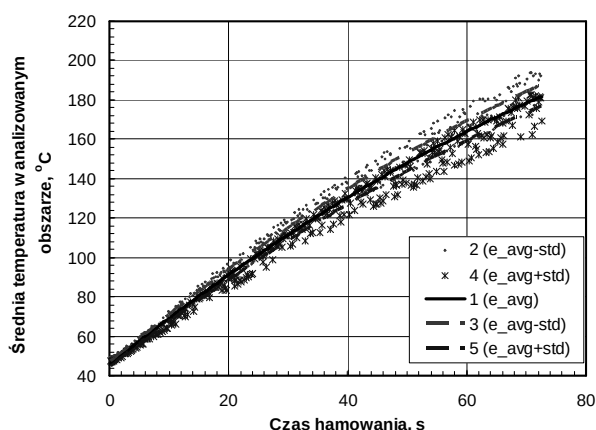
Rysunek 16 przedstawia wyniki podobnej analizy jak powyżej ale przeprowadzonej dla średniej wartości temperatur w obszarze pomiarowym AR01. Temperatura średnia dla wyżej wymienionego obszaru pomiarowego jest przeciętnie o 20°C niższa niż analizowana wcześniej temperatura maksymalna.



Rys. 15. Zmiany maksymalnej temperatury zaobserwowanej w obszarze AR01 na powierzchni tarczy w funkcji czasu hamowania; 1 - emisyjność tarczy $\varepsilon = \bar{\varepsilon} = 0,49$; 2, 3 - punkty pomiaru maksymalnej wartości temperatury w obszarze AR01 i aproksymacja krzywą przy emisyjności $\varepsilon = \bar{\varepsilon} \pm S(\varepsilon) = 0,465$; 4, 5 - punkty pomiaru maksymalnej wartości temperatury w obszarze AR01 i aproksymacja krzywą przy emisyjności $\varepsilon = \bar{\varepsilon} \pm S(\varepsilon) = 0,515$, odpowiednio

W przypadku podwyższenia emisyjności o wartość odchylenia standardowego, ilościowy efekt jest podobny, ale następuje w tym przypadku obniżenie temperatury. Dotyczy to zarówno maksymalnych wartości temperatury w obszarze pomiarowym AR01 (rys. 15) jak również wartości średnich, rysunek 16.

Przeprowadzone obliczenia, jak również ich analiza wskazują na wpływ emisyjności tarczy na wyniki pomiaru temperatury.



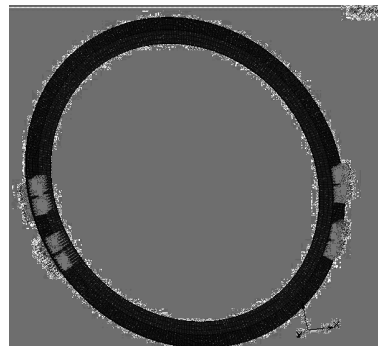
Rys.16. Zmiany średniej temperatury dla obszaru AR01 na powierzchni tarczy w funkcji czasu hamowania; 1 - emisyjność tarczy $\varepsilon = \bar{\varepsilon} = 0,49$; 2, 3 - punkty pomiaru średniej wartości temperatury w obszarze AR01 i aproksymacja krzywą przy emisyjności $\varepsilon = \bar{\varepsilon} \pm S(\varepsilon) = 0,465$; 4, 5 - punkty pomiaru średniej wartości temperatury dla obszaru AR01 i aproksymacja krzywą przy emisyjności $\varepsilon = \bar{\varepsilon} \pm S(\varepsilon) = 0,515$, odpowiednio

5. Analizy numeryczne

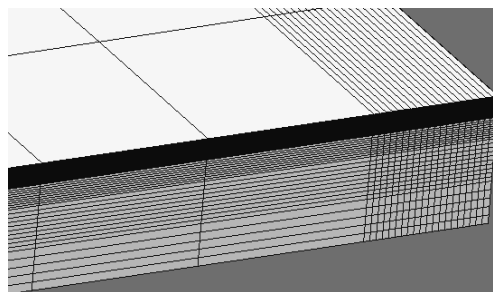
Wyniki przeprowadzonych badań na obiektach rzeczywistych wykorzystano do weryfikacji opracowanych modeli numerycznych w zakresie analizowania zjawisk cieplnych zachodzących w hamulcach maszyn wyciągowych. Budowa modeli okazała się zadaniem złożonym i problematycznym. Główny problem stanowi wielkość analizowanego obiektu tj. gabaryty tarczy hamulcowej, co w powiązaniu z wymaganymi dotyczącymi obliczeń numerycznych, rozmiarami siatki elementów skończonych modelu numerycznego, powoduje uzyskiwanie bardzo dużych modeli obliczeniowych. Liczba elementów skończonych modelu numerycznego powiązana z czasem analizy (czasem hamowania) powoduje, że obliczenia trwają kilkadziesiąt godzin. Do rozwiązania zadania zaproponowano więc model, w którym określony strumień ciepła działa bezpośrednio na tarczę hamulcową. Przy tak postawionym założeniu, w analizie numerycznej wyeliminowano kontakt przemieszczających się względem siebie elementów tarczy hamulcowej i klocków hamulcowych.

Wyniki analiz numerycznych porównywano z wynikami pomiarów przeprowadzonych na obiektach rze-

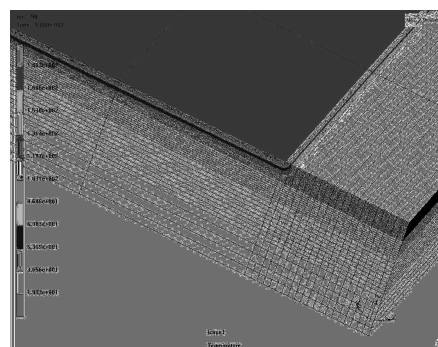
czywistych, jak również na stanowisku laboratoryjnym. Przykładowe wyniki pomiaru w określonych warunkach hamowania oraz wyniki odpowiadającej mu analizy numerycznej przeprowadzonej dla modelu maszyny wyciągowej 2L-6000/2×2000 kW przedstawiono na rysunkach 20 i 21.



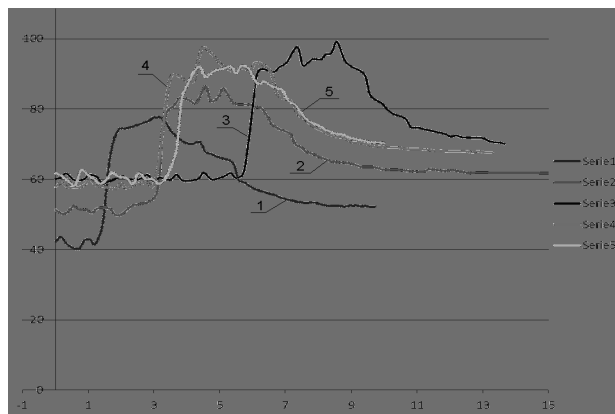
Rys.17. Model numeryczny



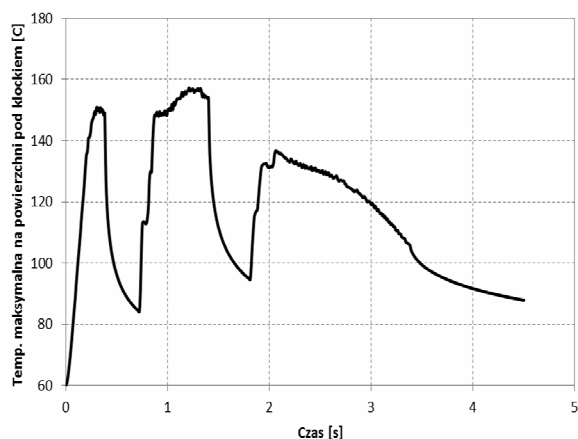
Rys.18. Siatka modelu numerycznego



Rys.19. Rozkład temperatury



Rys.20. Wyniki rejestracji kamerą termowizyjną temperatury powierzchni tarczy hamulcowej w odniesieniu do 5 prób hamowania maszyny



Rys.21. Wyniki analizy numerycznej. Temperatura maksymalna na powierzchni segmentu tarczy

Wyniki analiz cieplnych stanowią dane wejściowe do analizy wytrzymałościowej tarczy hamulcowej, jak również konfiguracji hamulca i optymalizacji parametrów jego działania. Wyniki prowadzonych prac będą wykorzystane w projektowaniu maszyn wyciągowych zwłaszcza o zwiększonych parametrach ruchowych-wydajnościowych.

6. Podsumowanie

W pracy zaprezentowano wyniki badań hamulców ciernych. Badania przeprowadzono na rzeczywistych obiektach oraz na stanowisku laboratoryjnym. W czasie badań mierzono temperaturę powierzchni tarcz hamulcowych za pomocą kamery termowizyjnej, temperaturę klocka hamulcowego (stanowisko laboratoryjne), parametry pracy hamulca tj.: prędkość ruchu tarczy, drogę hamowania, siłę docisku klocka hamulcowego i inne.

Podstawowym czynnikiem mającym wpływ na wynik pomiarów termowizyjnych jest znajomość współczynnika emisyjności badanej powierzchni. W czasie pomiarów laboratoryjnych stwierdzono, że po długotrwałym ciągłym procesie hamowania następuje zmiana emisyjności powierzchni tarczy. Spowodowane jest to zmianą struktury powierzchni tarczy i odkładaniem się na niej cząstek materiału klocka hamulcowego. Zjawisko to będzie występować w hamulcach o mniejszych wymiarach, gdy w czasie całego procesu hamowania następuje wielokrotny obrót tarczy hamulca. Uwaga ta jest istotna w przypadku badań hamulców o niewielkich wymiarach np. hamulców w pojazdach samochodowych. Zjawisko to nie występuje w przypadku dużych hamulców instalowanych do górniczych maszyn wyciągowych, ponieważ ze względu na dużą średnicę tarczy (6÷7m) wykonuje ona zaledwie około 2-3 obrotów w czasie całego procesu hamowania.

Zebrane wyniki pomiarów są użyteczne przy identyfikacji zjawisk cieplno-mechanicznych zachodzących podczas hamowania. Są również niezbędne do weryfikacji modeli matematycznych stosowanych w obliczeniach do numerycznej symulacji zjawisk występujących podczas działania hamulca. W dalszej kolejności pozwoli to na pełniejsze wykorzystanie zaawansowanych metod numerycznych w obliczeniach projektowych cieplnych i wytrzymałościowych hamulców o wyższych parametrach technicznych.

Literatura

1. Guide: "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement", International Organization for Standardization (ISO), Geneva, 1995.
2. Kruczek T., Białecki R.: "Badania temperatury tarcz hamulcowych na modelu hamulca i na obiektach rzeczywistych oraz opracowanie i analiza wyników badań". Praca nie publikowana, Projekt Nr NR03 0006 06, Gliwice, 2011.
3. Kruczek T.: "Wyznaczanie radiacyjnej temperatury otoczenia przy pomiarach termowizyjnych w otwartej przestrzeni". *Pomiary, Automatyka, Kontrola*, Nr 11, s. 882-885, 2009.
4. Minkina W., Dudzik S.: *Infrared Thermography, Errors and Uncertainties*. John Wiley & Sons, UK, 2009.
5. Kowal L., Turewicz A., Turewicz K.: Modelowanie zjawisk cieplnych zachodzących podczas hamowania maszyny wyciągowej hamulcem tarczowym. *Transport szybowy. Monografia ITG KOMAG*, s. 247-264, Gliwice 2011.
6. Kowal L., Turewicz K., Helmrich P., Nyga K., Kruczek T., Żołniercz M.: *Badania odporności cieplnej hamulców maszyn wyciągowych - zakres prowadzonych prac w ramach projektu. Bezpieczeństwo pracy urządzeń transportowych w górnictwie. Monografia, redakcja naukowa: Andrzej Tytko, Marian Wójcik, Centrum Badań i Dozoru Górnictwa Podziemnego sp. z o.o., Łódź 2011 s. 155-161.*
7. Ścieszka S.F.: *Hamulce cierne. Zagadnienia materiałowe, konstrukcyjne i tribologiczne. Biblioteka Problemów Eksploatacji. Politechnika Śląska*, s. 193, Gliwice 1998

Praca realizowana w ramach projektu badawczo-rozwojowego nr N R03 0006 06 finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, 2009-2012

Artykuł wpłynął do redakcji w czerwcu 2012 r.

Ocena stanu złączy spawanych w elementach sekcji ścianowej obudowy zmechanizowanej oraz odkuwek elementów zawiesi za pomocą badań nieniszczących

Streszczenie

W artykule przedstawiono wymagania i procedurę badań nieniszczących wykorzystywanych do kontroli jakości elementów maszyn i urządzeń, na etapie ich wytwarzania i użytkowania. Zaprezentowano przykład realizacji badań wizualnych i magnetyczno-proszkowych złączy spawanych w elementach sekcji ścianowej obudowy zmechanizowanej oraz odkuwek haków i szakli. Wyniki uzyskane z badań, oceniono w świetle wymagań poziomów jakości.

Summary

Requirements and procedure of non-destructive tests used for control of quality of components of machines and equipment, at the stage of their manufacture and use, are presented in the paper. Example of realization of visual and magnetic powder tests of welded joints in the components of powered roof support and of forgings of hooks and slings is given. The tests results are assessed in the light of requirements as regards the level of quality.

1. Wprowadzenie

Nierozzerwalnym elementem bezpieczeństwa użytkowania maszyn i urządzeń jest kontrola stanu technicznego, w tym spawanych i odkuwanych elementów składowych. Przykładem braku konsekwencji kontroli jakości, jest zdarzenie zaistniałe w grudniu 2009 r. na Stadionie Narodowym w Warszawie, w wyniku którego zginęły dwie osoby. Jak wynika ze wstępnych ustaleń, bezpośrednią przyczyną w opinii Głównego Inspektora Pracy było uszkodzenie zabezpieczeń gardzieli haków oraz brak możliwości prawidłowego zaczepienia zawiesia kosza na haku.

Również wnioski płynące z oceny bezpieczeństwa pracy w kopalniach węgla kamiennego wskazują, że przyczyną wypadków zaistniałych np. w KWK „Kato-wice – Kleofas” i KWK „Zofiówka”, były błędy konstrukcyjne oraz uszkodzenia mechaniczne, w tym ubytki korozyjne, deformacje i pęknięcia spoin oraz obniżona wytrzymałość elementów sekcji ścianowej obudowy zmechanizowanej, będące wynikiem nadmiernego zużycia, spowodowanego długotrwałą eksploatacją [24].

Do identyfikacji uszkodzeń materiałów stosowanych do wytwarzania maszyn i urządzeń oraz monitorowania występowania wad w czasie ich eksploatacji, jak również oceny stanów poawaryjnych i poremontowych stosowane są badania nieniszczące. Zastosowanie tych nieinwazyjnych narzędzi do wykrywania nieciągłości i niedoskonałości materiałowych umożliwia wielokrotną ocenę jakości wykonania i stopnia zużycia w czasie badanych obiektów oraz nie powoduje osłabienia ich parametrów użytkowych i konstrukcyjnych. Wyniki badań nieniszczących stanowią podstawę pre-

dykcji dotyczących jakości, trwałości, bezpiecznej eksploatacji, utraty nośności i zbliżania się do stanu krytycznego [1 ÷ 5, 21, 23].

Podstawowymi i powszechnie stosowanymi, metodami badań nieniszczących, umożliwiającymi wykrycie powierzchniowych uszkodzeń materiału złączy spawanych i odkuwek są badania wizualne i magnetyczno-proszkowe.

Badania wizualne polegają na sprawdzeniu, czy obiekt spełnia wymagania określone w dokumentacji technicznej. Zakres badań wizualnych obejmuje ocenę kształtu obiektu, współosiowości elementów oraz wykrywanie wad, takich jak: pęknięcia, braki przetopu i podtopienia w przypadku złączy spawanych, czy pęknięcia cieplne, jamy osadowe, zakucia, rozwarstwienia, naderwania oraz inne wady wymiarów i kształtów wyrobów hutniczych [1, 2].

Badania magnetyczno-proszkowe polegają na wykrywaniu mikropęknięć powierzchniowych i podpowierzchniowych, identyfikowanych poprzez zaburzenia pola magnetycznego wytwarzanego w badanych obiektach [1, 2].

W artykule przedstawiono przykład badań nieniszczących złączy spawanych w elementach sekcji ścianowej obudowy zmechanizowanej oraz odkuwek haków i szakli, przeprowadzonych przez akredytowane Laboratorium Inżynierii Materiałowej i Środowiska Instytutu KOMAG w Gliwicach. Zaprezentowano wymagania formalno-prawne, procedurę badań oraz analizę wyników badań w świetle wymaganych poziomów jakości i akceptacji [17].

2. Wymagania formalno-prawne oceny jakości

Celem podniesienia bezpieczeństwa użytkowania maszyn i urządzeń wprowadzono przepisy prawne określające wymagania dotyczące zakresu oraz kryteriów oceny jakości na etapie wytwarzania oraz eksploatacji.

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych, hydrauliczne elementy sekcji obudowy zmechanizowanej, podlegają ocenie zgodności z wymogami zasadniczymi. Dla eksploatowanych ścianowych obudów zmechanizowanych wyżej wymienione rozporządzenie narzuca obowiązek kontroli ich stanu technicznego w ramach badania technicznego. Kontrolą podlegają elementy składowe sekcji ścianowych obudów zmechanizowanych po jej demontażu, w tym: stropnica, spągnica, osłona odzawałowa i łączniki układu lemniskatowego. Zgodnie z załącznikiem 4 do wyżej wymienionego rozporządzenia nie dopuszcza się pęknięć w spoinach nośnych ww. elementów składowych sekcji ścianowej obudowy

zmechanizowanej [19].

Obowiązek przeprowadzenia oceny zgodności haków oraz elementów zawiesi pracujących w suwnicach pomostowych, z wymaganiami przepisów szczegółowych, zawarto w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 6 lutego 2003 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy podczas wykonywania robót budowlanych.

Podczas eksploatacji wyroby kute podlegają regularnej kontroli jakości, która powinna odbywać się przed rozpoczęciem każdej zmiany roboczej oraz okresowo, za pomocą badań nieniszczących, celem wykluczenia wad, jak: wygięcia, rozgięcia, zarysowania lub pęknięcia, które mogą spowodować upadek masy z wysokości, prowadzący do poważnych uszkodzeń ciała lub śmierci [18].

3. Obiekty badań nieniszczących

3.1. Złącza spawane w elementach sekcji ścianowej obudowy zmechanizowanej

Badania nieniszczące przeprowadzono dla wytypowanych dwudziestu czterech odcinków złączy spawanych o łącznej długości 14,2 m w elementach sekcji

Wybrane parametry badanych złączy spawanych w elementach sekcji ścianowej obudowy zmechanizowanej [17]

Tabela 1

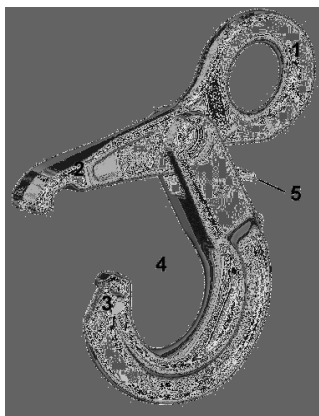
Element sekcji ścianowej obudowy zmechanizowanej	Oznaczenie złącza spawanego	Parametry złącza spawanego		
		rodzaj złącza	długość złącza [mm]	grubość blach połączonych złączem [mm]
Łącznik przedni nr 1	S1	kątowe	700	30
	S2		700	30
	S13		780	30
	S14		780	30
Łącznik przedni nr 2	S3		700	30
	S4		700	30
	S15		780	30
	S16		780	30
Spągnica	S5		1020	25
	S6		460	25
	S7		1020	25
	S8		440	110
	S9		440	110
	S10		1020	25
	S11		460	25
	S12		1020	25
Stropnica	S17		480	b.d.
	S18		320	b.d.
	S19		480	b.d.
	S20		320	b.d.
	S21		480	b.d.
	S22		480	b.d.
	S23		480	b.d.
	S24		32	b.d.

ścianowej obudowy zmechanizowanej, po 100 000 cyklach, w ramach badań wytrzymałości zmęczeniowej. Biorąc pod uwagę konstrukcję sekcji ścianowej obudowy zmechanizowanej wytypowano szesnaście odcinków w łącznikach układu lemniskatowego, osiem odcinków w spągnicy oraz osiem odcinków w stropnicy. Charakterystykę badanych złączy spawanych podano w tabeli 1.

Badaniom poddano 100% długości wyżej wymienionych połączeń od strony lica. Ze względu na brak dostępu, nie badano powierzchni od strony grani. Badania przeprowadzono dla powierzchni spoiny oraz strefy wpływu ciepła.

3.2. Odkuwki haków i szakli

Badaniom poddano siedem sztuk odkuwek stalowych, w tym dwa haki suwnicy jednorożne, jeden hak suwnicy jednorożny z zabezpieczeniem oraz cztery szakle.



Rys.1. Budowa haka jednorożnego z zabezpieczeniem [20]

Badane odkuwki w postaci haków oraz szakli są podstawowym wyposażeniem suwnic pomostowych; służą do zaczepiania, utrzymywania oraz transportowania ładunków na określone odległości. Zgodnie

z rysunkiem 1 do głównych elementów haka należą: ucho (1), zapadka (2), róg (3), gardziel (4) oraz rygiel (5). Do parametrów charakteryzujących haki i elementy zawiesia zaliczane są: udźwig (w tonach), wielkość gardzieli (otwarcie haka) oraz współczynnik bezpieczeństwa (stosunek udźwigu do wytrzymałości) [20].

Odkuwki wytypowano uwzględniając czas eksploatacji, który wynosił średnio 10 lat. W tym okresie wyroby kute poddawane były zmiennym obciążeniom w wyniku procesów podnoszenia i opuszczania na suwnicy. Charakterystykę badanych próbek odkuwek przedstawiono w tabeli 2.

4. Badania nieniszczące

4.1. Cel badań nieniszczących

Celem badań nieniszczących elementów sekcji ścianowej obudowy zmechanizowanej było sprawdzenie dotrzymania wymagań poziomów jakości C, według normy PN-EN ISO 5817:2009 i akceptacji 2, według norm PN-EN ISO 23278:2010, na wytypowanych złączach spawanych.

Badania nieniszczące odkuwek stalowych miały na celu zidentyfikowanie powierzchniowych nieciągłości, powstałych w wyniku eksploatacji, takich jak: pęknięcia, wady wymiaru i kształtu oraz sprawdzenie dotrzymania wymagań klasy jakości 1, według normy PN-EN 10228-1:2002, w zakresie wskazań liniowych odosobnionych oraz związanych.

4.2. Procedura badań nieniszczących

Algorytm procedury badań przedstawiono na rysunku 2.

Badania prowadzono w czterech etapach.

W pierwszym etapie przygotowano powierzchnie obiektów badań, poprzez usunięcie powłok ochronnych

Charakterystyka próbek odkuwek stalowych [17]

Tabela 2

Nazwa badanej odkuwki	Oznaczenie	Wymiary [mm] <i>długość x szerokość x grubość</i>	Obszar badania
Szakla	O1	390 x 135 x 80	powierzchnia zewnętrzna z wyłączeniem części gwintowanej
Hak suwnicy - jednorożny	O2	330 x 220 x 55	powierzchnia zewnętrzna z wyłączeniem części powierzchni otworu
Hak suwnicy - jednorożny z zabezpieczeniem	O3	310 x 185 x 50	powierzchnia zewnętrzna z wyłączeniem części powierzchni otworu
Szakla	O4	140 x 120 x 60	powierzchnia zewnętrzna z wyłączeniem części gwintowanej
Hak suwnicy - jednorożny	O5	170 x 125 x 30	powierzchnia zewnętrzna z wyłączeniem części powierzchni otworu
Szakla	O6	80 x 60 x 10	powierzchnia zewnętrzna z wyłączeniem części gwintowanej
Szakla	O7	200 x 115 x 70	powierzchnia zewnętrzna z wyłączeniem części gwintowanej

i zanieczyszczeń za pomocą miejscowego szlifowania i oczyszczenia.

Oczyszczone powierzchnie obiektów badań, w ramach drugiego etapu, poddano ocenie wizualnej. Przed przystąpieniem do badań przeprowadzono kontrolę natężenia oświetlenia na powierzchni badanych obiektów. Celem uzyskania odpowiedniego kontrastu nieciągłości, badane powierzchnie doświetlano sztucznym źródłem światła.

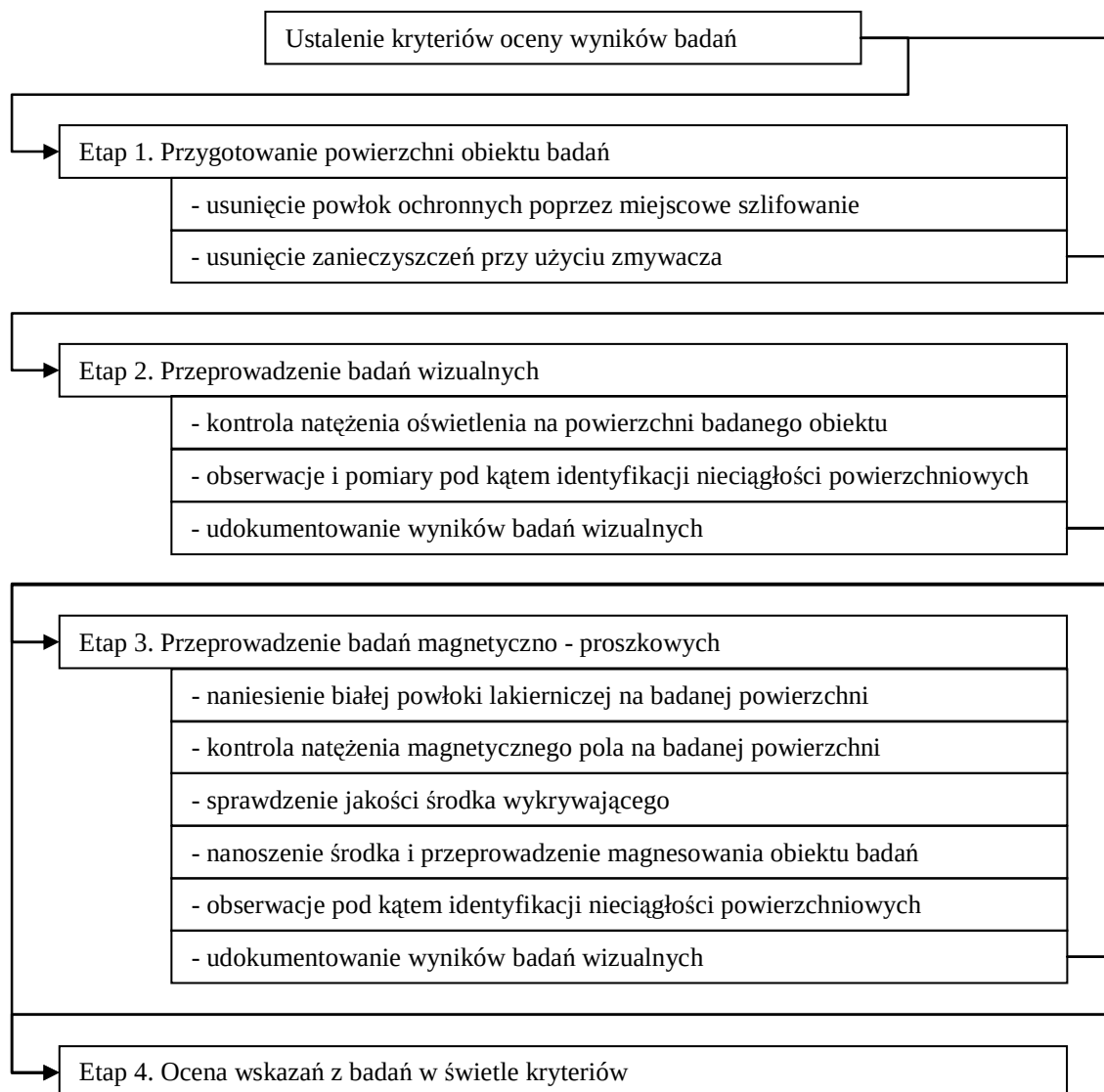
W etapie trzecim prowadzono badania magnetyczno-proszkowe. W celu zapewnienia dostatecznego kontrastu między badaną powierzchnią, a środkami wykrywającymi zastosowano jednolitą, ciekłą, białą powłokę lakierniczą, którą naniesiono na badane powierzchnie złączy spawanych i odkuwek. Następnie sprawdzono natężenie pola magnetycznego wzbudzanego przez zastosowany defektoskop. Wykonano pomiar natężenia pola stycznego na badanych

powierzchniach, za pomocą sondy Halla, a uzyskany wynik pomiaru oceniono w świetle wymaganej wartości skutecznej [12, 14, 16]. Sprawdzeniu poddano również jakość środka wykrywającego, poprzez porównanie wskazań uzyskanych na próbce odniesienia, ze wskazaniami określonymi w dokumentacji.

Bezpośrednio przed i podczas magnesowania, na badane powierzchnie наносzono środek wykrywający. Z użyciem defektoskopów przeprowadzono magnesowanie, utrzymując badane odcinki złączy spawanych i odkuwek w stanie namagnesowanym, w czasie zapewniającym utworzenie wskazań.

Dla uzyskanych wyników pomiarów oszacowano niepewność pomiarową.

W etapie czwartym dokonano oceny na podstawie badań wizualnych i magnetyczno-proszkowych, w świetle ustalonych kryteriów.



Rys.2. Algorytm procedury badań [17]

4.3. Przebieg badań nieniszczących

4.3.1. Przebieg badań nieniszczących złączy spawanych w elementach sekcji ścianowej obudowy zmechanizowanej

Zakres badań nieniszczących złączy spawanych w elementach sekcji ścianowej obudowy zmechanizowanej obejmował identyfikację nieciągłości powierzchniowych, podłużnych i poprzecznych, metodami wizualną i magnetyczno – proszkową.

Badania wizualne przeprowadzono zgodnie z normą PN-EN ISO 17637:2011. Podczas badań zapewniono wymagany dostęp do złączy spawanych oraz natężenie oświetlenia na ich powierzchni. Oceniano badane powierzchnie pod kątem występowania niezgodności geometrycznych spawalniczych, w tym pęknięć oznaczonych w normie PN-EN ISO 5817:2009 numerem 100, niedopuszczalnych dla poziomu jakości C.

Badania magnetyczno–proszkowe złączy przeprowadzono zgodnie z normą PN-EN ISO 17637:2011, przy użyciu defektoskopu jarzmowego oraz środków: czarnego proszku magnetycznego, w postaci aerozolu i białego podkładu. Magnesowanie prowadzono w dwóch wzajemnie prostopadłych do siebie kierunkach, odchylonych od osi spoiny o około 45°, zapewniając wartość skuteczną natężenia pola stycznego przekraczającą 3 kA/m oraz nakładanie się badanych obszarów złącza. Identyfikację wskazań prowadzono przy natężeniu oświetlenia badanych powierzchni przekraczającym 800 lux.

Odnotowane wskazania oceniano w świetle kryteriów przyjętego poziomu akceptacji 2 dla wskazań liniowych i nieliniowych, określonych w normie PN-EN ISO 23278:2010 i podanych w tabeli 3.

4.3.2. Przebieg badań nieniszczących odkuwek stalowych i szaki

Zakres badań nieniszczących odkuwek stalowych obejmował identyfikację powierzchniowych nieciągłości, powstałych w wyniku eksploatacji, do których należą przede wszystkim: pęknięcia, wady wymiaru i kształtu, metodami wizualną i magnetyczno–proszkową.

Badania wizualne przeprowadzono metodą bezpośrednią oraz za pomocą lupy o powiększeniu 5x, zgodnie z procedurą badawczą PB-DLS/08 „Badania nieniszczące” [7]. Natężenie oświetlenia badanych powierzchni przekraczało 800 lux. Badaniom poddano 100% powierzchni zewnętrznej, z wyłączeniem części gwintowanej w wybranych próbkach odkuwek.

Badania magnetyczno proszkowe wykonano zgodnie z normą PN-EN 10228-1:2002 pt. „Badanie nieniszczące odkuwek stalowych. Część 1: Badania magnetyczno-proszkowe”.

W celu zapewnienia odpowiedniego styku pomiędzy elektrodą, a powierzchnią odkuwki, przed przystąpieniem do badań przygotowano odpowiednio powierzchnię obiektów - usunięto luźno przylegającą zgorzelinę, rdzę, brud oraz farbę przez miejscowe szlifowanie oraz czyszczenie.

Ze względu na gabaryty odkuwek stalowych badania magnetyczno-proszkowe przeprowadzono techniką magnesowania bezpośrednim przepływem prądu przez obiekty, z wykorzystaniem elektrod. W celu uzyskania możliwości wykrywania różnie zorientowanych nieciągłości, konieczne było dwukrotne przykładanie elektrod, we wzajemnie prostopadłych kierunkach. Podczas identyfikacji wskazań wartość skutecznego natężenia pola stycznego przekraczała 3 kA/m, natomiast natężenie oświetlenia badanych powierzchni przekra-

Kryteria akceptacji wskazań z badań magnetyczno – proszkowych dla poziomu 2 według normy PN-EN ISO 23278:2010 [15]

Tabela 3

Rodzaj wskazania	Dopuszczalna długość wskazania dla poziomu akceptacji 2 według normy PN-EN ISO 23278:2010
wskazanie liniowe <i>l – długość wskazania</i>	$l < 3 \text{ mm}$
wskazanie nieliniowe <i>d – długość wskazania wzdłuż głównej osi</i>	$d < 3 \text{ mm}$

Kryteria akceptacji wskazań z badań magnetyczno – proszkowych w świetle wymagań klasy jakości 1 według PN-EN 10228-1:2002 [16]

Tabela 4

Parametr	Klasa jakości 1 wg PN-EN 10228-1:2002
Długość wskazania	$\geq 5 \text{ mm}$
Maksymalna dopuszczalna długość wskazania liniowego odosobnionego	20 mm
Maksymalna dopuszczalna długość wskazań związanych	20 mm
Maksymalna dopuszczalna skumulowana długość wskazań na powierzchni odniesienia	75 mm
Maksymalna dopuszczalna liczba wskazań na powierzchni odniesienia	15

czął 800 lux. Do badań użyto środek wykrywający w postaci czarnego proszku magnetycznego w aerozolu. Dla zapewnienia odpowiedniego kontrastu między badaną powierzchnią, a środkiem wykrywającym, na odkuwki naniesiono biały podkład.

Odnoszone wskazania z badań oceniano w świetle kryteriów przyjętej klasy jakości 1 dla wskazań liniowych odosobnionych i związanych, określonych w normie PN-EN 10228-1:2002 - tabela 4.

Wyniki badań magnetyczno – proszkowych dla złącza spawanego S8 [17]

Tabela 5

Oznaczenie złącza spawanego	S8			
Oznaczenie wskazania na rysunku	1	2	3	4
Odległość od punktu 0.0 [mm]	40	50	210	390
Długość l [mm]	16	6	115	50
Niepewność pomiaru U [%]	15	15	15	15
Poziom akceptacji według PN-EN ISO 23278:2010	2			
Długość graniczna [mm]	3			
Ocena: A - niezgodność akceptowalna NA – niezgodność nieakceptowalna	NA	NA	NA	NA

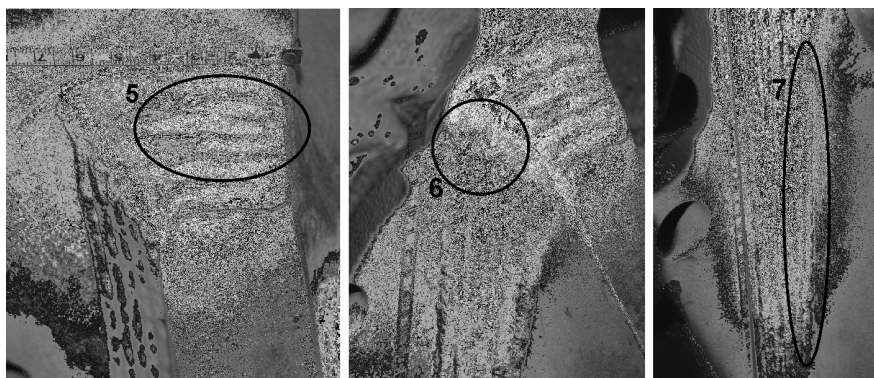


Rys.3. Wskazania z badań magnetyczno–proszkowych dla złącza spawanego S8 [17]

Wyniki badań magnetyczno–proszkowych dla złącza spawanego S9 [17]

Tabela 6

Oznaczenie złącza spawanego	S9		
Oznaczenie wskazania na rysunku	5	6	7
Odległość od punktu 0.0 [mm]	0	60	140
Długość l [mm]	30	18	220
Niepewność pomiaru U [%]	15	15	15
Poziom akceptacji według PN-EN ISO 23278:2010	2		
Długość graniczna [mm]	3		
Ocena: A - niezgodność akceptowalna NA – niezgodność nieakceptowalna	NA	NA	NA



Rys.4. Wskazania z badań magnetyczno–proszkowych dla złącza spawanego S9 [17]

4.4. Wyniki badań

4.4.1. Wyniki badań złączy spawanych w elementach sekcji ścianowej obudowy zmechanizowanej

Podczas badań wizualnych przeprowadzonych dla wytypowanych dwudziestu czterech odcinków złączy spawanych (S1 ÷ S24) w łącznikach układu lemniskatowego, spągnicy oraz stropnicy sekcji ścianowej obudowy zmechanizowanej, po 100 000 cyklach, w ramach badań wytrzymałości zmęczeniowej, nie stwierdzono występowania geometrycznych niezgodności spawalniczych.

Badania magnetyczno - proszkowe przeprowadzone dla odcinków złączy spawanych w łącznikach układu lemniskatowego oraz stropnicy i sześciu odcinków w spągnicy wyżej wymienionych sekcji ścianowej obudowy zmechanizowanej wykazały brak wskazań liniowych i nieliniowych.

Wyniki badań dla pozostałych dwóch złączy spawanych (nr S8 i S9) w spągnicy przedstawiono w tabelach 5 i 6 oraz na rysunkach 3 i 4.

Analizując uzyskane wyniki badań stwierdzono występowanie czterech wskazań w złączu spawanym nr S8 i trzech w złączu spawanym nr S9 o długościach przekraczających wartość graniczną, wynoszącą 3 mm, dla poziomu akceptacji 2 według normy PN-EN ISO 23278:2010.

4.4.2. Wyniki badań odkuwek haków i szakli

Badania wizualne próbek odkuwek stalowych (O1 ÷ O7) wykazały brak występowania powierzchniowych nieciągłości obiektów kutych.

Ocenę wyników badań odkuwek badanych metodą magnetyczno-proszkową przeprowadzono zgodnie z normą PN-EN 10228-1:2002. Podczas klasyfikacji wskazań liniowych stosowano następujące reguły:

- wskazanie uważano za liniowe, jeżeli jego długość była większa od trzech jego szerokości,
- wskazanie liniowe uważano za odosobnione, jeżeli nie leżało w jednej linii z żadnym, innym wska-

zaniem liniowym,

- wskazania wzajemnie związane uważano za jedno ciągle, jeżeli leżały w jednej linii, a odstęp między nimi był mniejszy niż pięciokrotność długości najdłuższego wskazania.

Zgodnie z wyżej wymienionymi zasadami, podczas badań magnetyczno-proszkowych odkuwek stalowych szakli O1, O4, O6, O7 oraz haka O5 nie stwierdzono przekroczeń wartości granicznych dla wskazań liniowych odosobnionych i związanych dla klasy jakości 1 według PN-EN 10228-1:2002. Wyniki badań dla pozostałych obiektów kutych, tj.: haków suwnicy O2 i O3 przedstawiono w tabeli 7 oraz na rysunkach 5 i 6.



Rys.5. Wskazania z badań magnetyczno – proszkowych dla odkuwki stalowej O2 [17]



Rys.6. Wskazania z badań magnetyczno – proszkowych dla odkuwki stalowej O3 [17]

Wyniki badań magnetyczno-proszkowych dla odkuwek stalowych O2 i O3 [17]

Tabela 7

Badany parametr	Rodzaj badanej próbki odkuwki				
Oznaczenie odkuwki stalowej	O2		O3		
Oznaczenie wskazania na rysunku	1	2	3	4	5
Odległość od punktu 0.0 [mm]	148	220	95	176	240
Długość l [mm]	3	4	3	4	3
Niepewność pomiaru U [%]	15	15	15	15	15
Klasa jakości wg PN-EN 10228-1:2002	1		1		
Długość graniczna [mm]	5		5		
Ocena: A - niezgodność akceptowalna NA – niezgodność nieakceptowalna	A	A	A	A	A

Wyniki przeprowadzonych badań nieniszczących metodą magnetyczno-proszkową wykazały występowanie dwóch wskazań w odkuwce stalowej – hak suwnicy nr O2 oraz trzech w odkuwce stalowej – hak suwnicy nr O3, o długościach nie przekraczających wartości granicznej, dla klasy jakości 1 według PN-EN 10228-1:2002 wynoszącej 5 mm [16].

Oceniając wyniki badań wizualnych:

- złączy spawanych w świetle przyjętych kryteriów stwierdzono, że badane dwadzieścia cztery połączenia w elementach sekcji ścianowej obudowy zmechanizowanej spełniają wymagania poziomu jakości C według normy PN-EN ISO 5817:2009,
- w odkuwkach stalowych nie stwierdzono występowania powierzchniowych nieciągłości, nie spełniających przyjętego kryterium.

Ocena wyników badań magnetyczno-proszkowych:

- złączy spawanych na zgodność z wymaganiami przyjętego poziomu akceptacji wykazała, że badane: szesnaście odcinków złączy spawanych w łącznikach układu lemniskatowego, osiem odcinków w stropnicy oraz sześć odcinków w spągnicy sekcji ścianowej obudowy zmechanizowanej spełnia wymagania poziomu akceptacji 2 według normy PN-EN ISO 23278:2010, a dwa odcinki złączy spawanych w spągnicy nie spełniają wyżej wymienionych wymagań,
- wykazała, że siedem sztuk odkuwek stalowych, w tym dwa haki suwnicy jednoróżne, jeden hak suwnicy jednoróżny z zabezpieczeniem oraz cztery szakle po 10 latach eksploatacji spełniają wymagania klasy jakości 1 według PN-EN 10228-1:2002.

5. Podsumowanie

Przedstawione wyniki badań potwierdzają zasadność prowadzenia oceny jakości złączy spawanych w elementach sekcji ścianowej obudowy zmechanizowanej oraz odkuwek haków i szakli przy wykorzystaniu badań nieniszczących.

Wskazania stwierdzone podczas badań, w szczególności odnotowane wskazania z badań magnetyczno – proszkowych elementów sekcji ścianowej obudowy zmechanizowanej o długościach przekraczających wartości dopuszczalne, wskazują na potrzebę wprowadzenia cyklicznych badań nieniszczących, pozwalających na okresową ocenę stanu technicznego w czasie eksploatacji.

Literatura

1. Czuchry J., Stachurski M.: Badania nieniszczące w spawalnictwie, Instytut Spawalnictwa, Gliwice, 2005 r.
2. Gryniewicz-Bylina B.: Zastosowanie badań materiałowych nieniszczących do oceny stanu tech-

nicznego komponentów sekcji obudowy zmechanizowanej, Kwartalnik naukowo – techniczny Maszyny Górnicze nr 4/2007, Centrum Mechanizacji Górnictwa KOMAG, 2007 r.

3. Gryniewicz-Bylina B., Jaszczuk M.: Badania nieniszczące elementów podstawowych sekcji obudowy zmechanizowanej. Monografia. Nowoczesne, niezawodne i bezpieczne systemy mechanizacyjne dla górnictwa. Centrum Mechanizacji Górnictwa KOMAG, 2008 r.
4. Gryniewicz-Bylina B., Rakwicz B.: Badania materiałowe niezbędnym elementem oceny jakości maszyn i urządzeń. Monografia. Innowacyjne techniki i technologie dla górnictwa. Centrum Mechanizacji Górnictwa KOMAG, 2007 r.
5. Karpiński S., Moszumański J., Radwan-Wiatrowski K.: Laboratorium z podstaw spawalnictwa, Politechnika Koszalińska, Skrypt Wydziału Mechanicznego, Koszalin, 2001 r.
6. Klimpel A.: Kontrola i zapewnienie jakości w spawalnictwie. Tom 1, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 1998
7. Laboratorium Inżynierii Materiałowej i Środowiska KOMAG: Procedura badawcza PB-DLS/08 „Badania nieniszczące”, wyd. 8, (nie publikowana), Gliwice, 2011 r.
8. Lewińska-Romicka A.: Badania nieniszczące. Podstawy defektoskopii, Warszawa, 2001 r.
9. Lewińska-Romicka A.: Badania magnetyczne. Podręcznik Tom I, Warszawa, 1998 r.
10. Lewińska-Romicka A.: Badania magnetyczne. Podręcznik Tom II, Warszawa, 1998 r.
11. PN-EN ISO 5817:2009 - Spawanie. Złącza spawane ze stali, niklu, tytanu i ich stopów (z wyjątkiem spawanych wiązek). Poziomy jakości według niezgodności spawalniczych.
12. PN-EN ISO 9934-1:2005 - Badania nieniszczące. Badania magnetyczno-proszkowe. Część 1: Zasady ogólne
13. PN-EN ISO 17635:2010 - Badania nieniszczące spoin. Zasady ogólne dotyczące metali
14. PN-EN ISO 17638:2010 - Badanie nieniszczące spoin. Badanie magnetyczno-proszkowe
15. PN-EN ISO 23278:2010 - Badanie nieniszczące spoin. Badanie magnetyczno-proszkowe spoin. Poziomy akceptacji
16. PN-EN 10228-1:2002 - Badanie nieniszczące odkuwek stalowych. Część 1: Badania magnetyczno-proszkowe
17. Rakwicz B., Wojtynek R., Gryniewicz – Bylina B.: Weryfikacja kompetencji pracowników Laboratorium Inżynierii Materiałowej i Środowiska w zakresie badań nieniszczących, Praca statutowa Instytutu Techniki Górniczej, (nie publikowana), Gliwice, 2011 r.
18. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalis-

-
- tycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych, Dz. U. 2002 nr 139, poz. 1169 z późn. zm.
19. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 lutego 2003 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy podczas wykonywania robót budowlanych, Dz. U. 2003 nr 47 poz. 401
20. Sikora S., Czuchryj J.: Badania penetracyjne połączeń spawanych, odlewów i odkuwek, Krosno, 2008 r.
21. Stachurski M.: Badania magnetyczno-proszkowe złączy spawanych, Instytut Spawalnictwa, 2002 r.
22. Słania J., Marcinkiewicz H., Kiełbik M.: Plan spawania elementu obudowy kopalnianej – osłony odzawałowej, Przegląd Spawalnictwa, nr 2/2012
23. Szymański A.: Kontrola i zapewnienie jakości w spawalnictwie. Tom 2, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 1998 r.
24. Zespół Koordynacyjny powołany zarządzeniem nr 88, Ministra Gospodarki z dnia 18 grudnia 2006 r.: Raport z oceny bezpieczeństwa pracy w kopalniach węgla kamiennego, Warszawa, kwiecień 2007 r.

Artykuł wpłynął do redakcji w czerwcu 2012 r.

Czy wiesz, że...

...modyfikacja kształtu wirnika w istniejących pompach szlamowych może prowadzić do znacznych oszczędności. W Weir Minerals (USA) przeprowadzono symulacje pracy pomp serii AH firmy WARMAN. Badania wykazały, że zastosowanie wirnika czterołopatkowego, zamiast stosowanego dotychczas pięciołopatkowego, znacznie obniża drgania oraz wydłuża czas bezawaryjnego działania pompy. Pompa z nowym wirnikiem jest również mniej energochłonna. Kolejne zmiany, dotyczące kształtu łopatek, pozwalają na pracę pomp tego typu przy zmniejszonym stosunku wody do części stałych w pompowanej cieczy, a także w transporcie hydraulicznym szlamów lepkich.

World Coal 2012 nr 4 s.43-47

Badania rozkładu potencjału elektrostatycznego na powierzchni dielektryków stałych

Streszczenie

Ładunek zgromadzony na powierzchni dielektryków stałych, przewidzianych do stosowania w atmosferze wybuchowej, może stanowić potencjalne źródło zapłonu, w związku z możliwością wystąpienia wyładowań elektrostatycznych snopiastych. W artykule omówiono sposób oceny bezpieczeństwa stosowania materiałów nieprzewodzących w przestrzeniach zagrożonych wybuchem. Scharakteryzowano potencjał pola elektrostatycznego i omówiono metody jego pomiaru. Przedstawiono badania rozkładu potencjału elektrostatycznego na powierzchni dielektryków stałych, omawiając kolejno: stanowisko badawcze, metodę badań, sposób elektryzowania próbek, metodę prowokowania wyładowania oraz wyznaczenie rozkładu potencjału elektrostatycznego po wystąpieniu wyładowania. Zaprezentowano wyniki badań rozkładu potencjału elektrostatycznego po wystąpieniu wyładowania elektrostatycznego z powierzchni badanego dielektryka wykonanego na bazie żywicy poliestrowej.

Summary

Due to a possibility of occurrence of brush electrostatic discharges, charge collected on the surface of solid dielectric materials intended for use in explosive atmosphere can be a potential source of ignition. Method for assessment of safe use of insulating materials in areas threatened by explosion hazard is discussed in the paper. Potential of electrostatic field is characterized and methods for its measurement are discussed. Tests of distribution of electrostatic potential on the surface of solid dielectric materials are presented, discussing: test stand, testing method, method for electrification of samples, method for provoking the discharge and determination of distribution of electrostatic potential after discharge. Results of tests of distribution of electrostatic potential after electrostatic discharge from the surface of tested dielectric material, which was made on the basis of polyester resin, are presented.

1. Wprowadzenie

Materiały nieprzewodzące wykonane z tworzyw sztucznych są powszechnie stosowane w przemyśle. W przemyśle górniczym mogą one występować samodzielnie oraz jako części składowe urządzeń mechanicznych i elektrycznych. Materiały te są podatne na gromadzenie się na ich powierzchniach ładunku elektrostatycznego wskutek różnych mechanizmów elektryzacji. Posiadają również długi czas relaksacji ładunku (od kilkuset sekund do kilkudziesięciu lat) oraz duże wartości rezystywności powierzchniowej i skrośnej (powyżej $10^{12} \Omega$). Wspomniane cechy powodują, że materiał naelektryzowany stanowi potencjalne niebezpieczeństwo w strefie zagrożonej wybuchem. Układ elektrostatyczny tworzy naładowany elektrycznie obiekt nieprzewodzący, znajdujący się w określonej pozycji w stosunku do uziemionego otoczenia. Ilość energii uwolnionej podczas wyładowania elektrostatycznego, decydująca o poziomie zagrożenia, w praktyce jest trudna do zmierzenia.

Energię wyładowania iskrowego, występującego między dwoma przewodnikami, można łatwo zmierzyć i porównać z Minimalną Energią Zapłonu (MEZ) konkretnej mieszaniny wybuchowej, celem oceny zapalności wyładowania. W przypadku energii wyładowania elektrostatycznego z powierzchni materiałów nieprzewodzących, rzecz jest utrudniona. Koncepcja pra-

cy opiera się na oszacowaniu energii układu przed i po wystąpieniu wyładowania elektrostatycznego, celem oceny wielkości energii uwolnionej podczas wyładowania z powierzchni dielektryka, na podstawie pomiarów rozkładu potencjału elektrostatycznego.

Zapalność wyładowania elektrostatycznego rozumiana jest jako zdolność wyładowania do spowodowania zapłonu danej mieszaniny wybuchowej. O zapalnych właściwościach wyładowania elektrostatycznego decyduje energia uwolniona podczas wyładowania (a ściślej rzecz biorąc jej zmiana w czasie, czyli moc wyładowania). Energia wyładowania elektrostatycznego jest związana z ładunkiem uwolnionym podczas wyładowania, który w przypadku wyładowań z powierzchni materiałów nieprzewodzących jest mniejszy niż całkowity ładunek znajdujący się na powierzchni materiału badanego.

2. Ocena bezpieczeństwa materiałów pod kątem ich stosowania w przestrzeniach zagrożonych wybuchem

W celu oceny bezpieczeństwa stosowania danego tworzywa sztucznego w podziemiach kopalń stosuje się normę PN-EN 13463-1:2010 [12], która formułuje wymagania dotyczące materiałów nieprzewodzących w następujący sposób - dla urządzeń o polu powierzchni rzutu przekraczającym 100 cm^2 :

- a) rezystancja powierzchniowa materiału nie powinna przekraczać wartości $10^9 \Omega$,
- b) rozmiar, kształt i układ jest taki, że wystąpienie ładunków elektrostatycznych nie jest prawdopodobne,
- c) nieprzewodzący materiał może stanowić powłokę na uziemionym metalu o grubości nie większej niż 2 mm.

Mając na uwadze powyższe, badania mają zastosowanie do następujących materiałów: o polu powierzchni rztu przekraczającym 100 cm^2 , rezystancji powierzchniowej większej niż $10^9 \Omega$ oraz o grubości większej niż 2 mm. Inne materiały, niż zdefiniowane w wyżej wymieniony sposób, nie stwarzają w świetle cytowanej normy w przestrzeni zagrożonej wybuchem zagrożenia związanego ze zjawiskiem elektryczności statycznej.

Cytowane wyżej wymaganie b) normy jest sprawdzane poprzez badanie przeniesionego ładunku podczas wyładowania elektrostatycznego. Badanie to polega na rozładowaniu naelektryzowanej próbki materiału badanego elektrodą kulistą do kondensatora o znanej pojemności i na pomiarze występującego na nim napięcia [12]. Wartości krytyczne przeniesionego ładunku, dla każdej grupy urządzeń, są podane w wyżej wymienionej normie. W przestrzeni zagrożonej wybuchem dla mieszaniny metanu z powietrzem występującej w podziemiach kopalń (grupa I) wartość ta wynosi 60 nC. Zachodzi jednak pytanie, czy istnieje korelacja między ładunkiem przeniesionym a zapalnością wyładowania? - P. Holdstock w pracy [11] wykazuje, że nie ma uniwersalnej zależności między tymi wielkościami.

3. Potencjał pola elektrostatycznego i jego pomiar

Potencjał pola jest wielkością ściśle związaną z energią układu elektrostatycznego. Zagadnienia metrologiczne związane z pomiarami pola elektrostatycznego omówiono w literaturze [10]. W badaniach opisanych w niniejszym artykule pomiar potencjału elektrostatycznego odbywał się bezkontaktowo, za pomocą sondy kompensacyjnej. Znajomość rozkładu pola elektrostatycznego przed i po wystąpieniu wyładowania elektrostatycznego pozwala oszacować energię uwolnioną podczas wyładowania, a co za tym idzie ocenić zapalność wyładowania elektrostatycznego.

Wielkości związane z pomiarem potencjału pola elektrostatycznego były wykorzystywane do oceny zapalności wyładowań elektrostatycznych. K. Löstrand oszacował krytyczną wartość gęstości ładunku niezbędną do spowodowania wybuchu [3], zaś Y. Tabata i S. Masuda podali formułę obliczeniową energii uwolnionej podczas wyładowania, bazując na analogii do wyładowania iskrowego oraz oszacowali minimalną

wartość potencjału naładowanego izolatora niezbędną do spowodowania wybuchu [4].

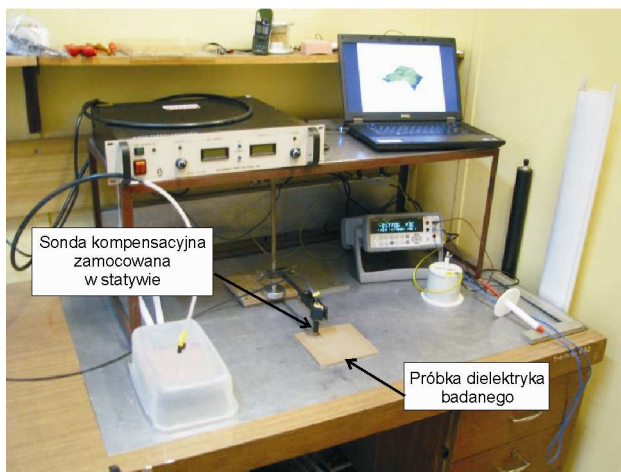
Interesujące doświadczenie opisano w pracy [6]. T. Oda i Y. Ito badali rozkład potencjału nad próbkami warstw teflonu o grubości od $50 \mu\text{m}$ do $100 \mu\text{m}$. Próbki o wymiarach $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ były elektryzowane metodą ulotową napięciem 22,5 kV (o biegunowości dodatniej i ujemnej) z wykorzystaniem 15 elektrod ostrzowych umieszczonych 10 cm nad próbką. W pracy [6] zaprezentowano profile potencjału pola po wystąpieniu wyładowania elektrostatycznego dla różnych wielkości średnicy elektrody rozładowującej oraz różnej wartości i biegunowości potencjału początkowego na próbce badanej.

W ostatnich latach prowadzono prace w University of Southampton zmierzające do określenia energii rozładowania elektrostatycznego z powierzchni materiału nieprzewodzącego do uziemionej metalowej elektrody kulistej. Wyniki badań opublikowano w artykułach [7, 8, 9]. W badaniach wykorzystano rozkład gęstości ładunku na powierzchni materiału nieprzewodzącego do oszacowania energii uwolnionej podczas wyładowania, którą obliczono za pomocą narzędzi komputerowych. Przedmiotem prac i badań były cienkie warstwy następujących materiałów: polistyren, polipropylen, polietylen, o wymiarach $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$.

4. Badania

4.1. Stanowisko badawcze

Badania przeprowadzono na stanowisku do badań rozkładu potencjału, znajdującym się na Politechnice Wrocławskiej w Instytucie Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii. Stanowisko badawcze składało się z zasilacza wysokiego napięcia prądu stałego połączonego z elektrodą 100-igłową typu „fakir electrode”, uziemionego kondensatora połączonego z elektrodą rozładowującą, woltomierza o wysokiej impedancji wejściowej (powyżej $10^{12} \Omega$) oraz sondy kompensacyjnej wraz z woltomierzem elektrostatycznym. Całość była umieszczona na uziemionej metalowej płycie. Kluczowym elementem stanowiska był woltomierz elektrostatyczny wraz z sondą kompensacyjną. W trakcie badań kontrolowano warunki środowiskowe za pomocą termohigrobarmetru. Widok stanowiska badawczego zaprezentowano na rysunku 1.



Rys.1. Stanowisko do badań rozkładu potencjału
[źródło: fotografia własna]

4.2. Metoda badań

4.2.1. Przygotowanie próbek do badań

W niniejszej pracy przedmiotem badań były próbki dielektryka stałego wykonanego na bazie żywicy poliestrowej o wymiarach 150 mm x 150 mm i grubości od 6 mm do 10 mm. Przed wykonaniem badań próbki materiałów oczyszczono alkoholem izopropylowym. Pomiary przeprowadzano w temperaturze otoczenia ~ 23°C i wilgotności względnej zmieniającej się w granicach od 30 do 40%.

4.2.2. Elektryzowanie próbek badanych

Norma PN-EN 13461-1:2010 [12] opisuje metodykę badania przeniesionego ładunku z powierzchni materiałów nieprzewodzących, celem oceny zagrożenia związanego ze stosowaniem danego materiału w przestrzeniach zagrożonych wybuchem. Opisana w normie procedura przewiduje elektryzowanie materiałów trzema metodami: pocieranie tkaniną z czystego poliamidu, pocieranie tkaniną bawełnianą oraz elektryzację z użyciem źródła wysokiego napięcia prądu stałego.

Mając na uwadze powtarzalność procesu elektryzowania materiałów badanych, odstąpiono od metod tarcowych i elektryzowanie próbek materiałów nieprzewodzących zrealizowano metodą ulotową z zastosowaniem źródła wysokiego napięcia prądu stałego. Wykorzystano elektrodę 100-igłową typu „fakir electrode”, do której doprowadzono napięcie dodatnie o wartości 15 kV.

4.2.3. Rozkład potencjału naelektryzowanej próbki

Badane próbki elektryzowano, a następnie wykonywano pomiar rozkładu potencjału elektrostatycznego nad powierzchnią próbki. Pomiar rozkładu potencjału elektrostatycznego był realizowany poprzez pomiar tzw. napięcia zastępczego, U_z które wyraża się wzorem (1):

$$U_z = \frac{q_s \cdot d}{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r} \quad (1)$$

gdzie:

q_s — gęstość powierzchniowa ładunku,

d — grubość badanej próbki,

ϵ_0 — przenikalność elektryczna próżni,

ϵ_r — przenikalność elektryczna względna materiału badanego.

Napięcie zastępcze, U_z mierzono sondą kompensacyjną umieszczoną w statywie na wysokości 5 mm nad powierzchnią badanego materiału. „Skanowanie” powierzchni próbki wykonywano manipulując ręcznie próbką materiału.

Ze wzoru (1) wynika, że zmierzony rozkład napięcia zastępczego pozwala wyznaczyć rozkład gęstości powierzchniowej ładunku na powierzchni próbki materiału badanego przed i po wyładowaniu. Możliwe jest również oszacowanie energii związanej z elektryzowanym materiałem przed i po wyładowaniu, a co za tym idzie wyznaczenie energii uwolnionej podczas wyładowania elektrostatycznego. Znajomość energii wyładowania pozwala ocenić zapalność wyładowania elektrostatycznego poprzez porównanie uwolnionej energii z Minimalną Energią Zapłonu konkretnej mieszaniny wybuchowej gazów. Działania te stanowią będą przedmiot przyszłych prac badawczych.

4.2.4. Wyładowanie elektrostatyczne

Po zmierzeniu rozkładu potencjału naelektryzowanego materiału, prowokowano wyładowanie elektrostatyczne poprzez podniesienie próbki dielektryka na wysokość ok. 10 cm nad uziemioną płytę i zbliżenie elektrody kulistej, połączonej z uziemionym kondensatorem o znanej pojemności, C do powierzchni próbki do momentu wystąpienia wyładowania. Napięcie na kondensatorze, U_c było mierzone woltomierzem o wysokiej impedancji wejściowej. Ładunek przeniesiony, Q był każdorazowo wyznaczany ze wzoru (2):

$$Q = C \cdot U_c \quad (2)$$

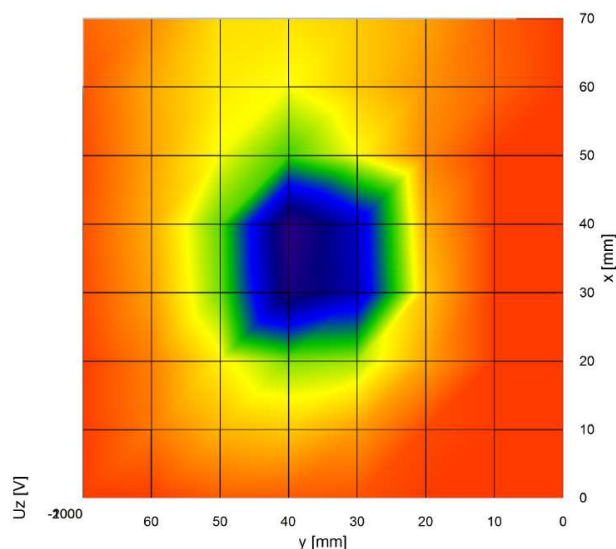
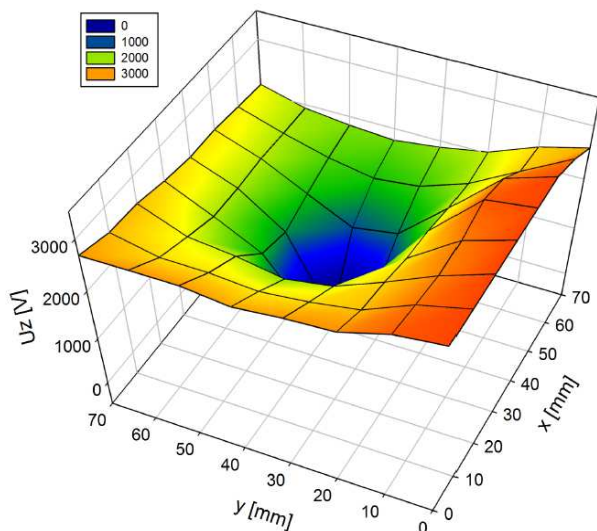
4.2.5. Rozkład potencjału po wyładowaniu elektrostatycznym

Po wystąpieniu wyładowania elektrostatycznego próbkę umieszczano ponownie na uziemionej płycie i mierzono rozkład potencjału elektrostatycznego nad powierzchnią próbki.

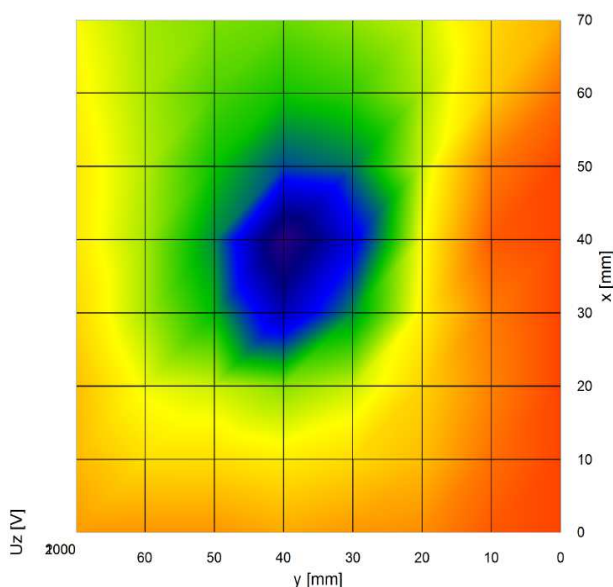
5. Wyniki badań

W niniejszym artykule zaprezentowano wyniki badań dla dielektryka wykonanego na bazie żywicy poliestrowej.

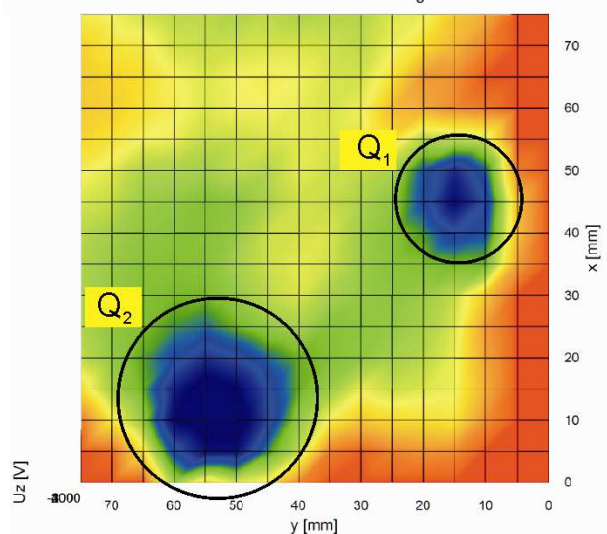
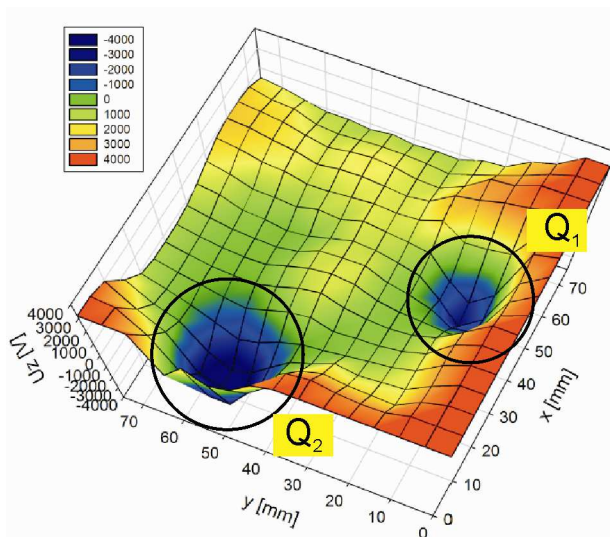
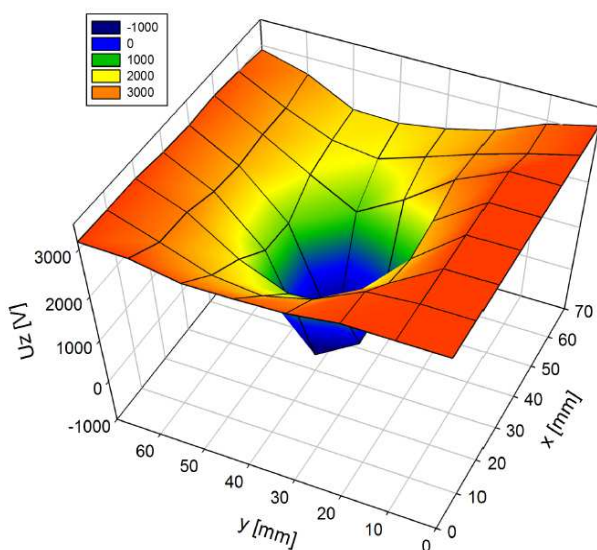
Wyniki badań rozkładu potencjału elektrostatycznego zaprezentowano na rysunkach 2 ÷ 4.



Rys.3. Rozkład potencjału elektrostatycznego po wystąpieniu wyładowania do elektrody kulistej o średnicy 30 mm z powierzchni próbki o grubości 10 mm ($Q = 65 \text{ nC}$), wilgotność względna wynosiła 38%



Rys.2. Rozkład potencjału elektrostatycznego po wystąpieniu wyładowania do elektrody kulistej o średnicy 30 mm z powierzchni próbki o grubości 8 mm ($Q = 55 \text{ nC}$), wilgotność względna wynosiła 38%



Rys.4. Rozkład potencjału elektrostatycznego po wystąpieniu wyładowania do elektrody kulistej o średnicy 30 mm z powierzchni próbki o grubości 6 mm ($Q_1 = 63 \text{ nC}$; $Q_2 = 97 \text{ nC}$), wilgotność względna wynosiła 32%

W przypadku rezultatów badań zaprezentowanych na rysunkach 2 i 3 wyładowanie elektrostatyczne do elektrody kulistej było prowokowane w przybliżeniu w środku geometrycznym obszaru badanego. Na rysunku 4 zaprezentowano wynik badania, podczas którego elektrodę kulistą przybliżono do próbki dwukrotnie, uzyskując dwa wyładowania elektrostatyczne o różnych wartościach przeniesionego ładunku.

6. Wnioski

W przeprowadzonych eksperymentach, opisywanych w literaturze, przedmiotem badań były cienkie warstwy dielektryków, o grubości rzędu 0,1 mm. Niniejsza publikacja prezentuje wyniki rozkładu potencjału na powierzchni dielektryka o grubości od 6 mm do 10 mm. Jak pokazano na rysunkach 2 i 3, po wyładowaniu elektrostatycznym występuje na powierzchni dielektryka lokalne minimum potencjału elektrostatycznego, które określono mianem „krateru potencjału”. Na rysunku 4 „krater” występuje w dwóch obszarach, ze względu na fakt, że podczas tego badania wykonano dwa niezależne wyładowania. W prezentowanych na rysunkach rozkładach potencjału widać wyraźnie, że ładunek uwolniony podczas wyładowania jest mniejszy niż całkowity ładunek znajdujący się na powierzchni materiału badanego.

Na wielkość i kształt krateru miał wpływ szereg czynników: wartość przeniesionego ładunku, potencjał początkowy na powierzchni dielektryka, wielkość elektrody rozładowującej i cechy materiałowe badanego dielektryka. Ostatni parametr jest szczególnie istotny z punktu widzenia oceny bezpieczeństwa stosowania materiałów w przestrzeniach zagrożonych wybuchem. Określenie, w jaki sposób „krater potencjału” zależy od cech materiałowych badanego dielektryka, będzie przedmiotem dalszych badań.

Ze względu na czas życia ładunku na próbce metoda badania energii wyładowania elektrostatycznego na podstawie pomiaru gęstości powierzchniowej ładunku przed i po wyładowaniu będzie miała zastosowanie przede wszystkim do materiałów o rezystancji powierzchniowej i skrośnej powyżej $10^9 \Omega$ (zalecane $10^{12} \Omega$).

Podjęty temat ma ogromne znaczenie z punktu widzenia oceny bezpieczeństwa stosowania materiałów nieprzewodzących w przestrzeniach zagrożonych wybuchem. Praca ma charakter rozwojowy.

Podziękowania

Autor pracy pragnie wyrazić podziękowania Panom Stanisławowi Makarskiemu i Mariuszowi Rasek z firmy

Minova Ekochem S.A. za dostarczenie próbek materiałów nieprzewodzących do badań oraz Kolegom z Instytutu Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii Politechniki Wrocławskiej za udostępnienie stanowiska badawczego i pomoc w realizacji badań.

Literatura

1. Gibson N., Lloyd F.C.: Incendivity of discharges from electrostatically charged plastics, Brit. J. Appl. Phys., 16 (1965) 1619-1631.
2. Fredholm O., Lövsstrand K.G.: On the discharge of static electricity from an insulating surface, J. Phys. E. 5 (1972) 1058-1062.
3. Lövsstrand K.G.: The ignition power of brush discharges - experimental work on the critical charge density, J. Electrostatics 10 (1981) 161-168.
4. Tabata Y., Masuda S.: Minimum potential of charged insulator to cause incendiary discharges, IEEE Trans. Ind. Appl. IA-20 (5) (1984) 1206-1211.
5. Landers E.U.: Distribution of charge and field-strength due to discharge from insulating surfaces, J. Electrostatics 17 (1985) 59-68.
6. Oda T., Ito Y.: Studies on electrostatic surface discharges on corona-charged polymer surfaces, IEEE Trans. Ind. Appl. 26 (4) (1990) 22-27.
7. J.L. Davidson, T.J. Williams, A.G. Bailey, G.L. Hearn, Characterisation of electrostatic discharges from insulating surfaces, J. Electrostatics 51-52 (2001) 374-380.
8. Davidson J.L., Williams T.J., Bailey A.G.: Electrostatic discharges between charged insulators and grounded spheres, J. Electrostatics 56 (2002) 29-42.
9. Davidson J.L., Williams T.J., Bailey A.G., Stevens R.P.: Discharge energy available to grounded spheres approaching charged ground-backed insulators, J. Electrostatics 59 (2003) 153-172.
10. Kacprzyk R.: Wybrane zagadnienia badań ładunku i jego zaniku w dielektrykach stałych, Prace Naukowe Instytutu Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii Politechniki Wrocławskiej Nr 41, Monografia Nr 14 (2004).
11. Holdstock P.: Does charge transfer correlate with ignition probability?, J. Phys.: Conf. Ser. 142 (2008) 012009.
12. Polska Norma PN-EN 13461-1:2010 Urządzenie nieelektryczne w przestrzeniach zagrożonych wybuchem. Część 1: Podstawowe założenia i wymagania.

Artykuł wpłynął do redakcji w czerwcu 2012 r.

Oddziaływania magnetyczne w technice przeniesienia napędu

Streszczenie

W artykule scharakteryzowano materiał magnetyczny nowej generacji - neodym, w aspekcie możliwości stosowania go w sprzęgłach magnetycznych. Przedstawiono kierunki rozwoju przekładni magnetycznych. Omówiono prace nad wykorzystaniem oddziaływań magnetycznych w technice przeniesienia napędu, prowadzone w Instytucie Techniki Górniczej KOMAG. Zaprezentowano stanowisko do symulacji i badania układów magnetycznych, przeznaczonych do przeniesienia momentu obrotowego.

Summary

Magnetic material of new generation – neodymium is characterized in the paper in the aspect of its application in magnetic couplings. Directions of development of magnetic gears are presented. Work on use of magnetic interactions in drive transmission technology, which is carried out at the KOMAG Institute of Mining Technology, is discussed. A facility for simulation and testing of magnetic systems, which are designed for torque transmission, is presented.

1. Wstęp

Rozwój materiałów magnetycznych nowej generacji, z zastosowaniem neodymu, umożliwia wykorzystanie oddziaływań magnetycznych w technice przeniesienia napędu. Magnesy neodymowe stosowane są w sprzęgłach i przekładniach magnetycznych. Sprzęgła magnetyczne znalazły zastosowanie jako sprzęgła bezpieczeństwa/przeciążeniowe. Dzięki zdolności przenoszenia momentu obrotowego poprzez niemagnetyczne materiały, sprzęgła magnetyczne stosowane są w pompach i mieszadłach. Sprzęgła magnetyczne stosowane są również jako obciążenia (hamulce) dla silników lub generatorów w hamowniach oraz wielu innych stanowiskach badawczych. Ze względu na brak zużycia wykazują znaczną przewagę w stosunku do hamulców ciernych.

Przekładnie magnetyczne wykorzystujące oddziaływania magnesów są przedmiotem prac teoretycznych i badań. Nieliczne zastosowania znalazły proste przekładnie MGT [8].

2. Charakterystyka magnesów neodymowych

Neodym $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ jest związkiem międzymetalicznym o szerokiej pętli histerezy magnetycznej wykorzystywanym w strukturze magnesów neodymowych (rys.1) [1].

Termin "magnes neodymowy" stosowany jest w odniesieniu do magnesów spiekanych (otrzymywanych metodami metalurgii proszków). Istnieją także magnesy neodymowe wiązane, w których magnetyczny proszek $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ spajany jest tworzywem sztucznym.

W tabeli 1 dokonano porównania niektórych właściwości neodymu N38 z ferrytem F30. Charakterystyczną cechą neodymu jest jego większa gęstość energii mag-

netycznej $(\text{BH})_{\text{max}}$, a od tej wielkości zależy siła oddziaływania magnesu [4].



Rys.1. $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ - związek międzymetaliczny będący podstawowym elementem struktury magnesów neodymowych [1]

Porównanie właściwości magnesu ferrytowego z neodymowym [2,10]

Tabela 1

Własności magnetyczne materiału	ferryt F30	neodym N38
Gęstość energii magnetycznej $(\text{BH})_{\text{max}}$	min. 26 [kJ/m ³]	286-302 [kJ/m ³]
Temperatura pracy*	<250°C	<80°C
Temperatura Curie**	~450°C	~310°C
Współczynnik temperatury remanencji $\text{TK}(\text{B}_r)$	-0,19 %/°C	-0,12 %/°C
Współczynnik temperatury koercji $\text{TK}(\text{H}_{\text{cJ}})$	-0,40 %/°C	-0,6 %/°C

* powyżej materiał stopniowo traci właściwości magnetyczne

** temperatura gwałtownej utraty właściwości magnetycznych

Magnesy izotropowe, których właściwości magnetyczne mierzone w różnych kierunkach są jednakowe, mają niższe wartości podstawowych parametrów magnetycznych od magnesów anizotropowych, są jednak tańsze i mogą magnesowane w dowolnym kierunku [2].

Z kolei magnesy anizotropowe posiadają najwyższe właściwości magnetyczne w wyróżnionym kierunku. Mikrostrukturę tych magnesów cechuje wyraźne uporządkowanie osi namagnesowania poszczególnych ziaren (mikrokryształów), uzyskiwane w trakcie produkcji magnesów, poprzez zastosowanie odpowiednich procesów technologicznych (np. prasowania). Magnesy anizotropowe osiągają znacznie wyższe wartości podstawowych parametrów magnetycznych niż magnesy izotropowe, wykonane z materiału o tym samym składzie. Ze względu na skomplikowany proces wytwarzania, magnesy anizotropowe są droższe od izotropowych i mogą być magnesowane tylko w jednym kierunku [2].

3. Sprzęgła magnetyczne

Sprzęgła magnetyczne służą do przenoszenia momentu obrotowego z wykorzystaniem oddziaływania magnetycznego. Wzajemne oddziaływanie magnesów w sprzęgłach synchronicznych oraz magnesów i materiału magnetycznie miękkiego (histerezyowego) w sprzęgłach histerezyowych, skutkuje powstaniem momentu siły, dzięki któremu przenoszony jest moment obrotowy.

W zależności od budowy i zasady działania sprzęgła magnetyczne dzieli się na:

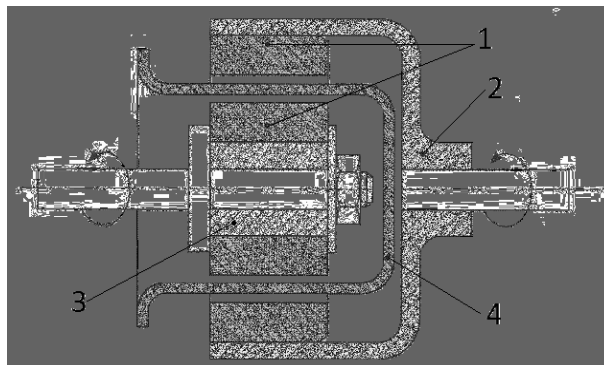
- synchroniczne, w tym:
 - tarczowe,
 - tulejowe,
- histerezyowe.

Sprzęgła synchroniczne przenoszą moment obrotowy bez zmiany prędkości obrotowej. Sprzęgła histerezyowe mogą pracować jako synchroniczne oraz jako asynchroniczne. W drugim przypadku występuje poślizg pomiędzy stroną napędową sprzęgła a stroną odbiorczą. Budowa sprzęgieł omówiona została w kolejnych punktach artykułu.

3.1. Sprzęgła synchroniczne

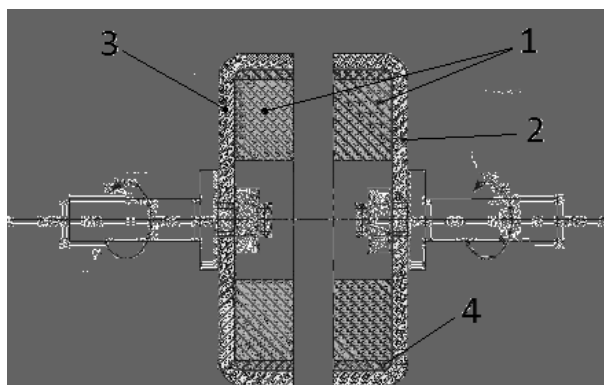
Sprzęgła synchroniczne przenoszą moment obrotowy z wykorzystaniem sił magnetycznych pomiędzy dwoma tulejami (rys. 2) lub dwiema tarczami (rys. 3), w wyniku zastosowania magnesów trwałych rozmieszczonych przemiennie i naprzeciwległe.

Sprzęgło synchroniczne przenosi moment obrotowy tylko podczas biegu synchronicznego układu. Sprzęgło magnetyczne synchroniczne tulejowe zbudowane jest z dwóch tulei (2, 3), na których osadzone są magnesy (1). Pomiedzy magnesami znajduje się tuleja uszczelniająca (4).

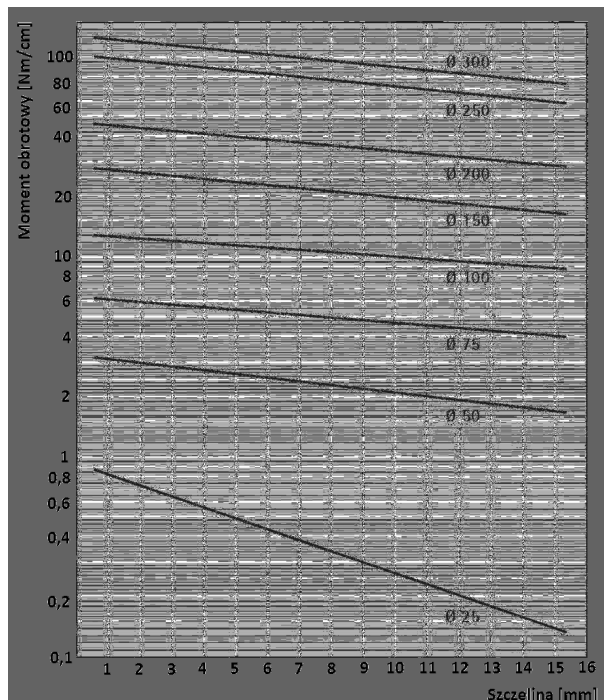


Rys.2. Sprzęgło magnetyczne synchroniczne tulejowe z uszczelnieniem [5]

Sprzęgło magnetyczne synchroniczne tarczowe zbudowane jest z dwóch tarcz (2, 3), na których za pomocą żywicy (4), zamocowane są magnesy (1).



Rys.3. Sprzęgło magnetyczne synchroniczne tarczowe [5]



Rys.4. Zależność przenoszonego momentu obrotowego od szczeliny pomiędzy magnesami i długości magnesów, dla różnych średnic nominalnych sprzęgieł Tridelta [5]

W zależności od wielkości sprzęgła mogą przenosić momenty obrotowe do 1000 Nm [6].

Wartość przenoszonego momentu zależna jest od:

- rodzaju zastosowanych magnesów,
- wielkości magnesów,
- ilości magnesów,
- średnicy sprzęgła,
- szczeliny pomiędzy współpracującymi magnesami.

Zależność przenoszonego momentu obrotowego od szczeliny pomiędzy magnesami i długości magnesów, dla różnych średnic nominalnych w sprzęgłach Tridelta [5] pokazano na rysunku 4.

W sprzęgle synchronicznym, połówki sprzęgła w stacjonarnym punkcie pracy obrócone są o kąt fazowy (rys. 5) [4]. Wartość kąta zależna jest od rodzaju magnesów, ich rozmieszczenia oraz od wartości obciążenia [4]. W przypadku zwiększenia obciążenia powyżej maksymalnego momentu obrotowego, następuje samoczynne rozłączenie sprzęgła.



Rys.5. Ułożenie magnesów w załączonym sprzęgle magnetycznym synchronicznym tulejowym - przesunięcie fazowe [6]

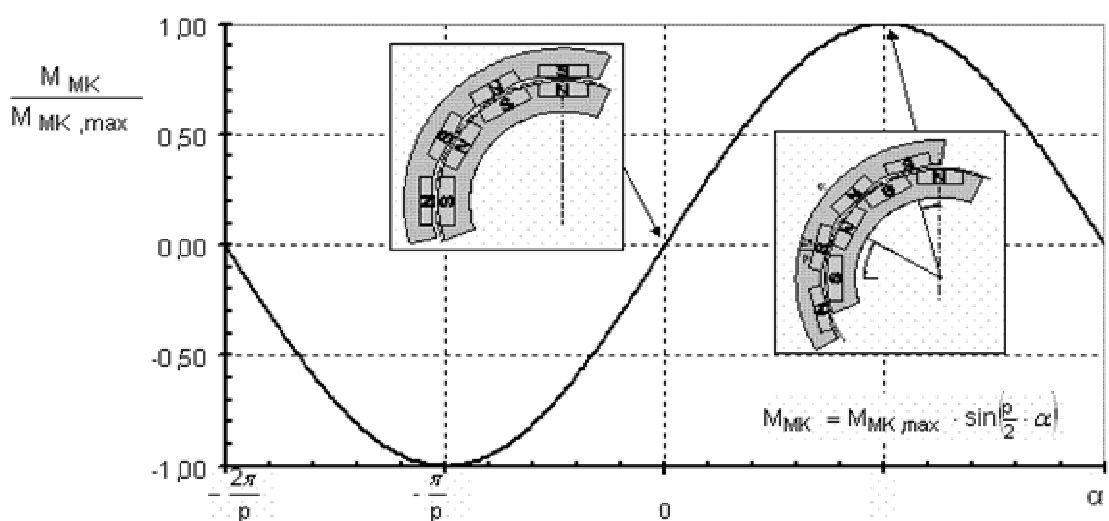
Pojedyncze magnesy w jednakowej liczbie ze zmieniającą się biegunowością znajdują się osiowo-symetrycznie naprzeciwko siebie. Aby obrócić je w pozycję pracy, należy przyłożyć moment początkowy, który rośnie, a następnie spada do zera (rys. 6).

Podstawowe zalety sprzęgieł magnetycznych synchronicznych to:

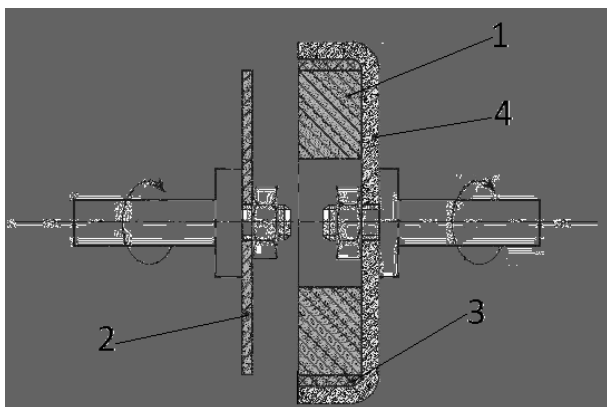
- przenoszenie momentu obrotowego do 1000 Nm,
- nieograniczona liczba załączeń i przeciążeń,
- przenoszony moment obrotowy pozostaje niezmienny,
- odporne na zużycie,
- nie wymagają konserwacji,
- możliwość stosowania w miejscach wymagających szczególnej czystości,
- brak zewnętrznych źródeł zasilania i bezobsługowość,
- bezstykowe przenoszenie mocy.

3.2. Sprzęgła histerezyowe

W sprzęgle histerezyowym wykorzystywane jest oddziaływanie pomiędzy magnesami trwałymi, a materiałem magnetycznie miękkim, o wąskiej pętli histerezy. Materiał taki jest łatwy do namagnesowania. Przykładowe sprzęgło histerezyowe pokazano na rysunku 2. Połówka sprzęgła posiada naprzemiennie rozmieszczone magnesy trwałe (1), zamocowane do tarczy (4) za pomocą żywicy (3). Druga połowa sprzęgła posiada tarczę z materiału magnetycznie miękkiego, nazywanego histerezyowym (2). Materiał histerezyowy działa podobnie jak magnes trwały, pozwala jednak przy użyciu niewielkiej energii na odwrócenie polaryzacji (namagnesowanie ciała pod wpływem zewnętrznego pola magnetycznego). W przypadku przekroczenia momentu znamionowego sprzęgła, następuje jego poślizg. Przesuwanie się magnesów trwałych względem tarczy histerezyowej wywołuje ciągłą zmianę polaryzacji tarczy, co skutkuje jej nagrzewaniem się. Z tego powodu najczęściej połówka sprzęgła z tarczą histerezyową znajduje się po stronie odbiorczej, dalej od napędu, co ułatwia chłodzenie.



Rys.6. Wykres momentu początkowego, wymaganego do obrotu sprzęgła magnetycznego synchronicznego w pozycję pracy [7]



Rys.7. Sprzęgło histerezyowe [5]

Podstawowe zalety sprzęgieł histerezyowych to:

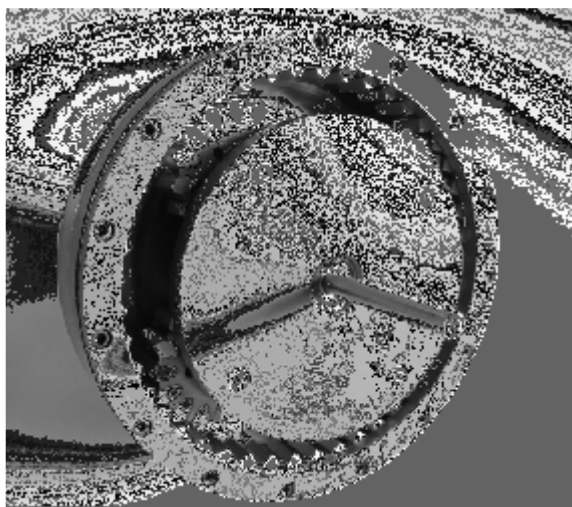
- ciągły i płynny poślizg przy zadanym momencie obrotowym,
- łagodny rozruch,
- różna prędkość obrotowa połączonych wałów,
- bezstykowe przenoszenie mocy.

Wadą jest nagrzewanie się tarczy histerezyowej i związana z tym konieczność jej chłodzenia.

4. Przekładnie magnetyczne

Przekładnie magnetyczne wykorzystują oddziaływania magnesów trwałych do przeniesienia momentu obrotowego z jednoczesną zmianą prędkości obrotowej. Obecnie prowadzone są prace teoretyczne i doświadczalne z tego zakresu. Zastosowanie znalazły proste przekładnie MGT [8].

Jednym z kierunków wspomnianych prac teoretycznych są konstrukcje, w których na powierzchniach zębów ułożone są magnesy trwałe (rys. 8). W przekładni takiej nie występuje fizyczny kontakt pomiędzy zębami. Wyeliminowano zjawisko tarcia, a co za tym idzie zużycie ściernie i konieczność smarowania i chłodzenia [8].



Rys.8. Prototypowa przekładnia planetarna bezstykowa MGT [8]

Na rysunku 8 przedstawiono przekładnię planetarną bezstykową MGT, w której zastosowano dodatkowy mechanizm zabezpieczający przed przeciążeniem. Zęby kół satelitarnych mają możliwość w przypadku przeciążenia wsuwania się w kierunku osi tych kół. Zapobiega to kontaktowi pomiędzy zębami kół satelitarnych i wieńca. Aby przekładnia mogła ponownie pracować, wymaga mechanicznej korekty położenia zębów [8].



Rys.9. Prototypowa przekładnia magnetyczna Magnomatics na stanowisku badawczym, z prawej budowa przekładni - wewnętrzny i zewnętrzny, pierścienie magnesów oraz pośrodku pierścień z elementów ferromagnetycznych [9]

Drugim kierunkiem prac są przekładnie z wirującym polem magnetycznym.

Na rysunku 9 pokazano magnetyczną bezstykową przekładnię Magnomatics zamontowaną na stanowisku badawczym, oraz jej budowę. W przekładni tej wirujący pierścień magnesów naprzemiennie magnesuje elementu ferromagnetyczne, które wytwarzają wirujące pole magnetyczne. Pole to oddziałuje z drugim pierścieniem magnesów trwałych, wprawiając go w ruch. Różna ilość magnesów na poszczególnych pierścieniach skutkuje uzyskaniem przełożenia przekładni. Przekładnia taka działa również jak sprzęgło przeciążeniowe. W przeciwieństwie do rozwiązania MGT, przy spadku wartości obciążenia poniżej wartości krytycznej, przekładnia samoczynnie się załącza.

Zaletami powyższych rozwiązań są:

- brak zużycia ściernych elementów przekładni,
- cicha praca,

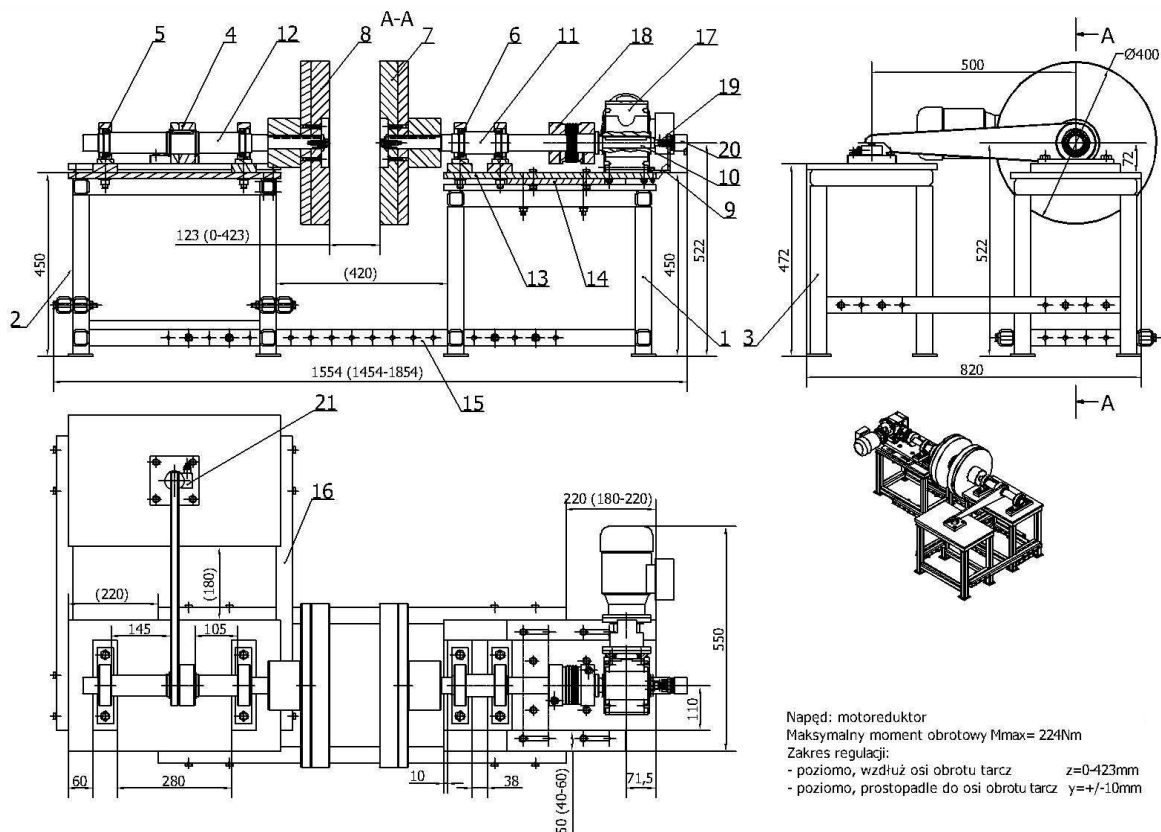
- brak konieczności smarowania i chłodzenia,
- wysoka sprawność (99%) [9].

5. Prace Instytutu Techniki Górniczej KOMAG

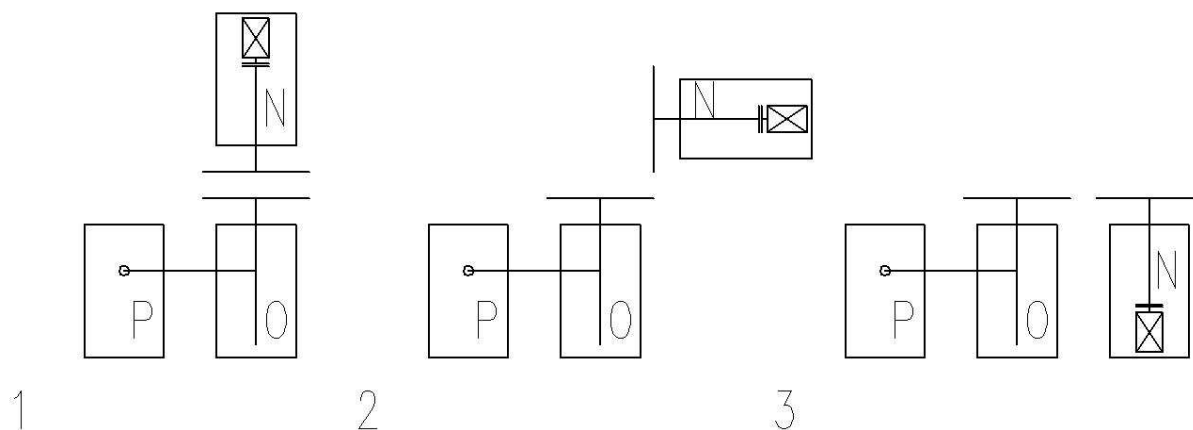
Innowacyjność tematyki i możliwości, jakie niesie wykorzystanie oddziaływań magnetycznych w technice przeniesienia napędu, były powodem podjęcia w Instytucie Techniki Górniczej KOMAG prac nad jej wykorzystaniem do przenoszenia obciążeń w napędach. Dotychczas prowadzone prace ukierunkowane są na

rozpoznanie zjawisk towarzyszących magnetyzmowi, w aspekcie zastosowania w budowie sprzętów magnetycznych i przekładni [3, 4]. W celu zweryfikowania opracowanych koncepcji zaprojektowano stanowisko do symulacji i badania układów magnetycznych, przeznaczonych do przeniesienia momentu obrotowego [4].

Stanowisko zaprezentowane na rysunku 10 składa się ze stołu strony napędzającej (1), stołu strony napędzanej (2) oraz stołu pomiarowego (3). Na stole (1) zamocowano płytę (16), posiadającą możliwość pozio-



Rys.10. Budowa stanowiska do symulacji i badania układów magnetycznych przeznaczonych do przeniesienia momentu obrotowego [4]



Rys.11. Możliwe konfiguracje stanowiska do symulacji i badania układów magnetycznych. Te same konfiguracje są możliwe w wersji bez ramienia, z hamulcem. Oznaczenia: N- strona napędzająca, O- strona odbierająca, P- część pomiarowa [4]

mego przesuwania w kierunku wzdłuż osi obrotu, w zakresie 60 mm. Na płycie (16) osadzono płytę (15), mającą możliwość przesuwania w poziomie, w kierunku prostopadłym do osi obrotu w zakresie ± 10 mm względem wzdłużnej osi symetrii stołu (1). Na płycie (15) zamocowano również motoreduktor (19).

Na wał I (12) motoreduktora, dołączono za pomocą sprzęgła (19) enkoder (22), służący do pomiaru kąta obrotu. Enkoder zamocowano do płyty (15) za pomocą mocowania (11). Z drugiej strony wał I (12) połączony jest z wałem II (13) za pomocą sprzęgła (20). Wał II (13) osadzono w łożyskach mocowanych w oprawie łożyska ustalającego (5) i oprawie łożyska pływającego (6). Oprawy zamocowano na płycie (15). Cały układ wraz z płytą (15) i płytą (16) posiada możliwość płynnej regulacji położenia w dwóch kierunkach: poziomo w kierunku wzdłuż osi obrotu, w zakresie 60 mm oraz w poziomie w kierunku prostopadłym do osi obrotu w zakresie ± 10 mm względem wzdłużnej osi symetrii stołu (1). Na końcu wału (13) zamocowano zespół tarczy magnesów I (9).

Na stole (2) zamocowano łożyska osadzone w oprawie łożyska ustalającego (5) i oprawie łożyska pływającego (6). Łożyska kulkowe z głębokim rowkiem mogą przenosić poprzeczne siły. Na łożyskach podparty jest wał III (12). Na wale III zamocowano ramię (4) i zespół tarczy magnesów II (10).

Na stole pomiarowym (3) zamocowano przetwornik siły (23), na którym opiera się ramię (4).

Stół (1) jest połączony z stołem (2) za pomocą dwóch łączników I (17). Połączenie umożliwia zmianę odległości pomiędzy stołami, co 50 mm, co wraz ze wspomnianą wyżej regulacją położenia płyty (16) zapewnia płynną regulację odległości pomiędzy tarczami magnesów w zakresie 0 – 423 mm.

Stół (2) połączony jest z stołem (3) za pomocą łączników II (18), co umożliwia skokową regulację odległości pomiędzy stołami, co 50 mm.

Istnieje również możliwość zamocowania dodatkowych elementów pomiędzy stołami (1) i (2), takich jak: koła pośrednie do badania przekładni lub elementy zakłócające pole magnetyczne, w celu badania wrażliwości układu na zakłócenia.

Stanowisko umożliwia zestawienie trzech konfiguracji (rys. 11). W pierwszej, powierzchnie czołowe tarcz są równoległe, zwrócone do siebie. Osie mogą się pokrywać, lub być przesunięte w zakresie ± 10 mm w płaszczyźnie poziomej. W drugiej powierzchnie tarcz są do siebie prostopadłe. W trzeciej powierzchnie tarcz są ułożone w jednym kierunku, ich osie są równoległe.

W celu minimalizacji zakłóceń pola magnetycznego wały, oprawy łożysk, płyty są wykonane z stali niemagnetycznej. Stoły wykonane są z profili aluminiowych, płyty stołów z aluminium. Zastosowane śruby,

podkładki i nakrętki wykonane są również ze stali nierdzewnej.

Stanowisko badawcze pozwala na przeprowadzenie badań nad układami przeznaczonymi do sprzęgieł oraz przekładni magnetycznych współosiowych i o osiach równoległych.

Badania te ukierunkowane będą na określenie:

- wartości przenoszonego momentu oraz jego zmian w czasie,
- sprawności układów,
- przesunięcia fazowego układu,
- wpływu zakłóceń pola magnetycznego na pracę układów.

Przeprowadzenie badań umożliwi wybór układów przeznaczonych do budowy pełnowymiarowych modeli sprzęgła i przekładni.

6. Podsumowanie

Wykorzystanie oddziaływań magnetycznych w technice przeniesienia napędu możliwe jest dzięki nowej generacji magnesów. Magnesy neodymowe oddziałują silniej niż magnesy starszej generacji – ferrytowe. Dzięki zdecydowanej poprawie własności materiałów magnetycznych możliwe stało się wykorzystanie ich w sprzęgłach magnetycznych. Dalszym kierunkiem rozwoju wspomnianych sprzęgieł będzie:

- zwiększanie wartości momentu obrotowego, jaki są zdolne przenosić,
- zmniejszanie kąta przesunięcia fazowego.

Cele te realizowane są na drodze rozwiązań konstrukcyjnych oraz w pracach z materiałoznawstwa i fizyki, dotyczących materiałów magnetycznych.

W przypadku przekładni magnetycznych ich rozwój możliwy jest również dzięki nowej generacji magnesów. Szereg koncepcji powstałych w trakcie prac teoretycznych oraz dotychczas badanych doświadczalnie rozwiązań, wymaga dalszych badań i prac.

Planowane są konstrukcje przekładni magnetycznych, posiadających takie zalety jak: brak zużycia ściernego, cichobieżność, zdolność do rozłączenia przy przeciążeniu. Cechy te spowodują, iż wspomniane konstrukcje mogą w przyszłości zastąpić w niektórych układach mechanicznych obecnie stosowane mechaniczne przekładnie i sprzęgła[3].

Literatura

1. Trout S. R.: „PERMANENT MAGNETS BASED ON THE LANTHANIDES Raw Materials, Processing and Properties” materiały konferencyjne via www.spontaneousmaterials.com/Papers/Koreapaper.pdf

-
2. Soiński M.: „Materiały magnetyczne w technice” Biblioteka COSIW SEP Warszawa 2001.
 3. Tomas A.: E/E43-12379 "Przeniesienie napędu z wykorzystaniem oddziaływań magnetycznych", opracowanie KOMAG: 2011.
 4. Tomas A., Matusiak P., Bal M.: E-BG/12497 „Nowe rozwiązanie sprzęgła magnetycznego przeciążeniowego zmienno-obrotowego", opracowanie KOMAG: 2011.
 5. www.tridelta.pl
 6. www.sprzegla.pl
 7. www.klaus-union.pl
 8. www.magnetpowertransmission.com
 9. www.magnomatics.com
 10. www.magnesy.eu

Artykuł wpłynął do redakcji w czerwcu 2012 r.

Czy wiesz, że...

...w austriackim przedsiębiorstwie Poyss GesmbH (Poysdorf) zainstalowano w grudniu 2011 roku, nową mobilną kruszarkę szczękową QJ 241 firmy Sandvik. Przy wymiarach otworu załadowniczego 1000x650 mm, jej wydajność dochodzi do 225 t/h. System sterowania kruszarki kontroluje zarówno poziom nadawcy, jak i prędkość obrotową napędu głównego przenośnika. Zastosowane nowatorskie rozwiązania, dotyczące układu chłodzenia i rozpraszania ciepła, zdalnego sterowania oraz systemu uszczelnień, czynią z kruszarki QJ 241 idealne urządzenie do zastosowania na budowach, w niewielkich kopalniach odkrywkowych, a przede wszystkim w zakładach utylizacji i recyklingu odpadów.

Aufbereitungstechnik 2012 nr 4 s.74-80

Wybrane zagadnienia bezpieczeństwa górnich wyciągów szybowych

Streszczenie

Bezpieczeństwo funkcjonalne obiektów technicznych (według IEC 61508) to uwolnienie się od nieakceptowalnego ryzyka (niebezpieczeństwa) fizycznego zranienia człowieka lub pogorszenia zdrowia ludzkiego, albo bezpośrednio jak również pośrednio jako wyniku uszkodzenia obiektu lub środowiska. Jest ono tą częścią całkowitego bezpieczeństwa, która zależy od prawidłowej pracy systemu lub urządzenia w odpowiedzi na sygnały wejściowe. Bezpieczeństwo funkcjonalne jest uzyskiwane przez wbudowanie do systemu lub urządzenia specjalizowanego układu, który realizuje funkcje zabezpieczenia obiektu. Pewność i jakość realizacji funkcji zabezpieczenia determinuje poziom bezpieczeństwa funkcjonalnego oraz stwarza możliwość redukcji zagrożenia spowodowanego awarią. W artykule omówiono potrzebę zapewnienia bezpieczeństwa podstawowych obiektów zakładów górniczych, jakimi są górnicze wyciągi szybowe. Jako materiał wyjściowy do przedstawienia retrospekcji kierunków rozwoju bezpieczeństwa wyciągów szybowych wykorzystano wyniki badań niebezpiecznych zdarzeń przeprowadzonych w latach 2010-2011 przez Urząd Górniczy do Badań Kontrolnych Urządzeń Energomechanicznych (obecnie: Specjalistyczny Urząd Górniczy).

Summary

Operational safety of technical objects (acc. to IEC 61508) means elimination of unacceptable risk (hazard) of physical injury to man or damage to human health in the result of direct or indirect damage to object or environment. It is a part of total safety, which depends on proper operation of the system or machine in response to input signals. Operational safety can be achieved by installation in the system or in the machine the special system, which protects the object. Reliability and quality of realization of protection function determine the level of operational safety and reduce hazard caused by a failure. The need to ensure the safety of the basic objects, such as mining shaft hoists, in the mining plants is discussed in the paper. Results of analyses of hazardous events, which were made within 2010-2011 by the Mining Authority for Control Tests of Energomechanical Equipment (at present: Specialized Mining Office), were used as the basis to present directions of development of safety of shaft hoists.

1. Wprowadzenie

W pierwszej dekadzie lat 90-tych, czasie głębokich przemian ustrojowych i gospodarczych, nadzór górniczy przeanalizował zaistniałe w poprzednim okresie niebezpieczne zdarzenia (awarie), które wystąpiły w ruchu górniczych wyciągów szybowych i stwierdził, iż w przeważającej większości były one następstwem, jak to wówczas określano, „dekapitalizacji technicznej elementów wyciągów szybowych”. W celu zidentyfikowania problemu w tym zakresie „przeanalizowano łącznie 570 wyciągów szybowych eksploatowanych w szybach zgłębianych”, bez uwzględnienia „wyciągów szybikowych oraz wyciągów eksploatowanych przez przedsiębiorstwa budownictwa górnego.” W wyniku analizy problemu zaproponowano „podział wyciągów szybowych na trzy zasadnicze grupy w oparciu o kryterium czasu eksploatacji oraz kryterium promowanych na

przestrzeni lat rozwiązań technologicznych i konstrukcyjnych wyciągów szybowych, a mianowicie:

- grupa I - wyciągi szybowe zbudowane przed 1945 rokiem,
- grupa II - wyciągi szybowe zbudowane w okresie od 1945 r. do 1972 r.,
- grupa III - wyciągi szybowe zbudowane po roku 1972 (datę budowy wyciągu szybowego przyjęto według daty zainstalowania maszyny wyciągowej)."

W konkluzji analizy problemu autorzy publikacji z 1996 r. [1] zasugerowali praktyczne wskazówki dla podejmowanych przedsięwzięć w zakresie modernizacji górniczych wyciągów szybowych.

„Realizując modernizację w odniesieniu do wyciągów szybowych I i II grupy, nasuwa się teza, że nie jest celowym jedynie proste przywracanie początkowych stanów technicznych maszyn i urządzeń poprzez wy-

mianę zużytych elementów. Nie wydaje się również celowym proste przywracanie założonych stanów technicznych maszyn i urządzeń w drodze wymiany zużytych elementów na nowe, o tych samych parametrach technicznych, lecz wykonanych nowoczesnymi środkami technicznymi w oparciu o dostępne współcześnie technologie. Najbardziej właściwą wydaje się natomiast modernizacja maszyn i urządzeń umożliwiająca wprowadzenie nowych systemów zabezpieczeń z nowymi funkcjami i formami oddziaływania.”

„Dotychczasowa technika bezpieczeństwa, polegająca głównie na profilaktyce zakładającej tworzenie i utrzymywanie standardów bezpieczeństwa wymaganych przepisami, powinna zostać uzupełniona systemami identyfikacji zagrożeń (w drodze diagnozowania stanów), zanim doprowadzą one do awarii. Warunki techniczne budowy maszyn i urządzeń powinny wymuszać środkami technicznymi bezpieczną ich eksploatację i organizację pracy ludzi, bez potrzeby stosowania administracyjnych ograniczeń i zakazów.

Wybór zakresu modernizacji wyciągów szybowych powinien w ostatecznym efekcie pozwolić na zwiększenie szeroko rozumianej niezawodności i bezpieczeństwa pracy” [1].

Określenie skali problemu bezpieczeństwa eksploatacji górniczych wyciągów szybowych w dzisiejszych realiach, wymaga jednak określenia zarówno liczby eksploatowanych górniczych wyciągów szybowych, jak i aktualnego podziału na grupy, z zastosowaniem kryteriów zaproponowanych przez autorów wyżej wymienionej publikacji.

Obecnie w Polsce eksploatowanych jest 324 górniczych wyciągów szybowych. Około 10% wszystkich górniczych wyciągów szybowych eksploatowanych w ruchu zakładów górniczych zostało zbudowanych przed 1945 rokiem, a zbudowane w latach 1946 - 1972 stanowią około 72%. Zgodnie z oczekiwaniami przedstawionymi w cytowanej publikacji, nastąpiła minimalizacja liczby I grupy wyciągów, a grupa II została

w sposób znaczący zmodernizowana. Zmiany wprowadzane w grupie III, nie przewidywane przez autorów wyżej wymienionego opracowania, stanowią realizację wniosków użytkowników wyciągów szybowych, dążących do zapewnienia zarówno bezpieczeństwa eksploatacji górniczych wyciągów szybowych, jak i sprostania współczesnym oczekiwaniom odnośnie wydajności, sprawności i efektywności wydatkowanych środków finansowych na ich utrzymanie w pełnej sprawności technicznej.

W tabeli 1 zaprezentowano porównawcze zestawienie wartości charakterystycznych danych z roku 1996 oraz 2010.



Rys.1. Zmodernizowana maszyna wyciągowa 2L-6000/2400 [9]

Zestawienie danych z roku 1996 i 2010 [9]

Tabela 1

Rok	Masa transportowanej kopaliny [min ton]	Liczba osób/dobę [tys.]	Łączna liczba górniczych wyciągów szybowych	Max głębokość szypów [m]	Max prędkość jazdy [m/s]	Max ładowność naczyń wyciągowych [Mg]	Grupa I – liczba/% górniczych wyc. szybowych zbudowanych przed 1945 r.	Grupa II – liczba/% górniczych wyc. szybowych zbudowanych w okresie 1945-1972	Grupa III – liczba/% górniczych wyc. szybowych zbudowanych po 1972 r.
1996	200	200	570	1250	20	30	<u>129</u> 23%	<u>328</u> 57%	<u>113</u> 20%
2010	111	90	324	1250	20	35	<u>32</u> 10%	<u>233</u> 72%	<u>59</u> 18%

2. Bezpieczeństwo funkcjonalne

Bezpieczeństwo funkcjonalne obiektów technicznych (według IEC 61508) to uwolnienie się od nieakceptowalnego ryzyka (niebezpieczeństwa) fizycznego zranienia człowieka lub uszkodzenia zdrowia ludzkiego, albo bezpośrednio albo pośrednio jako wyniku uszkodzenia obiektu lub środowiska. Jest ono tą częścią całkowitego bezpieczeństwa, która zależy od prawidłowej pracy systemu lub urządzenia w odpowiedzi na sygnały wejściowe.

Bezpieczeństwo funkcjonalne jest uzyskiwane przez wbudowanie do systemu lub urządzenia specjalizowanego układu, który realizuje funkcje zabezpieczenia obiektu na podstawie analizy sygnałów wejściowych. Pewność i jakość realizacji funkcji zabezpieczenia determinuje poziom bezpieczeństwa funkcjonalnego oraz redukcję zagrożenia spowodowanego awarią [5, 7].

W dalszej części artykułu omówiono potrzebę ciągłego działania dla zapewnienia bezpieczeństwa podstawowych obiektów zakładów górniczych, jakimi są górnicze wyciągi szybowe. Jako materiał wyjściowy do przedstawienia nowych kierunków rozwoju bezpieczeństwa funkcjonalnego wyciągów szybowych wykorzystano wyniki badań niebezpiecznych zdarzeń przeprowadzonych w latach 2010-2011 przez Urząd Górniczy do Badań Kontrolnych Urzędów Energomechanicznych (obecnie: Specjalistyczny Urząd Górniczy).

2.1. Zdarzenie I

W szybie kopalni zainstalowane są dwa górnicze wyciągi szybowe:

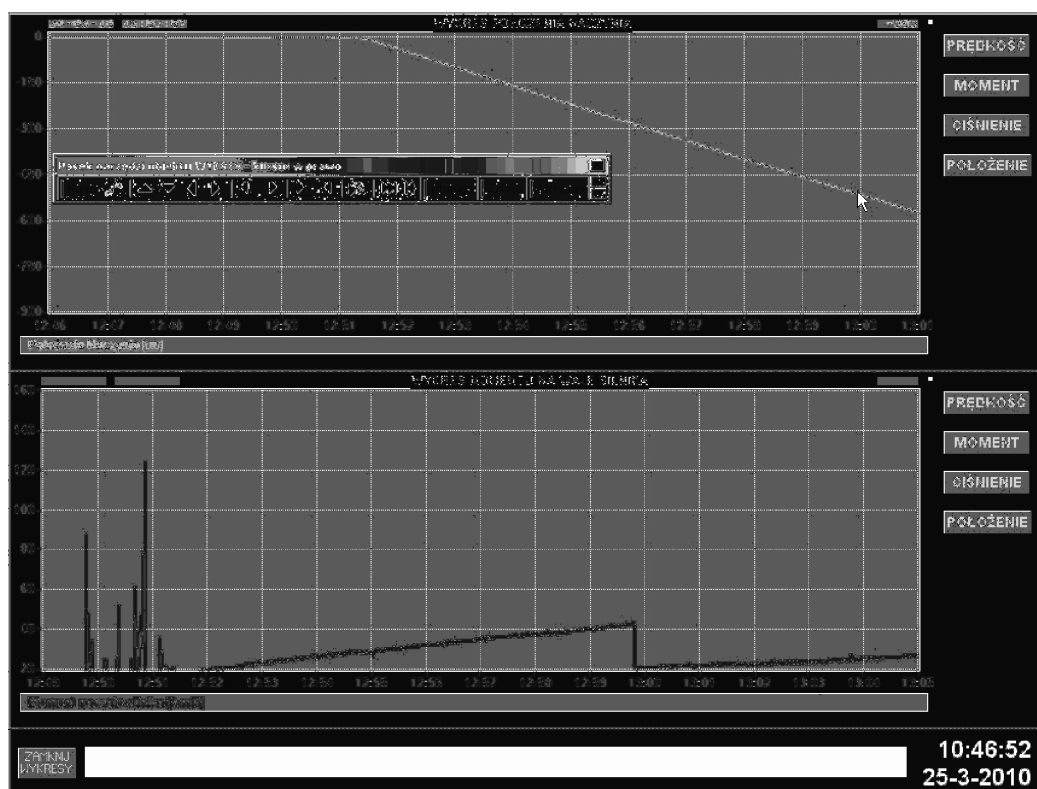
- górniczy wyciąg szybowy podstawowy,
- górniczy wyciąg szybowy awaryjno-rewizyjny.

Górniczy wyciąg szybowy podstawowy wyposażony jest w dwie klatki czteropiętrowe o ładowności 7,5 Mg przy transporcie materiałów i urobku oraz 6,0 Mg (tj. 64 osoby) przy jeździe ludzi. Transport urobku, materiałów i jazda ludzi prowadzone są z prędkością 9 m/s. Maszyna wyciągowa typu 2L-4500/2 x 830 zabudowana jest na poziomie zrębu.

Górniczy wyciąg szybowy pomocniczy, awaryjno-rewizyjny, wyposażony jest w klatkę jednopiętrową o ładowności 0,45 Mg. Prędkość jazdy wynosi 2,0 m/s. Maszyna wyciągowa typu B-1500A zabudowana jest na poziomie zrębu. W górniczym wyciągu szybowym stosowane jest szynowe prowadzenie boczne (asymetryczne) naczynia wyciągowe, z wykorzystaniem szyn typu S18.

Ruch górniczych wyciągów szybowych jest prowadzony pomiędzy poziomami: zręb (0,00 m), poz. -120 (-378,39 m), poz. -240 (-499,25 m), poz. -400 (-663,00 m) oraz poz. -600 (-864 m).

W dniu 24 marca 2010 r. od godziny 12⁴⁷ (czas systemu wizualizacji zespołu maszyny wyciągowej = czas rzeczywisty + 4 minuty) była wykonywana rewizja liny wyciągowej nośnej ϕ 22 mm górniczego wyciągu



Rys.2. Zmniejszenie wartości momentu obciążenia silnika wyciągowego [9]

szybowego awaryjno-rewizyjnego przez brygadę złożoną z dwóch pracowników oddziału szybowego, sygnalisty i rewidenta szybowego. Rewizja liny była prowadzona z uprawnionego stanowiska rewizyjnego zlokalizowanego na zrębie szybu, z którego sygnalista ma możliwość zdalnego uruchamiania, zatrzymywania i zmiany prędkości ruchu maszyny wyciągowej do wartości maksymalnej 1 m/s. Rewizja liny była wykonywana podczas opuszczania naczynia wyciągowego z prędkością 1 m/s. Na stanowisku sterowniczym maszyny wyciągowej wyciągu pomocniczego przebywał stale maszynista wyciągowy, obserwujący jej pracę. W trakcie ruchu maszyny wyciągowej o godz. 12⁵⁶ wystąpiła nagle zmiana (zmniejszenie) wartości momentu rozwijanego przez silnik napędowy, co zarejestrowano na wykresie momentu silnika wyciągowego w systemie wizualizacji.

Zmniejszenie wartości momentu rozwijanego przez silnik mogło wskazywać, że w tym momencie nastąpiło unieruchomienie naczynia wyciągowego w szybie na głębokości ok. 509 m poniżej zrębu szybu (pod poziomem -240). Prawdopodobnie nastąpiło jego zakleszczenie w prowadzeniu. Maszynista wyciągowy podczas jazdy maszyny wyciągowej nie obserwował wskaźnika momentu rozwijanego przez silnik napędowy, ponieważ w tym czasie kontrolował poprawność odwijania liny z bębna. Pomimo unieruchomienia naczynia wyciągowego w szybie ruch maszyny wyciągowej był kontynuowany, aż do osiągnięcia zaprogramowanego poziomu końcowego naczynia wyciągowego dla tego rodzaju pracy, tj. głębokości 886,5 m poniżej zrębu. W wyniku kontynuowanego odwijania liny z bębna maszyny wyciągowej nastąpił jej swobodny zwis w szybie. O godz. 13⁰³ sygnalista szybowy na polecenie rewidenta szybowego zrezygnował z rodzaju pracy „rewizja liny”. Maszynista wyciągowy, nieświadomy zaistnienia awarii, uruchomił maszynę wyciągową w kierunku ruchu naczynia wyciągowego do góry do poziomu -600 (863,0 m poniżej zrębu). Po zatrzymaniu ruchu maszyny wyciągowej w pozycji odpowiadającej położeniu naczynia wyciągowego na poziomie -600 stwierdził wystąpienie sygnału ostrzegawczego na monitorze systemu wizualizacji maszyny wyciągowej - *Błąd korekcji naczynia w położeniu dolnym*.

Maszynista wyciągowy podjął próbę ustalenia przyczyny wystąpienia powyższego sygnału ostrzegawczego poprzez dwukrotny przejazd w rejonie łącznika korekcji szybowskazu zabudowanego na głębokości 860,32 m. Wykonując próby ustalenia przyczyny wystąpienia sygnału ostrzegawczego, maszynista sterując ruchem maszyny w dół nie osiągnął dolnej granicy strefy dozwolonej korekcji szybowskazu (cecha szybowskazu poniżej -862,60 m) - osiągnął głębokość odpowiadającą ustawieniu naczynia na poziomie -600. Takie postępowanie spowodowało, że nie został wyświetlony komunikat o błędzie korekcji na monitorze systemu wizualizacji maszyny wyciągowej.

Podczas wykonywania wyżej wymienionych przejazdów nie wystąpił sygnał - Korekcja szybowskazu w położeniu dolnym, który jest sygnalizowany przez 1 sekundę zielonym symbolem graficznym na ekranie systemu wizualizacji maszyny wyciągowej w momencie, gdy naczynie wyciągowe znajduje się na poziomie zabudowy w szybie łącznika korekcji szybowskazu „dół” – poz. -860,32 m. Maszynista wyciągowy na podstawie wykonanych prób i obrazu odwzorowania położenia naczynia w szybie na monitorze systemu wizualizacji wyciągnął błędny wniosek o sprawności górniczego wyciągu szybowego i rozpoczął ruch maszyny wyciągowej naczyniem wyciągowym do góry z prędkością 2 m/s. Podczas tej jazdy o godz. 13¹⁰ nastąpiło awaryjne zatrzymanie napędem maszyny wyciągowej spowodowane pobudzeniem łącznika wrót na poziomie -400.

Przyjęto, że przyczyną awarii było zakleszczenie naczynia wyciągowego w jego prowadzeniu podczas ruchu w dół, co spowodowało powstanie zwisu liny wyciągowej nośnej i jej spętlenie o elementy zbrojenia szybowego. Następujący po tym ruch w górę powodował wybieranie zwisu liny w szybie, uszkodzenie jej spletek o elementy zbrojenia szybowego, uwolnienie naczynia wyciągowego z jego zakleszczenia oraz w konsekwencji zerwanie liny energią spadającego naczynia wyciągowego.

W wyniku przeprowadzonego przez rzeczoznawcę do spraw ruchu zakładu górniczego badania poawaryjnego klatki jednopiętrowej stwierdzono między innymi brak czołowej mosiężnej wkładki ślizgowej w prowadnicy naczynia wyciągowego oraz niezgodny z dokumentacją techniczną kształt pozostałych wkładek prowadnic ślizgowych (brak ukosowania górnych i dolnych krawędzi wkładek).

Ruch górniczego szybowego pomocniczego awaryjno-rewizyjnego został wznowiony na podstawie zezwolenia kierownika ruchu zakładu górniczego w oparciu o wyniki odbiorów technicznych i przeprowadzonych badań w dniu 6 kwietnia 2010 r.

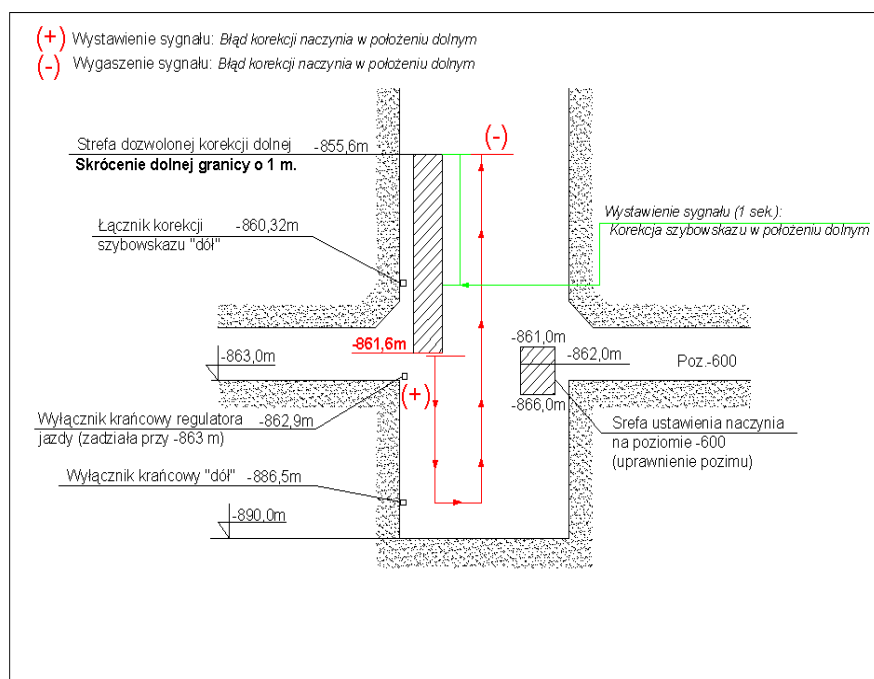
W dniu 11 kwietnia 2010 r. producent zespołu urządzeń maszyny wyciągowej skorygował punkt, od którego pojawia się sygnał o braku korekcji w dolnym położeniu naczynia wyciągowego tak, aby wystąpił przed osiągnięciem ustawienia piętra klatki na poziomie -600. W ten sposób usunięto „martwą strefę” w działaniu zabezpieczeń cyfrowego wskaźnika głębokości, w której zatrzymanie ruchu wyciągu powodowało niejednoznaczną ocenę jego działania przez maszynistę wyciągowego w przypadku nie wykonania korekcji w dolnym położeniu naczynia wyciągowego. Przed wprowadzeniem korekty, sygnał ostrzegawczy pojawiał się poniżej głębokości odpowiadającej poziomowi -600. Aby uzyskać informację o braku korekcji, należało zjechać naczyniem 60 cm poniżej ustawienia na poziomie lub zauważyć niewyświetlenie informacji *Korekcja*

w położeniu dolnym przed dojazdem do poziomu - wyświetlanej chwilowo po przeprowadzeniu poprawnej korekcji.

Opisywane zdarzenie stało się podstawą do określenia kierunkowych działań naprawczych i korygujących mających na celu podniesienie poziomu bezpie-

Korekcja naczynia w położeniu górnym	F	24-03-10 12:51:21
Korekcja naczynia w położeniu górnym	K	24-03-10 12:51:22
Ustawienie naczynia poziomie 1	F	24-03-10 12:57:39
Ustawienie naczynia poziomie 1	K	24-03-10 12:57:44
Ustawienie naczynia poziomie 2	F	24-03-10 12:59:43
Ustawienie naczynia poziomie 2	K	24-03-10 12:59:48
Ustawienie naczynia poziomie 3	F	24-03-10 13:02:03
Ustawienie naczynia poziomie 3	K	24-03-10 13:02:09
Ustawienie naczynia poziomie 4	F	24-03-10 13:06:18
Błąd korekcji naczynia w położeniu dolnym	F	24-03-10 13:06:21
Ustawienie naczynia poziomie 4	K	24-03-10 13:06:29
Położenie rozdzielacza 3.2.4	K	24-03-10 13:07:09
Położenie rozdzielacza 3.1.4	K	24-03-10 13:07:09
Otwarcie zaworu 3.1.4	F	24-03-10 13:07:09
Otwarcie zaworu 3.2.4	F	24-03-10 13:07:09
Czyszczenie hamulec zamknięty	K	24-03-10 13:07:10
Siłownik od układu napędu	F	24-03-10 13:07:10
Uaktywniona część hamulca - 2	F	24-03-10 13:07:10
Otwarcie zaworu 2.1.2	F	24-03-10 13:07:10
Siłownik od układu napędu	F	24-03-10 13:07:10
Siłownik napędowy Wydrągowej	F	24-03-10 13:07:10
Siłownik od układu napędu Wydrągowej	F	24-03-10 13:07:10
Sterowanie automatyczne Władzy Wydrągowej	K	24-03-10 13:07:16
Kawcza liny nosnej	K	24-03-10 13:07:16
Położenie rozdzielacza 3.1.1	F	24-03-10 13:07:17
Położenie rozdzielacza 3.2.1	F	24-03-10 13:07:17
Położenie rozdzielacza 3.3.2	F	24-03-10 13:07:17
Wyłączenie automatycznego regulacji jazdy	F	24-03-10 13:07:17
Siłownik od układu napędu	F	24-03-10 13:07:17
PGOB - Gotowość obwodów bezpieczeństwa do załączenia	F	24-03-10 13:07:17

Rys.3. Błąd korekcji szybowski naczynia wyciągowego w jego dolnym położeniu [9]



Rys.4. Strefy sygnału „błąd korekcji szybowski naczynia wyciągowego w położeniu dolnym” [9]

czeństwa eksploatacji wyciągów szybowych, w których stosowane jest szynowe prowadzenie boczne (asymetryczne) naczynia wyciągowe. Analizą objęto możliwe do zrealizowania działania, których kierunki określono następująco:

- wyposażenie naczynia wyciągowego w prowadnice toczne krążkowe,
- zrealizowanie nadzorowania wielkości momentu rozwijanego przez silnik wyciągowy w przypadku opuszczania naczynia wyciągowego w oparciu o przyjęty model obliczeniowy w funkcji drogi jazdy wraz z możliwością jego oddziaływania na obwód bezpieczeństwa maszyny wyciągowej lub awaryjne zatrzymanie za pomocą napędu,
- możliwość wykorzystania urządzeń radiowych do kontroli poprawności opuszczania naczynia wyciągowego, np. poprzez kontrolę położenia zawieszenia nośnego naczynia wyciągowego lub jego blachy trzonowej.

Nadzór wielkości momentu rozwijanego przez silnik wyciągowy jest przykładem realizacji bezpieczeństwa funkcjonalnego. Wykonawca zespołu urządzeń maszyny wyciągowej B-1500A zaproponował wprowadzenie dodatkowego zabezpieczenia działającego w przypadku wykrycia nieuzasadnionego obniżenia wartości momentu silnika napędowego.

Zmiany polegały na zaimplementowaniu dodatkowego bloku programowego w aplikacji sterownika PLC przedmiotowego zespołu urządzeń. Do grupy zabezpieczeń zbiorczych napędu maszyny wyciągowej wprowadzono blok programowy w programie sterownika PLC zespołu urządzeń maszyny wyciągowej, realizujący kontrolę wartości momentu rozwijanego przez silnik napędowy w czasie opuszczania naczynia w szybie w stosunku do wartości spodziewanej, wynikającej z masy naczynia wyciągowego i głębokości, na której się ono znajduje. Zabezpieczenie to wykrywa przypadek wystąpienia wartości momentu rozwijanego przez silnik napędowy o wartości mniejszej od wynikającej z przyjętego modelu. Zadziałanie tego zabezpieczenia skutkuje zadziałaniem zabezpieczeń zbiorczych sterownika PLC, przerwaniem obwodu bezpieczeństwa napędu poprzez odzwbudzenie przekaźnika wykonawczego zabezpieczeń zbiorczych, który z kolei powoduje przerwanie obwodu bezpieczeństwa hamulca i w efekcie awaryjne zatrzymanie wyciągu szybowego.

Zabezpieczenie bazuje na porównaniu w komparatorze wartości sygnału proporcjonalnego do rzeczywistego momentu rozwijanego przez silnik (wartość przekazywana z przemiennika częstotliwości) z wartością teoretyczną oczekiwaną momentu wynikającą z położenia naczynia wyciągowego na danej głębokości w szybie (sygnał ten wypracowany jest jako suma masy naczynia wyciągowego oraz masy aktualnie rozwiniętego odcinka liny nośnej, obliczeniowo jest to iloczyn masy jednostkowej liny i aktualnego położenia

naczynia). Informacja o obniżeniu się momentu obciążenia powoduje zadziałanie zabezpieczenia przy założeniu, że zaburzenie utrzymuje się przez określony czas podczas opuszczania naczynia wyciągowego z prędkością ustaloną.

Dodatkowo przewidziano możliwość symulacji zadziałania zabezpieczenia poprzez chwilowe podanie sygnału wysokiego bezpośrednio na zacisk wejścia cyfrowego sterownika PLC. Informacja o zadziałaniu tego zabezpieczenia przekazywana jest obsłudze na jednym z ekranów wizualizacji stanów pracy górniczego wyciągu szybowego.

Opisywane rozwiązanie nie zabezpieczy przed wystąpieniem zawieszenia naczynia wyciągowego w szybie, ale zminimalizuje jego skutki, a przede wszystkim, jednoznacznie poinformuje obsługę o wystąpieniu stanu awaryjnego.

2.2. Zdarzenie II

Szyb wydobywczy zakładu górniczego jest szybem jednoprzędziałowym, o średnicy 7,5 m, zgłębnym do –1097,74 m.

Górniczy wyciąg szybowy jest wyposażony w dwa skipy o ładowności 40 Mg. Transport urobku prowadzony jest z prędkością 18 m/s pomiędzy poziomem załadowczym 1040 m, a poziomem wyładowczym na nadszypiu (+16,8 m). Maszyna wyciągowa górniczego wyciągu szybowego 4L-5000/2 x 3600 zabudowana jest na poziomie zrębu szybu. Maszyna wyciągowa wyposażona jest w hamulce tarczowe z osiemnastoma parami siłowników hamulcowych typu BSFG 408-A00-02-00-S. Ruch maszyny wyciągowej prowadzony jest w sterowaniu ręcznym, automatycznym lub trybie zdalnego uruchamiania podczas prowadzenia prac rewizyjnych. Na wolnej drodze przejazdu naczyń wyciągowych w wieży wyciągowej zabudowano 5 par zgrubionych przewodników drewnianych na długości 12 m. Zgrubienie przewodników w wieży rozpoczyna się 2 m powyżej najwyższego położenia technologicznego naczyń wyciągowych. W rzapiu szybu, poniżej skrajnego technologicznego położenia naczyń wyciągowych, na 15-metrowej wolnej drodze przejazdu naczyń wyciągowych zabudowano dwa przewodniki zgrubione na przedłużeniu czołowych ciągów przewodniczych w szybie. Hamowanie skipów na wolnych drogach przejazdu w rzapiu rozpoczyna się 2 m poniżej najniższego skrajnego położenia technologicznego naczyń wyciągowych i przebiega na długości 13 m.

W dniu 5 grudnia 2011 r. na zmianie „C” od godziny 22⁰⁰ prowadzono wydobywanie urobku przy załączonym sterowaniu automatycznym. Około godziny 2⁰³ dnia 6 grudnia do załadunku podstawiony był skip zachodni. Po jego załadunku, urządzenie sterowniczo-sygnałowe wygenerowało poprawny sygnał startu w kierunku „Y” (skip zachodni do góry), natomiast prądy wzbu-

dzenia silników napędowych zostały zrealizowane błędnie przez układ sterowania, tj. w kierunku przeciwnym „X” (skip wschodni do góry). W wyniku powyższego po odhamowaniu maszyny wyciągowej nastąpił ruch naczyń wyciągowych w nieprawidłowym kierunku. Przejazd skipami poza skrajne położenia technologiczne skutkowało zadziałaniem wyłączników przejazdowych regulatora jazdy oraz wyłączników krańcowych zabudowanych w szybie, powodując hamowanie bezpieczeństwa przy prędkości jazdy ok. 1,5 m/s. Wskutek powstałej sytuacji nastąpił wjazd skipów w urządzenia hamujące zabudowane na wolnych drogach przejazdu w wieży i rzapiu szybu. Skip wschodni zatrzymał się w wieży 2,11 m powyżej górnego skrajnego położenia technologicznego, skip zachodni zatrzymał się w rzapiu 3,3 m poniżej dolnego skrajnego położenia technologicznego.

Przyczyną awarii było wystąpienie błędu w układzie sterowania maszyny wyciągowej przy jednoczesnym braku odpowiedniego zabezpieczenia chroniącego przed konsekwencjami jego wystąpienia.

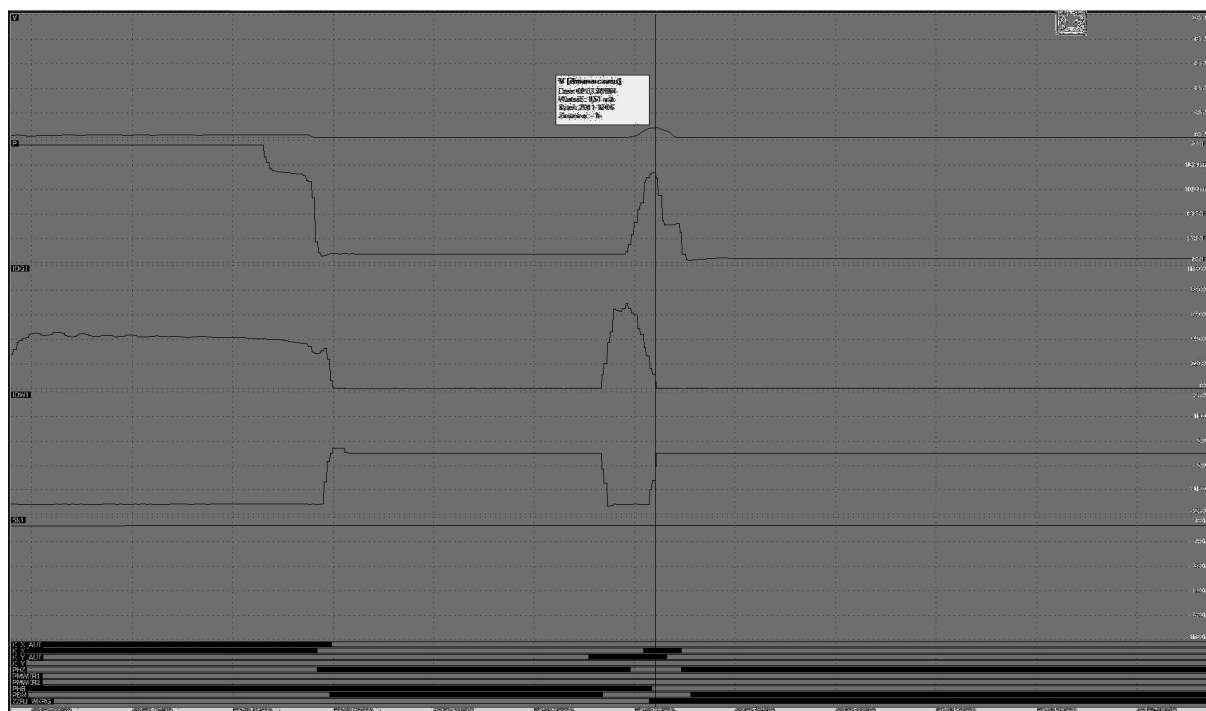
W toku oględzin miejsca zdarzenia prowadzonego przez Dyrektora UGBKUE, przedstawiciel producenta maszyny wyciągowej przedstawił propozycje modyfikacji realizacji kontroli momentu rozwijanego przez silniki wyciągowe z uwzględnieniem nie tylko wartości prądu obwodu głównego i prądów wzbudzenia (co do modułu – wartości bezwzględnej), lecz z uwzględnieniem kierunków prądów wzbudzenia (odpowiednio wartość dodatnia lub ujemna, skojarzona z właściwym kierunkiem jazdy).

Producent wprowadził korektę oprogramowania ste-

rowników PLC maszyny wyciągowej z modyfikacją podprogramu kontroli momentu. Po jej zaimplementowaniu w sterownikach, wykonano cykl symulowanych prób startu w sterowaniu automatycznym dla każdego naczynia wyciągowego. Obecnie, po wprowadzeniu zmiany, sytuacja nieprawidłowa, polegająca na nieprawidłowym kierunku bądź wartości prądów wzbudzenia lub wartości prądu obwodu głównego, będzie skutkowała brakiem odhamowania maszyny wyciągowej i po czasie 0,5 sekundy przerwaniem obwodu bezpieczeństwa wskutek zadziałania zabezpieczenia „nieprawidłowy kierunek prądu wzbudzenia”. Podjęcie wyżej wymienionych działań miało na celu uniemożliwienie powtórzenia się sytuacji ruchu naczyń wyciągowych w nieprawidłowym kierunku.

Ponadto podjęto działania diagnozujące w celu ustalenia „źródła błędu” w układzie sterowania maszyny wyciągowej, będącego bezpośrednią przyczyną awarii. W tym celu m.in. producent maszyny wyciągowej rozszerzył listę sygnałów rejestrowanych przez aparat rejestrujący maszyny wyciągowej, związanych z algorytmem sterowania napędu, tj. wartości prędkości zadanej z regulatorów jazdy sterowników PLC, stanu cyfrowego sygnału wyboru wejścia analogowego prędkości zadanej dla regulatora prędkości obrotowej zaimplementowanego w sterowniku PLC napędu maszyny wyciągowej, które powinny pomóc w diagnozowaniu poprawności jej działania.

Przeprowadzone badania nadzwyczajne maszyny wyciągowej pozwoliły na identyfikację błędu wykonawczego, polegającego na podwójnym, dwustronnym uziemieniu ekranu przewodu przesyłającego wartość prędkości zadanej z cyfrowych regulatorów jazdy do



Rys.5. Zapisy aparatu rejestrującego maszyny wyciągowej [9]

układu napędowego maszyny wyciągowej. Zakłócenie sygnału napięciowego prędkości zadanej z układu sterowania maszyny wyciągowej do układu napędu elektrycznego, którego możliwym źródłem było silne pole elektromagnetyczne występujące w pobliżu niewłaściwie uziemionych przewodów ekranowanych łączących szafy sterowania maszyny wyciągowej i szafy sterowania napędu. Przewody te były uziemione po obu stronach przyłącza, powodując powstanie zamkniętego zezwoju podatnego na zakłócenie od zewnętrznych pól elektromagnetycznych, co potwierdzono w czasie przeglądu poawaryjnego.

Wprowadzone zmiany w maszynie wyciągowej uniemożliwiają rozpoczęcie jazdy wyciągu w ruchu automatycznym w kierunku przeciwnym doadanego poprzez kontrolę rzeczywistego występowania poprawnego kierunku jazdy wyciągu, kontrolę zgodności sygnałów zadających prędkość z układu sterowania maszyny wyciągowej do układu sterowania napędem oraz umożliwiają stosowanie maksymalnej siły hamowania podczas rozpoczynania ruchu wyciągu szybowego, zwiększając skuteczność działania hamulca w tym przypadku.

3. Podsumowanie

Przedstawione przykłady działań podjętych po zdarzeniach awaryjnych świadczą o konieczności ciągłego rozwoju zagadnień związanych z realizacją bezpieczeństwa funkcjonalnego górniczych wyciągów szybowych. Nasuwa się wniosek, iż większość dotychczasowych zabezpieczeń, w tym wymaganych przepisami górniczymi, obejmuje zagadnienia zabezpieczenia obiektu (np. maszyny wyciągowej) przed zniszczeniem i destrukcją. Są to zabezpieczenia nadprądowe, nadnapięciowe, przed przekroczeniem dozwolonej prędkości obrotowej, podprądowe wzbudzenia (tj. przed zanikiem momentu elektrodynamicznego silnika wyciągowego), etc. [3, 4]. Tymczasem przytoczone przykłady wskazują na potrzebę realizacji dodatkowych zabezpieczeń związanych ze specyfiką górniczego wyciągu szybowego, w którym eksploatowane są poszczególne maszyny i urządzenia, które same takiego zabezpieczenia nie wymagają (np. zabezpieczenie przed zbyt niskim momentem silnika wyciągowego - zabezpieczenie „neutralne” z poziomu bezpieczeństwa eksploatacji maszyny wyciągowej, jest ważnym zabezpieczeniem funkcjonalnym jednokońcowego górniczego wyciągu szybowego) [8].

W trakcie procedury dopuszczania do stosowania w zakładach górniczych maszyn wyciągowych przedmiotowych wyciągów, pozytywnie oceniono zaproponowane rozwiązania, podkreślając jednocześnie celowość ich wprowadzenia, w celu zminimalizowania prawdopodobieństwa powstania sytuacji awaryjnej lub zminimalizowania skutków takiego zdarzenia.

Należy podkreślić, iż w trakcie przeprowadzania badań kontrolnych górniczych wyciągów szybowych pracownicy inspekcyjno-techniczni Specjalistycznego Urzędu Górniczego (dawnego UGBKUE) omawiają z przedstawicielami zakładów górniczych zagadnienia techniczne związane z możliwością wprowadzenia zmian w wyciągach szybowych. Opisane powyżej rozwiązania techniczne, powstały w wyniku takich analiz prowadzonych przez pracowników SUG. Na podkreślenie zasługuje fakt maksymalnego wykorzystania przez producentów możliwości technicznych jakie daje stosowanie w budowie zespołów maszyn wyciągowych swobodnie programowalnych sterowników logicznych PLC oraz wykorzystanie rozbudowanych aplikacji wizualizacji stanów pracy maszyn wyciągowych [2].

W najbliższej przyszłości należy oczekiwać kolejnych rozwiązań technicznych umożliwiających podniesienie poziomu bezpieczeństwa eksploatacji wyciągów szybowych, w tym jednokońcowych wyciągów szybowych realizujących zadania wyciągów pomocniczych, awaryjno-rewizyjnych. Oczekiwane są też nowe rozwiązania urządzeń bezprzewodowej sygnalizacji i łączności szybowej, umożliwiające przekazanie znacznie większej liczby sygnałów z poruszającego się naczynia wyciągowego, w celu zrealizowania optymalnego monitoringu. Przykładem mogą być eksploatowane już systemy łączności szybowej zrealizowane w oparciu o dane pozyskane z wykorzystaniem transmisji wi-fi. System taki przekazuje rewidantom m.in. informację o wartości prędkości i położenia naczynia wyciągowego w szybie, transmituje sygnały sterownicze i ich zwrotne potwierdzenie oraz umożliwia bezprzewodową łączność naczynie wyciągowe-stanowisko sterownicze maszyny wyciągowej, jak również cyfrową rejestrację i archiwizację pozyskanych danych [6].

Literatura

1. Wojtowicz W., Zygmunt A.: „Dekapitalizacja techniczna elementów wyciągów szybowych zagrożeniem bezpieczeństwa pracy”. Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna, Gliwice 8-10 październik 1996 r.
2. Kiercz M., Krajczok J., Szczygieł M.: Zmiany w górniczych wyciągach szybowych będące w latach 2004-2007 przedmiotem badań kontrolnych odbiorczych UGBKUE. IV Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Transport Linowy”, Szczyrk 17-19.09.2007.
3. Cholewa J., Hałupczok P., Małecki J., Oleksy A.: Ocena maszyn wyciągowych na podstawie ich wyposażenia i zastosowanych rozwiązań technicznych. IV Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Transport Linowy”, Szczyrk 17-19. 09. 2007.

-
4. Hansel J., Koczwara J., Krajczok J., Zygmunt A.: Monografia pod redakcją J. Hansel pt. *Metodyka kształtowania bezpieczeństwa transportu pionowego w polskich zakładach górniczych – rozdział 5. – Syntetyczna ocena poziomu technicznego i określenie kierunków modernizacji górniczych wyciągów szybowych eksploatowanych w Polsce*. Zeszyty Naukowo-Techniczne AGH-KTL, Zeszyt 40.
 5. Loska G., Musiał Z.: Wybrane zagadnienia bezpiecznego stosowania maszyn i urządzeń w zakładach górniczych. Konferencja „Problemy Bezpieczeństwa i Ochrony Zdrowia w Polskim Górnictwie”, Mysłowice 27-28.03.2008.
 6. Krajczok J., Szczygieł M.: Zmiany w górniczych wyciągach szybowych w latach 2004-2007. Konferencja „Problemy Bezpieczeństwa i Ochrony Zdrowia w Polskim Górnictwie”, Mysłowice 27-28.03.2008.
 7. Hansel J.: *Niezawodność i bezpieczeństwo systemów maszynowych transportu pionowego – wyniki wybranych prac naukowych Katedry Transportu Linowego AGH. IV Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Transport Linowy”, Szczyrk 17-19.09.2007.*
 8. Kiercz M., Szczygieł M.: Grawitacyjne opuszczanie nadwagi naczyń wyciągowych w przypadku awaryjnego zatrzymania ruchu maszyny wyciągowej górniczego wyciągu szybowego. V Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Transport Linowy”, Szczyrk wrzesień 2009.
 9. Materiały własne Specjalistycznego Urzędu Górniczego (nie publikowane)

Artykuł wpłynął do redakcji w czerwcu 2012 r.

Czy wiesz, że...

...KOPEX ma kontrakty za 2 mld zł. O 56% w ujęciu rocznym wzrósł na koniec kwietnia 2012 r. portfel zamówień tego producenta maszyn górniczych. W segmencie biznesu podstawowego spółki (maszyny i usługi górnicze) wartość portfela w tym okresie przekroczyła 1,7 mld zł. Jest on wypełniony na trzy kolejne lata. Szacuje się, że w 2012 roku KOPEX będzie mieć ok. 2 mld zł przychodu (bez segmentu energii), 190 mln zł zysku operacyjnego i 85 mln zł zysku netto.

Rzeczpospolita 23 maja 2012 s.B7

Redukcja hałasu wybranych maszyn i urządzeń górniczych

Streszczenie

W artykule przedstawiono przykład rozwiązania zabezpieczenia przeciwhałasowego, będącego propozycją do wdrożenia w przemyśle górniczym. Dotychczasowe wyniki badań, uzyskane w ramach prac realizowanych przez Instytut Techniki Górniczej KOMAG, wykazują potrzebę wprowadzenia nowych rozwiązań w zakresie redukcji hałasu maszyn i urządzeń górniczych. Omówiono metody pasywnej redukcji hałasu oraz możliwości wdrożenia metody aktywnej.

Summary

Examples of solutions of anti-noise protections, which are suggested to be implemented in the mining industry, are presented in the paper. Previous tests results, which were obtained within work realized by the KOMAG Institute of Mining Technology, indicate the need for new solutions as regards reduction of noise of mining machines and equipment. Methods for passive noise reduction and possibilities of implementation of active method are discussed.

1. Wprowadzenie

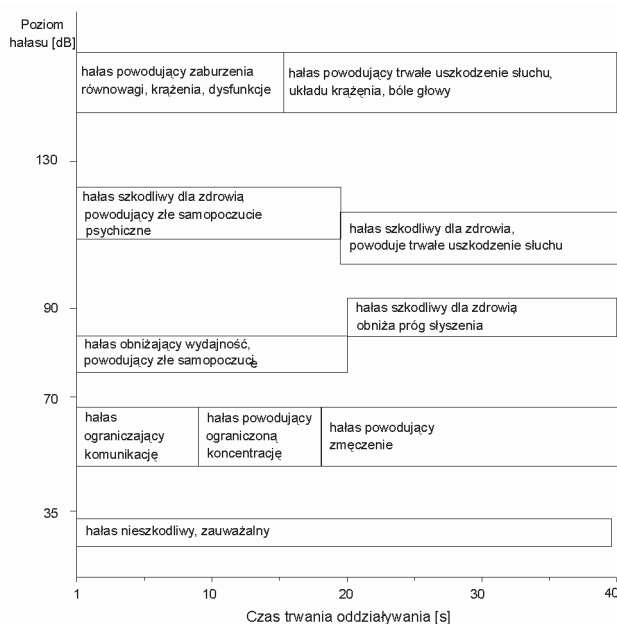
Współczesny rozwój przemysłu górniczego, uwarunkowany wzrostem efektywności wydobywania, jego koncentracją i automatyzacją procesów przerobczych związany jest ściśle z poprawą warunków pracy. Rosnące wymagania w zakresie wydajności maszyn i urządzeń, powodują pojawianie się zagrożeń związanych z użytkowaniem urządzeń zwiększonej mocy [5]. Skutkiem funkcjonowania maszyn o bardzo dużych mocach jest często hałas. Hałas z punktu widzenia fizjologicznego, to niechciany dźwięk, który ujemnie wpływa na zdrowie człowieka i środowisko. Należy zaznaczyć, iż do hałasu zaliczane są również dźwięki o częstotliwościach nie wywołujących żadnych wrażeń słuchowych, takich jak infradźwięki (2 Hz – 16 Hz) i ultradźwięki (16 kHz–10 GHz). Wpływ hałasu na środowisko człowieka, w odniesieniu do czasu oddziaływania przedstawiono przykładowo na rysunku 1.

Obniżenie poziomu hałasu wiąże się z ukształtowaniem odpowiedniego klimatu akustycznego w środowisku pracy. Klimatem akustycznym środowiska określa się zespół zjawisk akustycznych zachodzących wewnątrz danego środowiska wywołanych przez źródła tam się znajdujące. Obniżenie hałasu w środowisku pracy może być realizowane metodami: administracyjnymi i technicznymi.

Mówiąc o metodach technicznych stosowanych w przemyśle górniczym należy wymienić pasywne i aktywne metody redukcji hałasu.

Metody pasywnej redukcji hałasu polegają na stosowaniu rozwiązań konstrukcyjnych tj. osłony, obudowy z zastosowaniem materiałów dźwiękochłonnych i dźwiękoizacyjnych, skutecznych w redukcji dźwięków z zakresu średnich i wysokich częstotliwości. Me-

tody aktywne wykorzystują zjawiska interferencji i znajdują obecnie zastosowanie głównie w systemach ochrony indywidualnej pracowników tj. ochronniki słuchu [9].



Rys.1. Wpływ oddziaływania hałasu na człowieka [1]

2. Badania hałasu wybranych maszyn i urządzeń górniczych

Z rozporządzenia Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy, (Dz. U. Nr 217 z 2002 r., poz. 1833) [12] wynika, iż poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy nie może przekraczać 85 dB, a od-

powiadająca mu ekspozycja dzienna nie może przekraczać wartości $3,64E3 \text{ Pa}^2\text{s}$, lub poziom ekspozycji na hałas odniesiony do tygodnia pracy nie może przekraczać wartości 85 dB, a odpowiadająca mu ekspozycja tygodniowa nie może przekraczać wartości $18,2E3 \text{ Pa}^2\text{s}$. Natomiast z rozporządzenia Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 5 sierpnia 2005 r. (Dz.U. Nr 157 z dnia 2005 r., poz. 1318) [13] w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z narażeniem na hałas lub drgania mechaniczne wynika, iż w przypadku przekroczenia wartości 80 dB równoważnego poziomu ciśnienia akustycznego w środowisku pracy, w odniesieniu do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy lub ekspozycji na hałas odniesionej do tygodnia pracy, pracodawca powinien planować i podejmować działania zmniejszające ryzyko zawodowe.

W przemyśle górnym stosowanych jest wiele maszyn i urządzeń emitujących dźwięki, których poziomy przekraczają wartości dopuszczalne. Badania Zakładu Wibroakustyki Stosowanej Instytutu Techniki Górniczej KOMAG, prowadzone w ramach prac własnych oraz usługowych, stanowią podstawę do prowadzenia analiz zagrożeń wynikających z charakterystyk pracy maszyn i urządzeń górniczych [10].

Z prowadzonych prac zrealizowanych przez ITG KOMAG, przedstawiono wyniki badań akustycznych w warunkach rzeczywistych dla wirówki WOK-1,5 o mocy 75 kW (rys. 2), wzbudnicy WZB2 o mocy 40 kW, przetwornicy M2 o mocy 1800 kW (rys. 3 ÷ 4). W warunkach laboratoryjnych prowadzono badania akustyczne dla urządzenia - wentylatora lutniowego WLE-603B/1 z silnikiem o mocy 18,5 kW (rys. 5.). Badania akustyczne polegały na pomiarach i wyznaczeniu równoważnego poziomu dźwięku, skorygowanego charakterystyką A dla kolejnych urządzeń pracujących w systemie pracy ciągłej. Pomiary poziomu dźwięku wykonano metodą próbkowania w czasie $t = 30 \text{ s}$, z charakterystyką korekcji A. Punkty pomiarowe ustalono na wysokości $h = 1,5 \text{ m}$, w odległości $d = 1,0 \text{ m}$ w przypadku wirówki WOK-1,5 zastosowano dodatkowe pomiary na powierzchni pomiarowej w odległości $d = 0,5 \text{ m}$ nad powierzchnią wirówki.



Rys.2. Wirówka WOK 1,5 [7].

Ponadnormatywne poziomy dźwięku pasm oktaowych dla wirówki WOK 1,5 odnotowano w zakresach $125 \div 4000 \text{ Hz}$. Równoważny poziom dźwięku (A) wirówki wynosił $L_{Aeq} = 105,8 \text{ dB}$.



Rys.3. Wzbudnica WZB 2 [oprac. własne]

Ponadnormatywne poziomy dźwięku pasm oktaowych dla wzbudnicy WZB 2, odnotowano w zakresach $250 \div 4000 \text{ Hz}$. Równoważny poziom dźwięku (A) wzbudnicy wynosił $L_{Aeq} = 94,4 \text{ dB}$.



Rys.4. Przetwornica M2 [oprac. własne]

Ponadnormatywne poziomy dźwięku pasm oktaowych dla przetwornicy M2, odnotowano w zakresach $500 \div 8000 \text{ Hz}$. Równoważny poziom dźwięku (A) przetwornicy wynosił $L_{Aeq} = 94,8 \text{ dB}$.



Rys.5. Wentylator lutniowy WLE-603B/1 [oprac. własne]

Poziom dźwięku w pasmach oktaowych dla wirówki WOK-1,5 [oprac. własne]

Tabela 1

f [Hz]	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000	L _{Aeq}
Poziom dźwięku dB	60,0	70,9	81,7	92,8	101,5	102,6	93,0	83,2	73,5	73,0	105,8

Poziom dźwięku w pasmach oktaowych dla wzbudnicy WZB2 [oprac. własne]

Tabela 2

f [Hz]	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000	L _{Aeq}
Poziom dźwięku dB	43,8	60,4	73,9	80,4	86,3	90,8	88,6	82,4	72,6	57,7	94,4

Poziom dźwięku w pasmach oktaowych dla przetwornicy M2 [oprac. własne]

Tabela 3

f [Hz]	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000	L _{Aeq}
Poziom dźwięku dB	28,7	45,5	64,0	77,0	81,3	86,9	91,1	88,8	82,6	72,8	94,8

Poziom dźwięku w pasmach oktaowych dla wentylatora lutniowego WLE-603B/ [oprac. własne]

Tabela 4

f [Hz]	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000	L _{Aeq}
Poziom dźwięku dB	42,7	46,3	63,9	76,8	92,7	97,9	91,0	81,2	68,0	52,8	99,9

Zbiórce zestawienie poziomu dźwięku wybranych urządzeń górniczych [oprac. własne]

Tabela 5

f [Hz]	Poziom dźwięku w pasmach oktaowych, dB			
	Wirówka WOK 1.5	Wzbudnica WZB2	Przetwornica M2	Urządzenie WLE-603B/1
31,5	60,0	43,8	28,7	42,7
63	70,9	60,4	45,5	46,3
125	81,7	73,9	64,0	63,9
250	92,8	80,4	77,0	76,8
500	101,5	86,3	81,3	92,7
1000	102,6	90,8	86,9	97,9
2000	93,0	88,6	91,1	91,0
4000	83,2	82,4	88,8	81,2
8000	73,5	72,6	82,6	68,0
16000	73,0	57,7	72,8	52,8

Ponadnormatywne poziomy dźwięku pasm oktaowych dla wentylatora lutniowego WLE-603B/1, odnotowano w zakresach 500 ÷ 4000 Hz. Równoważny poziom dźwięku (A) wentylatora wynosił L_{Aeq} = 99,9 dB.

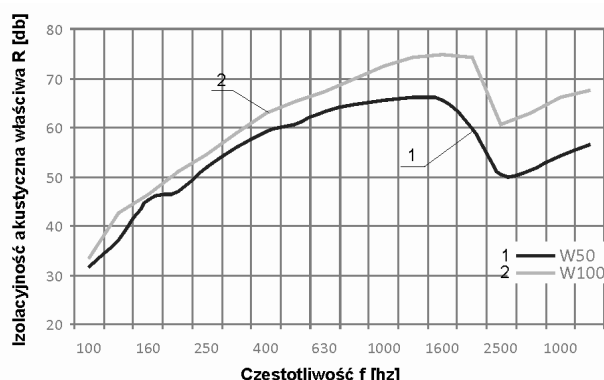
W tabeli 5 przedstawiono w sposób zbiorczy zakresy częstotliwości badanych urządzeń.

Przedstawione poziomy dźwięku w pasmach oktaowych z zakresu pomiarowego f [Hz] (tabela 5) wykazały, iż dla badanych urządzeń górniczych, występuje konieczność redukcji ponadnormatywnych poziomów dźwięków. Redukcja dźwięków w zakresach częstotliwości 125 ÷ 8000 Hz wymaga zastosowania najkorzystniejszych metod redukcji hałasu.

3. Metody pasywnej redukcji hałasu

Zabezpieczenia przeciwhałasowe z zastosowaniem metod pasywnych skutecznie redukują hałas w zakresie częstotliwości 500 ÷ 8000 Hz. Tłumienie dźwięków poniżej 500 Hz, szczególnie w przestrzeniach zamkniętych z wielokrotnością źródeł dźwięku, jest zagadnieniem ciągle udoskonalanym, wymagającym zastosowania zintegrowanych metod redukcji hałasu. Większość stosowanych metod pasywnych polega na stosowaniu kaset dźwiękochłonnych i dźwiękoizolacyjnych wykonanych z wełny mineralnej o odpowiedniej gęstości. Badania izolacyjności akustycznej właściwej R_w, w wybranych pasmach częstotliwości dla kaset z wełny mineralnej W50 i W100 o gęstości powyżej

110 kg/m³, wykonane przez jednostki certyfikujące wykazały skuteczną izolacyjność akustyczną, w szerokim zakresie częstotliwości, a szczególnie w wyższych pasmach częstotliwości, przedstawiono na rysunku 6.



Rys.6. Izolacyjność akustyczna właściwa według PN-EN ISO 717-1:1999 dla płyty z wełny mineralnej o grubości 50 mm i 100 mm [2]

Projektowanie zabezpieczeń akustycznych dla maszyn lub urządzeń górniczych wymaga również uwzględnienia warunków panujących w miejscu zastosowania. Zgodnie z rozporządzeniem Rady Ministrów z dnia 30 kwietnia 2004 r. w sprawie dopuszczania wyrobów do stosowania w zakładach górniczych, przedstawiono zakres wymagań odniesionych do materiałów i urządzeń, w których głównym kryterium doboru jest niepalność i trudno zapalność. Materiały używane na obudowy maszyn, urządzeń górniczych powinny być

również odporne na działanie czynników chemicznych, mechanicznych i elektrycznych [14].

Izolacja akustyczna z zastosowaniem wełny mineralnej zapewnia klasę reakcji na ogień A1 – wyrób niepalny według PN-EN 13501-1. Materiał izolacyjny pochodzenia mineralnego zapewnia również podwyższony stopień izolacyjności cieplnej (tabela 6) [11, 15].

Współczynnik przenikania ciepła zgodnie PN-EN ISO 6946, określa się na podstawie zależności:

$$U = 1/R_T, \text{ W/m}^2\text{K} \quad (1)$$

gdzie:

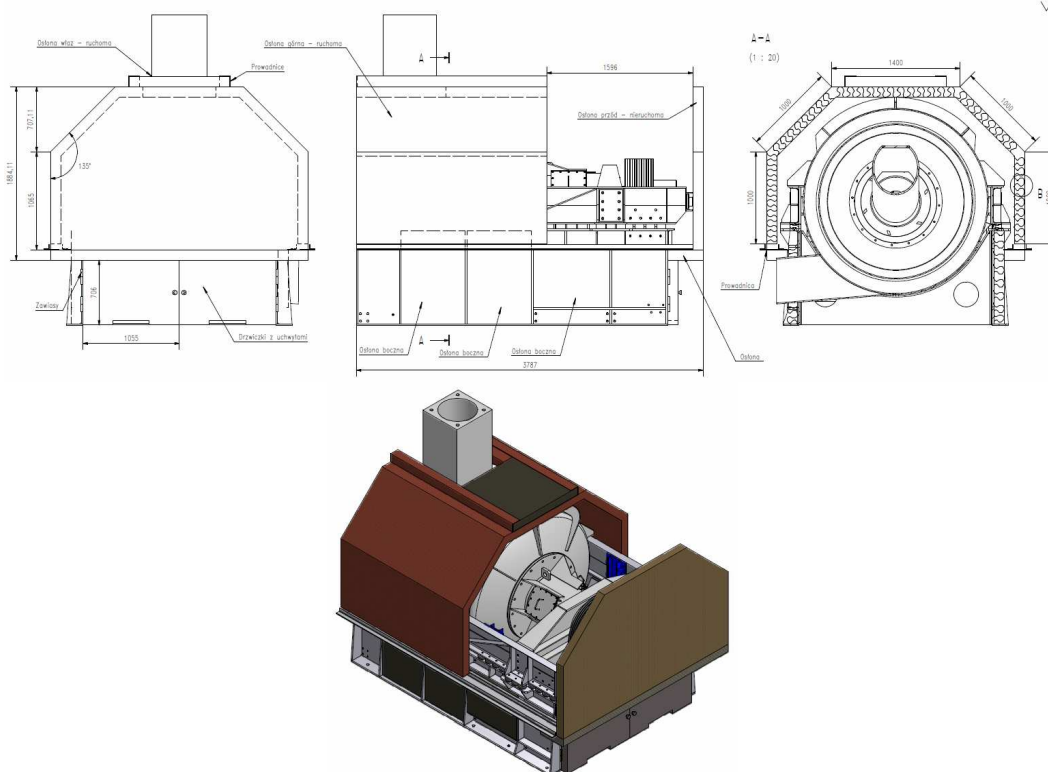
R_T – całkowity opór cieplny [m²K/W].

Porównanie własności przewodzenia ciepła dla materiałów stosowanych w konstrukcjach budowlanych o różnej gęstości [14]

Tabela 6

Lp.	Materiał	Masa właściwa [kg/m ³]	Obliczeniowy współczynnik przewodzenia ciepła [W/mK]
1	Stal	7800	60
2	Beton	2400	2
3	Drewno	600	0,200
4	Wełna mineralna	110	0,037
5	Styropian	30	0,030

Zasadniczy wpływ na przewodność cieplną materiału ma jego struktura i gęstość. Zapewnienie izola-



Rys.7. Koncepcja obudowy akustycznej wirówki WOK 1,5 z wykorzystaniem płyt dźwiękochłonnych [8]

cyjności akustycznej R_w na poziomie 40 dB, w szerokim zakresie częstotliwości źródła hałasu maszyn i urządzeń górniczych, wiąże się z zaprojektowaniem obudów i osłon akustycznych składających się z kaset zawierających płyty wełny mineralnej o gęstości 150 kg/m^3 i grubości co najmniej 100 mm. Rozmiary konstrukcji wsporczej kaset dźwiękochłonnych, stopień posadowienia, ich montażu, rozwiązań wentylacji, kwalifikuje je do rozwiązań kosztownych. Przykłady zastosowania osłon akustycznych w postaci obudowy urządzeń wirówki WOK 1,5 przedstawiono na rysunku 7.

4. Metody aktywnej redukcji hałasu

Metody aktywne polegają na sterowaniu dodatkowym źródłem dźwięków tak, aby uzyskać w wybranym miejscu pola akustycznego redukcję hałasu poprzez interferencję fali akustycznej.

Warunkiem skuteczności metody aktywnej jest podanie sygnału wtórnego o odpowiednio ukształtowanej charakterystyce amplitudowo-fazowej. Działanie przeciwnie zależy w głównej mierze od efektywności algorytmów adaptacyjnych. Trudność wdrożenia tej metody wynika ze sposobu reakcji na zakłócenia stochastyczne (wektory szumu przetwarzania i pomiaru) oraz odpowiedniej estymacji parametrów zakłóceń (szacowania wartości parametru rozkładu), przeprowadzanych w celu uaktualnienia algorytmów szczególnie w obszarach pola pogłosowego. Podstawą prawidłowego działania metod aktywnych jest szybkość reakcji na zmieniające się warunki akustyczne [5, 6].

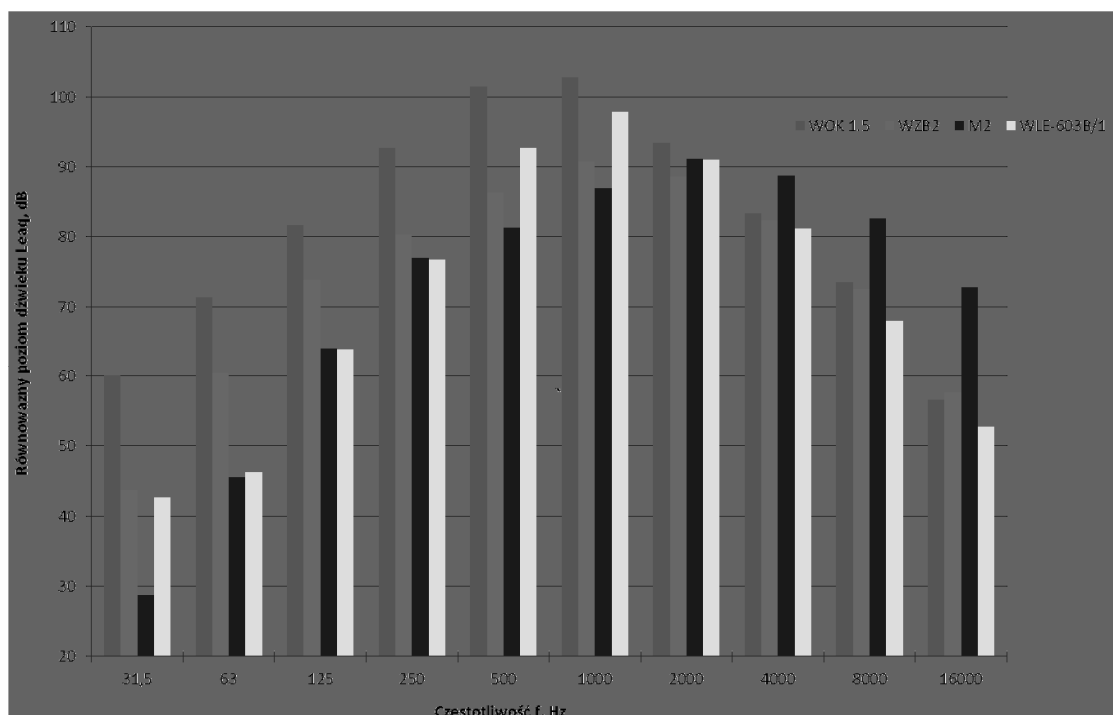
Na rysunku 8 przedstawiono przykłady poziomów dźwięków w pasmach oktaowych, które wymagają doboru odrębnych algorytmów przetwarzania sygnału. Dobór odpowiedniego układu regulacji sterowania sygnałem, wymaga scharakteryzowania zmienności rozkładu dźwięków, wyznaczenia poziomów maksymalnych. Parametry sygnałów wyjściowych i wejściowych modelu układu regulacji zależą od identyfikacji źródeł hałasu.

5. Omówienie wyników prowadzonych prac

W przypadku maszyn i urządzeń górniczych decydującym czynnikiem o doborze materiałów dźwiękochłonnych i dźwiękoizolacyjnych są wymagania środowiskowe. Stosowanie izolacji akustycznej z wełny mineralnej o gęstości ponad 110 kg/m^3 oraz grubości powyżej 100 mm, wymaga wprowadzania nowych rozwiązań konstrukcyjnych, modernizujących istniejące. Rozwiązania konstrukcyjne w postaci osłon lub obudów akustycznych maszyn i urządzeń polepszają warunki pracy, ale jednocześnie stawiają dodatkowe wymagania konstrukcyjne.

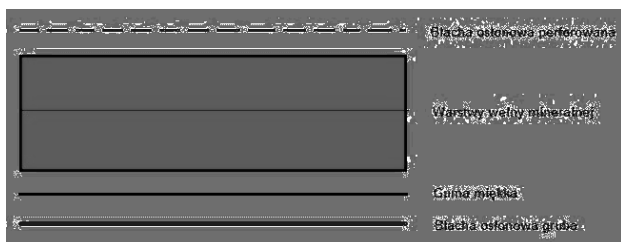
Stosowanie materiału dźwiękochłonnego o zwiększonej gęstości nie gwarantuje dodatkowo wystarczającej izolacyjności akustycznej w zakresie niskich częstotliwości, a wymusza stosowanie układów regulacji wentylacji.

Opcją rozwiązań pasywnych są przegrody wielowarstwowe, składające się np. z materiału dźwiękoizolacyjnej płyty stalowej, amortyzacji płaszcza w posta-



Rys.8. Rozkład równowaznych poziomów dźwięków w pasmach częstotliwości wybranych urządzeń górniczych [opracowanie własne]

ci gumy lub tworzywa oraz dźwiękochłonnej wełny mineralnej. Koncepcję przegrody wielowarstwowej przedstawiono na rysunku 9.



Rys.9. Propozycja osłony wielowarstwowej według zaleceń zaproponowanych przez Państwowy Instytut Badawczy CIOP [2, 3]

Rozwiązania z zastosowaniem przegród wielowarstwowych mogą korzystnie wpływać na poprawę właściwości dźwiękoizolacyjnych w zakresie niskich częstotliwości oraz zmniejszyć rozmiary osłon akustycznych. Alternatywnym rozwiązaniem, uzupełnieniem metod pasywnych jest zastosowanie metod aktywnych. Wymagają one jednak weryfikacji źródeł dźwięków w polu pogłosowym. Przetworzenie sygnału ze źródła pierwotnego do sygnału w układzie sterowania musi uwzględniać występowanie dźwięków wymuszonych np. ostrzegawczych.

W Instytucie Techniki Górniczej KOMAG podjęto obecnie prace w kierunku opracowania systemów aktywnej redukcji hałasu w obiektach przemysłowych. Oczekiwane wyniki badań przyczynią się do powstania zintegrowanych pasywnych osłon akustycznych z funkcją aktywnej redukcji hałasu niskoczęstotliwościowego z zastosowaniem w urządzeniach górniczych.

6. Podsumowanie

Dotychczasowe wyniki przeprowadzonych badań akustycznych oraz zebrane informacje dotyczące stosowanych metod redukcji hałasu wskazują, że warunkiem biernej redukcji hałasu pochodzącego od maszyn i urządzeń górniczych, wymienionych powyżej, jest dobór materiału dźwiękochłonnego i dźwiękoizolacyjnego o klasie reakcji na ogień A1, odznaczającego się izolacyjnością akustyczną $R_w = 40$ dB dla częstotliwości $125 \div 8000$ Hz. Wprowadzenie aktywnych metod redukcji hałasu pochodzącego od maszyn i urządzeń górniczych uwarunkowane jest identyfikacją źródła hałasu, dynamiką rozprzestrzeniania w otoczeniu oraz warunkami środowiskowymi. Przetworzenie sygnału analogowego i cyfrowego wymagać będzie opracowania filtrów elektroakustycznych, dopasowanych do miejsca stosowania.

Literatura

- Engel Z.: „Ochrona środowiska przed drganiami i hałasem”. Wydawnictwo PWN Warszawa 2001 r.

- Engel Z., Kaczmarek A.: „Dobór warstwowych zabezpieczeń przeciwhałasowych”. Państwowy Instytut Badawczy CIOP, Bezpieczeństwo Pracy 6/2005 r. str. 10÷13.
- Engel Z., Kaczmarek A.: „Izolacyjność akustyczna w zakresie niskich częstotliwości przemysłowych zabezpieczeń przeciwhałasowych”. Państwowy Instytut Badawczy CIOP, Bezpieczeństwo Pracy 12/2003r. str. 10÷13.
- Kozieł A.: „Inteligentne systemy maszyn górniczych”. ITG Komag, Maszyny Górnicze 2/2011 r. str.39÷44.
- Kasprzyk P.: „Budowanie strefy ciszy w falowodzie akustycznym w funkcji odległości mikrofonu błędu od głośnika aktywnego”. Praca dyplomowa Politechniki Śl. Wydział Automatyki, Elektroniki i Informatyki Instytut Automatyki (2006 r.)
- Latos M., Jasiulek D., Stankiewicz K., Jagoda J.: „Problemy projektowania systemów aktywnej redukcji hałasu”. ITG Komag, Monografia Komeko 2012, str. 359÷368.
- Matusiak P., Bal M., Łagódka M., Lenartowicz M., Kowol D.: „Wpływ nowych rozwiązań konstrukcyjnych wirówek wibracyjnych na skuteczność procesu odwodnienia mialu węglowego 20-0 mm”. ITG Komag, Maszyny Górnicze 2/2010 r. str. 38÷44.
- Matusiak P., Pierchała M., Augustyn A., Kandora A., Słaboń E., Ślusarek A.: „Ograniczenie oddziaływania akustycznego wirówki WOK 1,5 na stanowiskach pracy”. ITG Komag, E/BGK-5064 grudzień 2010 r.
- Matetic R.J., M.S.: “Reduce Noise – Induced Hearing Loss in the Mining Industry”. Hearing Loss Prevention Branch Chief, NIOSH 13 January 2006 r.
- Pierchała M.: „Analiza przyczynowo skutkowa oddziaływania zakładów przemysłowych na klimat akustyczny aglomeracji”. ITG Komag, Maszyny Górnicze 1/2007 r. str. 7÷15.
- URSA Insulation, S.A. Madrid (Spain) 2009 Podręcznik izolacji termicznej i akustycznej, URSA Polska, www.ursa.pl
- Dz. U. Nr 217 z dnia 2002 r., poz. 1833 Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy.
- Dz. U. 2005 Nr 157 poz. 1318 Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 5 sierpnia 2005 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z narażeniem na hałas lub drgania mechaniczne.
- Dz. U. 2004 Nr 99 poz. 1003 Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 30 kwietnia 2004 r. w sprawie dopuszczania wyrobów do stosowania w zakładach górniczych.

-
15. PN-EN 13501-1+A1:2010: Klasyfikacja ogniowa wyrobów budowlanych i elementów budynków - Część 1: Klasyfikacja na podstawie wyników badań reakcji na ogień.
16. PN-EN ISO 6946:2008 Komponenty budowlane i elementy budynku - Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła - Metoda obliczania.

Artykuł wpłynął do redakcji w czerwcu 2012 r.

Czy wiesz, że...

...rewolucja łąpkowa sprawia, że w najbliższych dekadach energetyka nadal będzie się opierać na paliwach kopalnych. Prawdopodobnie nie będzie globalnego boomu na technologie niskoemisyjne. Nie pojawi się też na rynku światowym tak silny jak oczekiwano wzrost popytu na urządzenia dla energetyki jądrowej, odnawialnej, czy instalacje do wychwytywania i składowania dwutlenku węgla. Wzrost zużycia paliw kopalnych i emisji dwutlenku węgla potwierdzają także programy WEO 2011. W tzw. Scenariuszu Nowych Polityk zawartym w WEO 2011, popyt na energię zdecydowanie wzrośnie, zwiększając się o jedną trzecią w latach 2010-2035.

Nowy Przemysł 2012 nr 5 s.60-63

Nowe rozwiązania urządzeń zraszających ograniczające zagrożenia pyłowe w górnictwie

Streszczenie

W artykule przedstawiono problem zapylenia w atmosferze kopalnianej oraz najnowsze rozwiązania Instytutu Techniki Górniczej KOMAG oraz Firmy Innowacyjno-Wdrożeniowej ELEKTRON do jego zwalczania. Opisano rozwiązanie zraszacza przesypu BRYZA 1200/B oraz chodnikowej zapory przeciwpylowej CZP-BRYZA. Zaprezentowano budowę wyżej wymienionych rozwiązań oraz zasadę ich działania. Wskazano zalety urządzeń zraszających wykorzystujących sprężone powietrze i wodę do redukcji zapylenia. Omówiono wyniki prób stanowiskowych oraz doświadczenia z wdrażania urządzeń zraszających typu BRYZA.

Summary

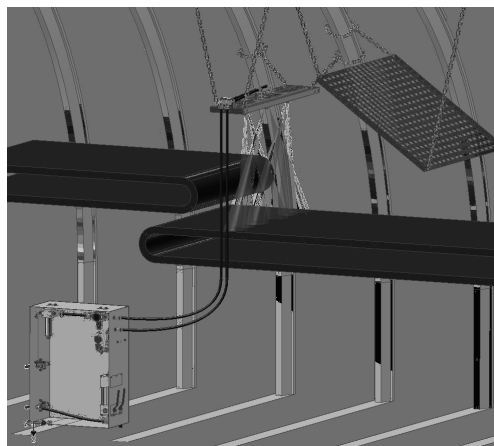
The problem of airborne dust in the mine atmosphere and state-of-the-art solutions for its control developed by the KOMAG Institute of Mining Technology and by the ELEKTRON Innovative-and-Implementation Company are presented in the paper. Solutions of BRYZA 1200/B sprinkler for transferring point and CZP-BRYZA roadway dust barrier are described. The paper is focused on a description of design of the above-mentioned solutions and principle of their operation. Advantages of spraying devices, which use compressed air and water for reduction of airborne dust concentration, are shown. Results of stand tests and experience from implementation of BRYZA spraying devices are discussed.

1. Wstęp

Koncentracja wydobycia węgla kamiennego w górnictwie oraz lokalizacja zasobów węgla na coraz większych głębokościach wymusza projektowanie systemów transportu urobku z odleglejszych wyrobisk ścianowych. Budowane są coraz dłuższe systemy odstawy, co wymusza stosowanie większej liczby przenośników taśmowych i przesypów, które generują dużą ilość zapylenia. Powstające zapylenie w wyrobiskach korytarzowych stanowi poważne źródło zagrożenia dróg oddechowych pracowników kopalń węgla kamiennego [7]. Długotrwały czas ekspozycji górników pracujących w atmosferze zapyłonej, naraża ich na choroby układu oddechowego, a powstałe, nie zneutralizowane zapylenie, może przyczynić się do przeniesienia wybuchu pyłu węglowego. W celu redukcji zapylenia na przesypach, wykorzystuje się systemy zraszania, które mają za zadanie zwilżyć transportowany węgiel i obniżyć lotność pyłu. Alternatywą dla tradycyjnych wodnych urządzeń zraszających, jest zraszanie powietrzno-wodne [5], które pozwala kilkakrotnie obniżyć ilość zużywanej wody. Problem zapylenia stał się podstawą do podjęcia prac zmierzających do jego skuteczniejszej redukcji, przy wykorzystaniu zraszania powietrzno-wodnego.

2. Budowa zraszacza przesypu BRYZA 1200/B oraz chodnikowej zapory przeciwpylowej CZP-BRYZA

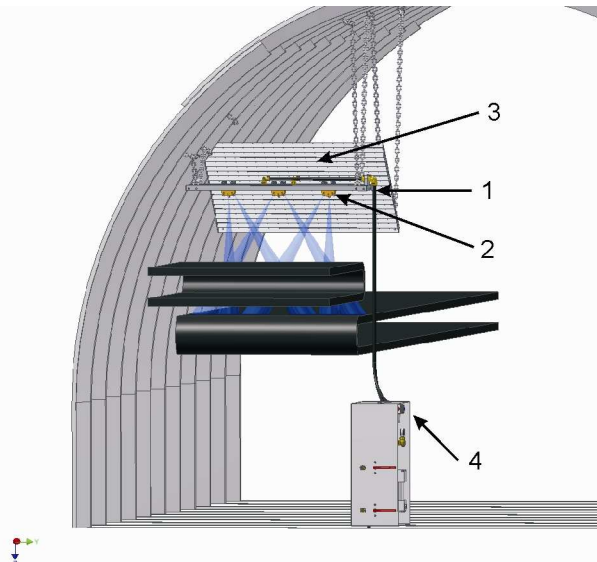
Zaprojektowane w KOMAG-u, we współpracy z FI-W ELEKTRON urządzenie zraszające Bryza 1200/B (rys. 1), służy do redukcji zapylenia powstającego w wyniku transportu urobku na taśmach przenośnika [1].



Rys.1. Model 3D powietrzno-wodnego zraszacza przesypu BRYZA 1200/B [1]

Do wytworzenia strumienia zraszających wykorzystuje się sprężone powietrze, które powoduje rozpylenie strugi wodnej, tworząc aerozol powietrzno-wodny. Sprężone powietrze dostarczane do zraszacza ogranicza zużycie wody, potrzebnej do redukcji powsta-

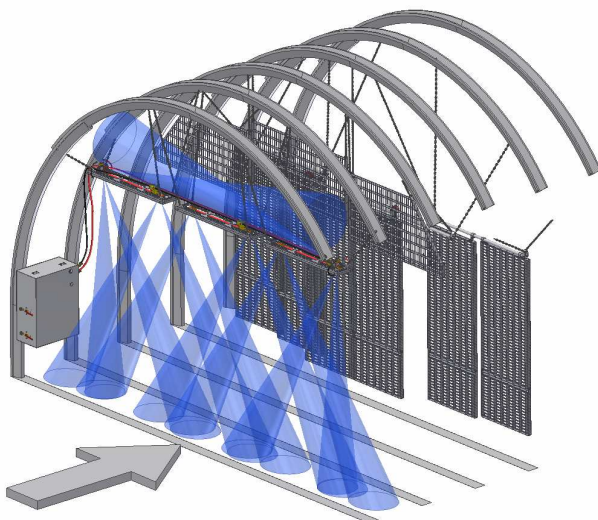
jącego zapylenia oraz dodatkowo umożliwia ograniczenie zagrożenia metanowego. Zrascacz przesypu BRYZA 1200/B składa się z ramy (1), belki zrasczającej (2), kraty wychwytującej zwilżony pył (3) oraz zespołu sterująco-filtrującego (4) (rys. 2). Baterię zrasczającą wyposażono w sześć dysz powietrzno-wodnych o średnicy 1mm, zaprojektowanych w ITG KOMAG.



Rys.2. Główny element zrasczacza BRYZA 1200/B [1]

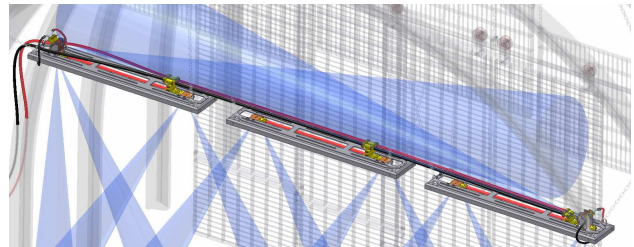
Powietrzno-wodny układ zrasczacza charakteryzuje się niskimi wartościami ciśnienia wody oraz powietrza, co pozwala na jego użytkowanie tam gdzie jest dostęp do rurociągów sprężonego powietrza oraz rurociągu p.poż., bez konieczności stosowania dodatkowych pomp lub sprężarek podnoszących ciśnienie.

Kolejnym zaprojektowanym innowacyjnym urządzeniem jest chodnikowa zapora przeciwpływowa CZP-BRYZA (rys. 3), służąca do redukcji zapylenia powietrza przenoszącego się przez wyrobiska korytarzowe [2].



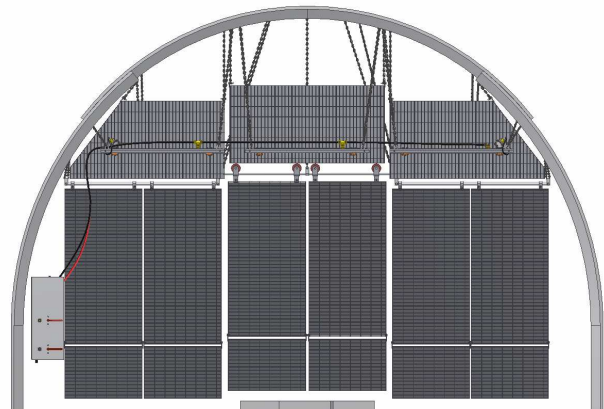
Rys.3. Widok przestrzenny chodnikowej zapory przeciwpływowej CZP-BRYZA [2]

Rozwiązanie to składa się z zespołu przygotowania mediów (zespół sterująco-filtrujący) dostarczającego wodę i powietrze do trzech zrasczaczy, na których zamontowano korpusy zasilające wraz z dyszami zrasczającymi (rys. 4). Zestaw zrasczaczy wyposażono w czternaście dysz powietrzno-wodnych o średnicy 1,3 mm, z których dwanaście dysz skierowanych jest w kierunku spągu, a dwie w kierunku stropu.



Rys.4. Zestaw zrasczaczy chodnikowej zapory przeciwpływowej CZP-BRYZA [2]

Zaporę chodnikową CZP-BRYZA wyposażono w szereg przesłon żaluzjowych, które mają za zadanie zatrzymywanie zwilżonego pyłu, a jednocześnie nie ograniczać swobodnego przepływu powietrza. Pozwalają również na swobodne przejście załogi górniczej poprzez zastosowanie przesuwnych krat w środkowej części przekroju wyrobiska chodnikowego (rys. 5).



Rys.5. Przesłony żaluzjowe wychwytujące zwilżony pył z powietrza, znajdujące się za układem zrasczaczy zapory przeciwpływowej [2]

Zaprojektowane urządzenia zrasczające typu BRYZA, charakteryzują się niewielkimi wydatkami wody w porównaniu do obecnie stosowanych rozwiązań do zwalczania zapylenia. Pozwala to na wykorzystanie ich w miejscach o wysokim zawodnieniu.

Podstawowe parametry techniczne systemu zrasczania zrasczacza przesypu BRYZA 1200/B są następujące:

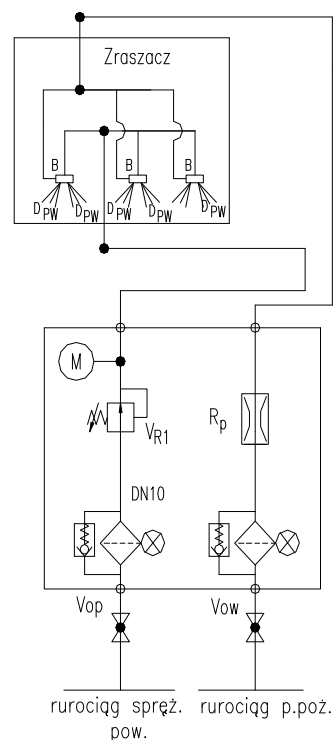
- natężenie przepływu wody: $Q_{nom} \approx 30 \text{ dm}^3/\text{h}$
- natężenie przepływu powietrza: $Q_{nom} \approx 15 \text{ m}^3/\text{h}$,
- wartość ciśnienia powietrza $p = 0,35 \div 0,50 \text{ MPa}$,
- wartość ciśnienia wody: $p = 0,3 \div 0,45 \text{ MPa}$,
- wymagana filtracja wody i powietrza: $200 \text{ }\mu\text{m}$.

Podstawowe parametry techniczne systemu zraszania zapory przeciwpylowej CZP-BRYZA są następujące:

- natężenie przepływu wody: $Q_{nom} = \sim 120 \text{ dm}^3/\text{h}$
- zużycie powietrza: $Q_{nom} = \sim 50 \text{ m}^3/\text{h}$,
- wartość ciśnienia wody $p = 0,30 \div 0,40 \text{ MPa}$,
- wartość ciśnienia powietrza $p = 0,30 \div 0,40 \text{ MPa}$,
- wymagana filtracja wody i powietrza: $200 \text{ }\mu\text{m}$.

3. Zasada działania powietrzno-wodnych instalacji zraszających

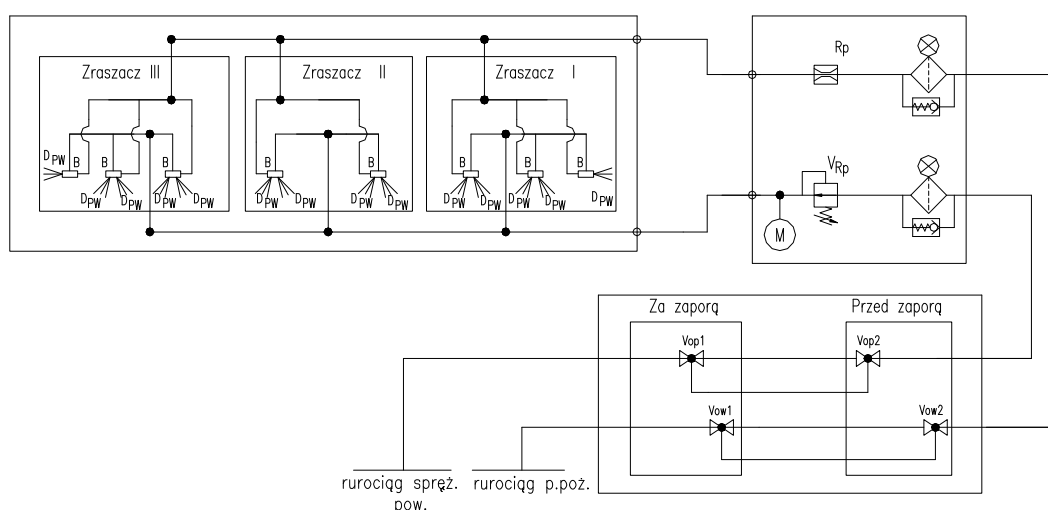
Zaproponowane rozwiązania zraszające charakteryzują się stosowaniem mieszaniny powietrzno-wodnej, jako czynnika zwilżającego. Zapewniają ograniczenie zapylenia, przy stosunkowo niskim wydatku wody (maksymalnie $30 \text{ dm}^3/\text{h}$ w przypadku zraszacza przesypu oraz maksymalnie $120 \text{ dm}^3/\text{h}$ w przypadku chodnikowej zapory przeciwpylowej) [3]. Zasada działania zraszacza przesypu BRYZA 1200/B polega na zraszaniu mieszaniną powietrzno-wodną, urobku transportowanego przenośnikami taśmowymi w miejscach ich przesypu. Woda doprowadzana jest z rurociągu p.poż. i kierowana do zaworu odcinającego. Następnie zostaje oczyszczona przez zestaw filtrów rewersyjnych, po czym przepływa przez regulator przepływu ograniczający wpływ wody do wartości zadanej. Po zredukowaniu ciśnienia, woda doprowadzana jest za pomocą przewodów elastycznych, do trzech baterii zraszających, wyposażonych w dysze powietrzno-wodne. Jednocześnie, do systemu zraszania doprowadzane jest sprężone powietrze, które zostaje skierowane do zaworu odcinającego i oczyszczone przez zestaw filtrów, a następnie zredukowane do wartości zadanej. Po doprowadzeniu mediów roboczych do dysz zraszających, dochodzi do ich wymieszania w komorze mieszania, a następnie wyrzucenia w postaci rozpylonego aerozolu, w kierunku przesypu.



Rys. 6. Schemat hydropneumatyczny instalacji zraszającej zraszacza BRYZA 1200/B [1]

Zastosowanie kraty za zraszaczem BRYZA 1200/B ma na celu wychwycenie zroszonej części pyłu (poprzez przyklejanie się do listew żaluzji) i spowodowanie ich opadnięcia na taśmociąg. Schemat hydropneumatyczny instalacji zraszającej zraszacza przesypu BRYZA 1200/B, przedstawiono na rysunku 6.

Chodnikową zaporę przeciwpylową wyposażono w zawory odcinające, zainstalowane przed i za zaporą, umożliwiające jej włączenie i wyłączenie. Umożliwia to przejście załogi przy wyłączonej zaporze, a następnie jej włączenie, po przejściu załogi. Działanie zapory chodnikowej polega na zraszaniu strumieniami powietrzno-wodnymi pyłu unoszonego wraz z prądem



Rys. 7. Schemat hydropneumatyczny chodnikowej zapory przeciwpylowej CZP-BRYZA [2]

powietrza.

Zwilżona, lecz nie pozbawiona lotności, część pyłu osiada na skośnych, ustawionych pod kątem 45°, blachach przesłon żaluzjowych. Powoduje to przyklejanie oraz kierowanie pyłu w kierunku spągu i oczyszczanie przepływającego powietrza. Schemat hydro-pneumatyczny zapory chodnikowej, przedstawiono na rysunku 7.

4. Próby stanowiskowe oraz prace wdrożeniowe urządzeń typu BRYZA

Zaprojektowane urządzenia zraszające typu BRYZA, wykonane przez FI-W ELEKTRON, poddano próbom stanowiskowym w ITG KOMAG, na specjalnie przygotowanym do tego celu stanowisku (rys. 8). Celem badań była ocena poprawności działania zraszacza oraz weryfikacja założonych parametrów zasilania wymaganych do uzyskania prawidłowej pracy zraszacza [3].



Rys.8. Zraszacz przesypu BRYZA 1200/B podczas prób stanowiskowych [3]

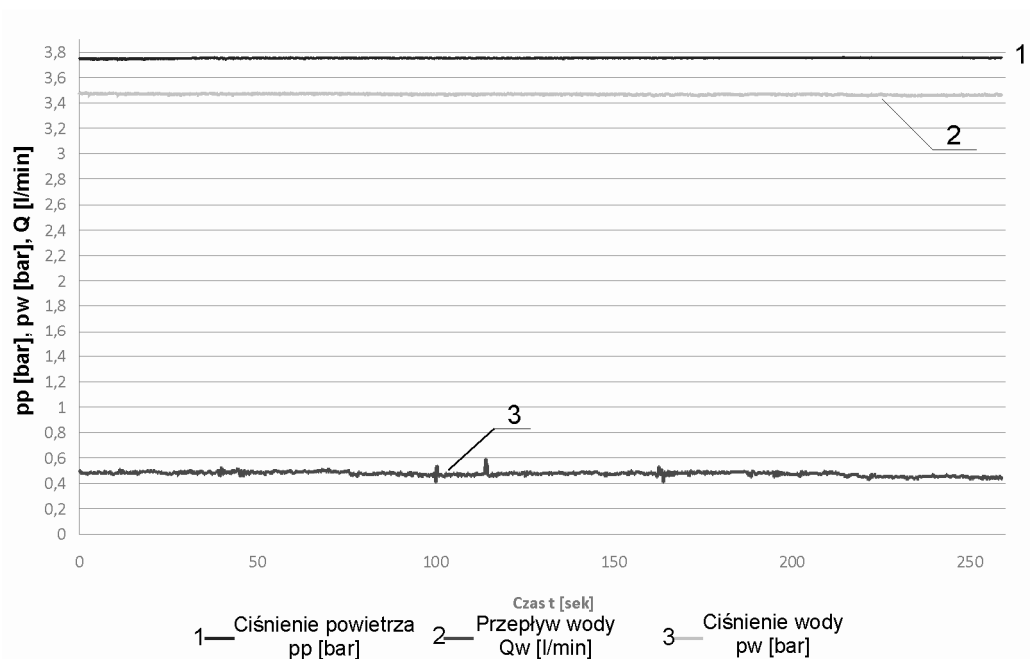
Doświadczenia stanowiskowe polegały na zasilaniu zraszacza wodą i powietrzem o założonych wartościach ciśnienia, a następnie pomiarze wartości ciśnienia i wartości natężenia przepływu mediów zraszających (rys. 10). Celem prób zraszacza BRYZA 1200/B, było określenie zakładanego natężenia przepływu wody wynoszącego ok. 0,5 dm³/min, przy zachowaniu założonych wartości ciśnienia wody i powietrza wynoszących 0,2 ÷ 0,5 MPa. Wyniki potwierdziły założone wartości ciśnienia i natężenia przepływu wody, wymagane do uzyskania jednorodnych strumieni zraszających wytwarzanych przed dysze powietrzno-wodne typu STK-ZZ-1.

W przypadku chodnikowej zapory przeciwpylowej CZP-BRYZA, zestaw zraszaczy poddano próbom w aspekcie poprawności działania oraz osiąganego natężenia przepływu wody i wartości ciśnienia mediów zraszających (rys. 11). Celem doświadczenia było potwierdzenie uzyskania natężenia przepływu wody wynoszącego ok. 2,0 dm³/min, przy wartościach ciśnienia wody i powietrza wynoszących 0,2 ÷ 0,5 MPa [5]. Wyniki potwierdziły spełnienie zakładanych parametrów technicznych zapory chodnikowej. Po badaniach stanowiskowych, zapora CZP BRYZA została przekazana użytkownikowi, wraz ze zraszaczem BRYZA 1200/B do badań dołowych.

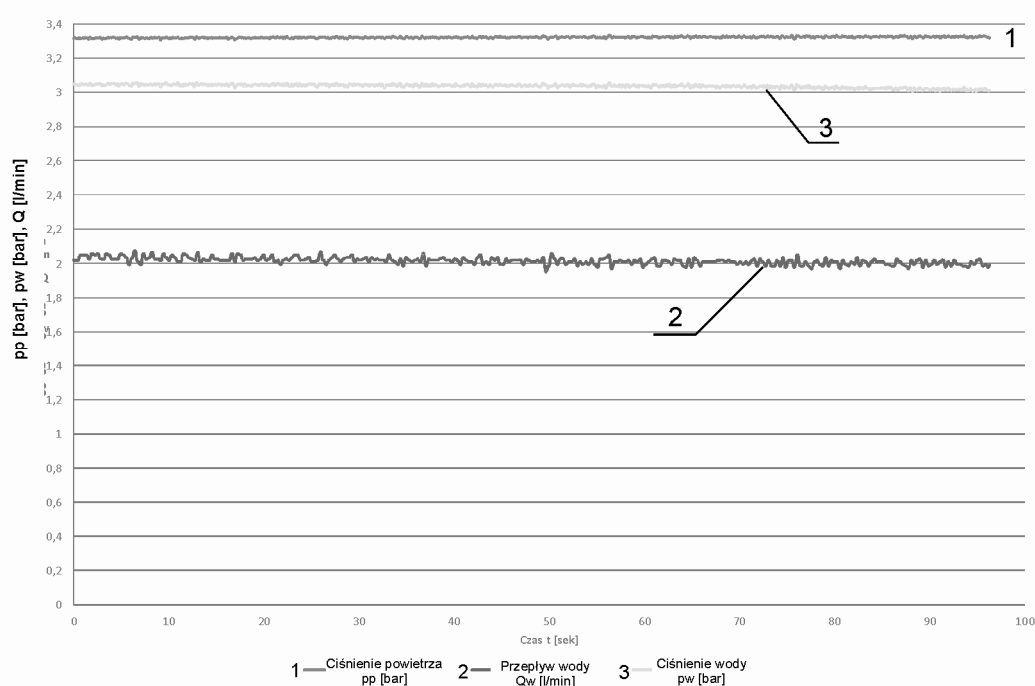
Zraszacz BRYZA 1200/B, poddano miesięcznym próbom dołowym w kopalni LW Bogdanka (rys. 9), podczas których sprawdzano niezawodność działania urządzenia oraz jego skuteczność w redukcji zapylenia. Zraszacz BRYZA 1200/B zabudowano na wysokości ok. 0,8 m nad taśmą przenośnika transportującego urobek, a następnie poddano regulacji parametry zraszające. Badania zraszacza wykazały bardzo wysoką skuteczność redukcji zapylenia, która została potwierdzona przez służby kopalniane za pomocą pyłomierzy osobistych CIP-10.



Rys.9. Prototypowe rozwiązanie zraszacza BRYZA 1200/B podczas badań dołowych [6]



Rys.10. Parametry mediów zraszających w instalacji zraszacza BRYZA [3]

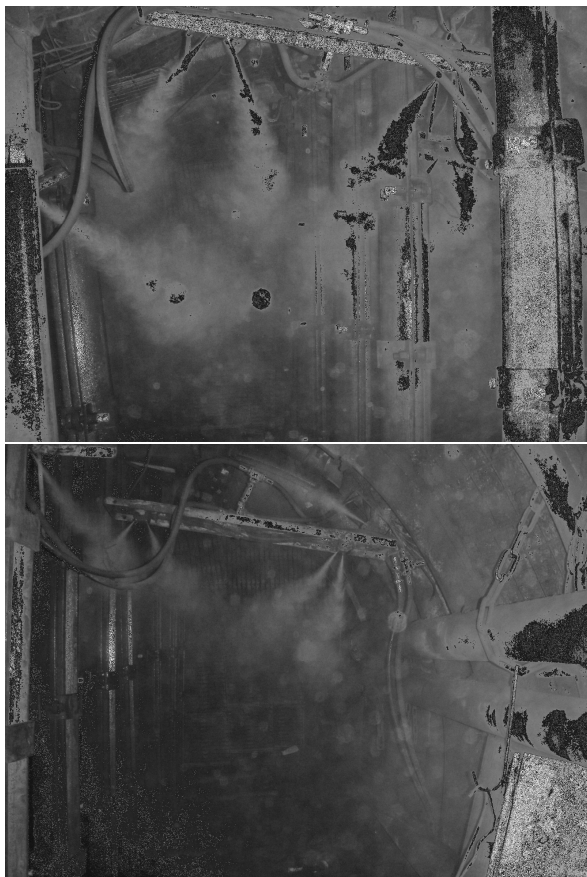


Rys.11. Parametry mediów zraszających w instalacji zapory chodnikowej CZP-BRYZA [3]

Skuteczność redukcji zapylenia całkowitego za pomocą rozwiązania BRYZA 1200/B, podczas przesypu urobku na przenośniku, wyniosła ok. 90%. Wdrożenie prototypowego rozwiązania, zostało pozytywnie przyjęte przez załogę kopalni, co pozwoliło producentowi na wdrożenie seryjnego rozwiązania zraszacza BRYZA 1200/B.

Chodnikowa zapora przeciwpylowa CZP-BRYZA, po przeprowadzeniu badań stanowiskowych została zabudowana w warunkach dołowych, nad przenośnikiem taśmowym, w chodniku podścianowym w kopal-

ni KWK Budryk (rys. 12). Zraszacz zapory chodnikowej zlokalizowano w możliwie najwyższych punktach obudowy łukowej. Strumienie zraszające skierowano w kierunku spągu, pod kątem 45° oraz zgodnie z kierunkiem przepływu powietrza. Przesłony żaluzjowe zapory, zabudowano w odległości 10 ÷ 15 m od podwieszonego zestawu zraszaczy, co pozwoliło na wychwytywanie nie opadłych jeszcze, zwilżonych cząstek pyłu. W trakcie prób ruchowych zaobserwowano zjawisko osiadania zwilżonego pyłu na żaluzjach, których rozstaw wynosił 40 mm.



Rys.12. Chodnikowa zapora przeciwpylowa CYP-BRYZA w trakcie prób dołowych [źródło KOMAG]

W chwili obecnej prowadzone są badania skuteczności redukcji zapylenia, których pierwsze wyniki wskazują 55% skuteczność redukcji zapylenia całkowitego.

5. Podsumowanie

Zaprojektowane w ITG KOMAG we współpracy z FI-W ELEKTRON innowacyjne rozwiązania urządzeń zraszających typu BRYZA charakteryzują się prostą i niezawodną konstrukcją. Zaletą zaprojektowanych systemów zraszających jest wykorzystanie sprężonego powietrza, do wytwarzania aerozolu powietrzno-wodnego, zmniejszającego zużycie wody oraz zwiększającego liczbę kropeł wydostających się z dyszy. Z rosnącą liczbą kropeł zwiększa prawdopodobieństwo łączenia się kropeł z cząsteczkami pyłu [5] i pozwala na redukcję pyłu z powietrza już przy niewielkich wydatkach wody. Budowa zraszacza przesypu BRYZA 1200/B pozwala na uzyskiwanie strumieni zraszających o wysokim rozdrobnieniu kropeł przy wydatku wody wynoszącym ok. 0,5 dm³/min. Rozwiązanie chodnikowej zapory przeciwpylowej CYP-BRYZA pozwala na wytwarzanie strumieni zraszających z wykorzysta-

taniem sprężonego powietrza, które zwiększa zasięg działania strumienia, przy wydatku wody wynoszącym ok. 2,0 dm³/min i ciśnieniu zasilania wody i powietrza wynoszącym ok. 0,5 MPa.

Powietrzno-wodne urządzenia zraszające skutecznie redukują zapylenie (około 90% skuteczność w redukcji zapylenia całkowitego przez zraszacz BRYZA 1200/B oraz ok. 55% skuteczność w redukcji zapylenia całkowitego przez zapórę przeciwpylową CYP-BRYZA) oraz zwilżają pył w wyrobisku korytarzowym lub na taśmie przenośnika, zmniejszając jego lotność. Stosowanie prawidłowo działających powietrzno-wodnych urządzeń może w okresie długoterminowym wpłynąć na ograniczenie zachorowalności pracowników dołowych kopalni na pylicę płuc.

Literatura

1. Bałaga D. i inni: Projekt i dokumentacja techniczna zraszacza przesypów zasilanego wodą i powietrzem do szerokości przenośnika 1200 mm. KOMAG. Praca nie publikowana, grudzień 2011, Gliwice.
2. Bałaga D. i inni: Opis projektu wstępnego chodnikowej zapory przeciwpylowej CYP-BRYZA wydanie 1. KOMAG. Praca nie publikowana, marzec 2012, Gliwice.
3. Bałaga D. i inni: Wykonanie badań stanowiskowych egzemplarza doświadczalnego zraszacza przesypów BRYZA oraz zapory przeciwpylowej CYP-BRYZA. KOMAG. Praca nie publikowana, kwiecień 2012, Gliwice.
4. Colinet F. i in.: Best Practices for Dust Control in Coal Mining, Pittsburgh, 2010.
5. Pieczora E., Prostański D., Bałaga D., Rojek P.: Air-water sprinkling – cheaper, comfortably and safety. Prace naukowe GIG. Górnictwo i środowisko. Kwartalnik nr 3/1/2009, s.179÷189. Katowice 2009. ISSN 1643-7608.
6. Prostański D.: Ocena skuteczności stosowania powietrzno-wodnych urządzeń zraszających na przesypach przenośników do poprawy czystości powietrza w wyrobiskach korytarzowych. Przegląd Górniczy, złożony do druku w maju 2012.
7. Wolfie A.L.; Colinet J.F.: Health effects of over-exposure to respirable coal and silica dust. Best. Department of health and human services. DHHS (NIOSH) Publication No. 2010–110. January 2010.

Artykuł wpłynął do redakcji w czerwcu 2012 r.

Wymagania techniczne dla węży i przewodów hydraulicznych wzmocnionych drutem stosowanych w napędach i hydraulicznych układach sterowania maszyn i urządzeń górniczych

Streszczenie

Istotnym instrumentem gwarantującym spełnienie wymagań technicznych, kompatybilności wymiarowej oraz powtarzalności wykonania i spełnienia wymagań jakościowych są wymagania normalizacyjne. Wymagania te często, w przypadku braku norm europejskich definiowane są na poziomie norm krajowych. W niniejszym artykule zaprezentowano efekty prac Komitetu Technicznego nr 285 ds. Górniczych Maszyn i Urządzeń Dołowych w zakresie ujednoliconych wymagań technicznych dla węży i przewodów hydraulicznych, stosowanych w górniczych napędach i układach sterowania hydraulicznego.

Summary

Standard requirements are very important instrument to guarantee meeting the technical requirements, dimensional compatibility, manufacture repeatability and meeting the quality requirements. In the case of lack of European standards these requirements are often defined on the level of Polish standards. The effects of work of the Technical Committee No. 285 for Mining Machines and Underground Equipment as regards harmonization of technical requirements for hoses and hydraulic pipes, which are used in mine drives and hydraulic control systems, are presented in the paper.

1. Wprowadzenie

Układ hydrauliczny to zespół wzajemnie połączonych elementów przeznaczonych do przekazywania energii lub sterowania za pośrednictwem cieczy hydraulicznej pod ciśnieniem, w układzie zamkniętym. Jego podstawowymi zespołami są między innymi: pompy, rozdzielacze, siłowniki, filtry połączone między sobą przewodami hydraulicznymi [4].

Przewody hydrauliczne według normy PN-EN ISO 8330:2009, zdefiniowane są jako węże określonego typu, połączone ze złączami wtykowymi. Są one stosowane w układach hydrauliki siłowej do przenoszenia mocy i sterowania, gdzie czynnikiem roboczym są oleje mineralne i emulsje wodno-olejowe. Znajdują zastosowanie w wielu dziedzinach przemysłu - w rolnictwie, budownictwie, a w przypadku górnictwa znajdują zastosowanie prawie w każdej maszynie.

Przewody hydrauliczne dla górnictwa są wykonane przede wszystkim z gumowych węży hydraulicznych wzmocnionych drutem stalowym. Konstrukcja wzmocnienia jest warstwowa i może składać się z dwóch lub czterech opłotów, względnie wielu spiral drutu, nawiniętych w kierunkach przeciwnych. Na końcach węży osadzone są trwałe metalowe końcówki. W zależności od typu i średnicy przewody mogą być wykonane w zakresie od 7 MPa do 45 MPa (70 - 450 bar), chociaż na rynku pojawiają się specjalistyczne przewody hydrauliczne stosowane w technice czyszczenia i cięcia wodą (*waterblasting*, *waterjetting*), które są przeznaczone do

pracy z ciśnieniem roboczym o wartości do 150 MPa (1500 barów) [1].

Ciągła tendencja do zwiększania mocy maszyn i urządzeń górniczych spowodowała konieczność stosowania w układach hydraulicznych węży i przewodów pracujących w coraz wyższych ciśnieniach i przy zwiększonych przepływach. W konsekwencji, zaistniała potrzeba zastosowania w układach hydraulicznych przewodów i węży o parametrach nie mieszczących się w zakresie normy PN-G-32010:1997 oraz norm europejskich.

Najważniejsze normy określające wymagania dla węży hydraulicznych to: amerykańskie SAE, międzynarodowe ISO i europejskie EN. Obecnie w górnictwie węgla kamiennego stosowane są hydrauliczne przewody wykonywane na bazie węży typu 2SN, 2ST, 2SC, 4SP, 4SH i R13 (zdefiniowane normami europejskimi) oraz węży typu R15 o ciśnieniu roboczym 42 MPa (według norm ISO).

Warunkiem stosowania wyżej wymienionych przewodów hydraulicznych jest możliwość ich łatwego, a zarazem bezpiecznego łączenia z urządzeniami oraz między sobą, przy zastosowaniu między innymi złączy wtykowych. Dobór węża w przewodzie hydraulicznym, wynikający z zapewnienia wymaganego przepływu, powinien być dokonany w taki sposób, aby wartość maksymalnego ciśnienia roboczego przewodu była równa lub większa od maksymalnego ciśnienia panującego w całym układzie. W doborze należy uwzględnić rów-

niez temperaturę pracującego medium i otoczenia tak, aby wartości zarówno stałe jak i chwilowe nie przekraczały zalecanych zakresów temperatur pracy. Wartości temperatury zarówno wyższe, jak i niższe skracają żywotność przewodu i mogą prowadzić do jego uszkodzenia [3].

Hydrauliczne węże gumowe przeznaczone do zastosowania w górnictwie muszą spełniać również dodatkowe wymagania związane z :

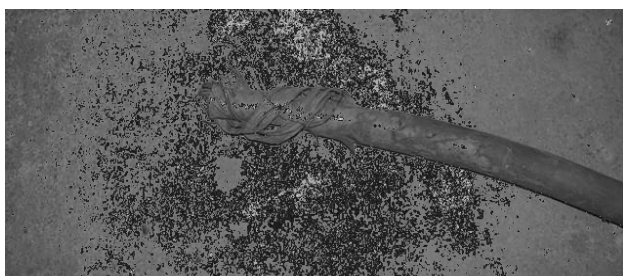
- bezpieczeństwem pracy,
- istniejącymi w podziemnych wyrobiskach górniczych zagrożeniami (np. wybuch metanu, pyłu węglowego),
- pożarem (powinna być zapewniona odpowiednia antystatyczność i trudnopalność),
- warunkami środowiska kopalnianego (zwiększona odporność na działanie ozonu),
- narażeniem na uszkodzenia mechaniczne (zwiększona adhezja między warstwami i odporność na ścieranie).

Istotnym problemem jest również zagwarantowanie, w możliwie jak największym stopniu, odpowiednich wymagań jakościowych.

Czynnikami, które należy uwzględnić formułując wymagania normatywne jest konieczność zwiększenia odporności na uszkodzenia mechaniczne często występujące podczas użytkowania węży i przewodów podczas eksploatacji w warunkach dołowych. Typowe uszkodzenia przewodów są przedstawione na rysunkach 1 i 2. Skutkiem uszkodzeń przewodów są znaczne ubytki cieczy roboczej w całych układach i zakłócenia w pracy całego układu hydraulicznego.



Rys.1. Przewód rozerwany podczas badania hydrostatycznego [9]



Rys.2. Koniec przewodu wyrwany z zaciśniętej końcówki w trakcie eksploatacji [9]

Pęknięcie przewodu hydraulicznego znajdującego się pod ciśnieniem wiąże się z gwałtownym wypływem strugi cieczy, czego konsekwencją mogą być tragiczne w skutkach obrażenia operatorów maszyn lub innych pracowników znajdujących się w pobliżu ich miejsca pracy. Przykładowo w roku 2010 w KWK „Jankowice” doszło do ciężkiego wypadku, podczas którego górnik został uderzony w twarz końcem przewodu hydraulicznego DN12 o długości 1,4 m, znajdującego się pod ciśnieniem 25 MPa. W wyniku uderzenia poszkodowany utracił oko [8].

W 2011 roku w ramach prac Komitetu Technicznego nr 285 Polskiego Komitetu Normalizacyjnego, dokonano nowelizacji normy PN-G-32000 „Górnictwo – Napędy i sterowania hydrauliczne - Złącza wtykowe – Wymagania” i dostosowano zawarte w niej wymagania do potrzeb użytkowników oraz aktualnego stanu techniki. Nowa norma w znaczący sposób reguluje kwestie wielkości oraz wymagań złączy wtykowych [2, 7].

Naturalną konsekwencją wyżej wymienionych działań była konieczność podjęcia kolejnych prac normalizacyjnych i uregulowanie także wymagań w odniesieniu do węży i ich odcinków łączonych na swych końcach z końcówkami w przewody hydrauliczne.

Warto zaznaczyć, iż w obszarze normalizacyjnym funkcjonuje szereg norm, zarówno europejskich jak i międzynarodowych dotyczących węży i przewodów hydraulicznych, jednak żadna z nich nie odnosi się do specyficznych wymagań wynikających z zastosowań w górnictwie dołowym.

Węzom i przewodom ogólnego przeznaczenia nie stawia się wymagań elektrostatyczności, trudnopalności, również odporności na ścieranie natomiast parametry odporności na działanie ozonu oraz adhezji między warstwami są zdecydowanie niższe od wartości wynikających ze stosowania w podziemiach kopalń.

Podstawowe normy europejskie dotyczące węży i przewodów z gumy mają polskie odpowiedniki w postaci norm: PN-EN 853:1999 *Węże i przewody z gumy – Węże do urządzeń hydraulicznych wzmocnione opłotem z drutu – Wymagania*, PN-EN 856:2002 *Węże i przewody z gumy – Węże i przewody hydrauliczne pokryte gumą, wzmocnione spiralami z drutu – Wymagania* oraz PN-EN 857:2002 *Węże i przewody z gumy – Węże i przewody hydrauliczne wzmocnione zwartym opłotem z drutu – Wymagania*. Wymienionych norm nie nowelizowano od szeregu lat, podczas gdy postęp techniczny w tym czasie doprowadził do pojawienia się nowych konstrukcji węży hydraulicznych, zdolnych przenosić większe ciśnienia, względnie posiadających większe średnice nominalne. Pojawiły się wysokociśnieniowe węże nowego typu R15, przystosowane do pracy w trudnych warunkach, w wysokiej temperaturze. Są one zdolne wytrzymywać ciśnienie robocze 42 MPa niezależnie od średnicy nominalnej, natomiast wzmocnienie z drutu stalowego wykonywane jest w nich w pos-

taci wielu przeciwbieżnie nawiniętych spiral, których parzysta ilość uzależniona jest od średnicy wewnętrznej węża.

Z kolei węże typu R2ATS, o konstrukcji zbliżonej do węży typu 2SN, produkowane są obecnie w wielkości otworu nominalnego 63, niedostępnej we wcześniejszych rozwiązaniach. Są one rozwinięciem konstrukcji węży typu R2AT wprowadzonych w międzynarodowej normie ISO 1436, przewyższającym poprzednie typy wartością maksymalnego ciśnienia roboczego. Wężom typu R2ATS wielkości 63 nie stawia się wymagań odporności na podciśnienie. Przewidziane są do mocowania końcówek bez usuwania warstwy zewnętrznej.

Dodatkowo należy wspomnieć, że normy europejskie oraz ich polskie odpowiedniki nie uwzględniają węży i przewodów typu 2SC wielkości 31, które od kilku lat są stosowane w górnictwie.

Wymienione nowe typy węży i przewodów oraz rozszerzone zakresy wielkości średnic istniejących typów uwzględnione są w najnowszych wydaniach międzynarodowych norm:

ISO 1436:2009 *Rubber hoses and hose assemblies – Wire-braid-reinforced hydraulic types for oil-based or water-based fluids – Specification*, ISO 3862:2009 *Rubber hoses and hose assemblies – Rubber-covered spiral-wire-reinforced hydraulic types for oil-based or water-based fluids – Specification*, ISO 11237:2010 *Rubber hoses and hose assemblies – Compact wire-braid-reinforced hydraulic types for oilbased or water-based fluids – Specification*. Brak w nich jest jednak wymagań stawianych wężom i przewodom pracującym w tak specyficznych warunkach jak górnictwo podziemne.

2. Struktura projektu nowej normy

Założeniem autorów projektu nowej normy było przeanalizowanie sytuacji stwarzających zagrożenia i sformułowanie na tej podstawie wymagań, które eliminowałyby względnie minimalizowałyby ich skutki.

Ideą projektu nowej normy było również sformułowanie wymagań opisujących zarówno geometryczne jak i materiałowe cechy konstrukcyjne przewodów hydraulicznych, dostosowanych do współczesnej techniki górniczej. Przyjęto, że wymagania wytrzymałościowe, stanowiące podstawę dla przeprowadzenia oceny zgodności dla przewodów, muszą być spójne z wymaganiami stawianymi złączom przeznaczonym do łączenia węży.

W projekcie normy świadomie pominięto zagadnienia związane z procesem zakuwania węży w prze- wody, pozostawiając wytwórcy wolną rękę w doborze technologii.

Nowy dokument przedstawia wymagania i ustala sposób przeprowadzenia badań węży i przewodów

hydraulicznych z gumy wzmocnionych drutem, stosowanych w górniczych napędach i sterowaniach hydraulicznych, w zakresie otworów nominalnych od 5 mm do 63 mm przeznaczonych do stosowania [5]:

- z emulsjami i roztworami wodnymi HFC, HFAE, HFAS i HFB, według PN-EN ISO 6743-4, w zakresie temperatury od -40 °C do +70 °C,
- z cieczami hydraulicznymi na bazie olejów HH, HL, HM, HR i HV, według PN-EN ISO 6743-4, w zakresie temperatury od -40 °C do +100 °C – typy: 2ST, 2SN, 2SC, 4SP, 4SH oraz w zakresie temperatury od -40 °C do +120 °C – typy: R12, R13 i R15,
- z wodą w zakresie temperatury od 0 °C do +60 °C.

Formułując zarówno wymagania, jak i proponując programy badań węży i przewodów twórcy normy uwzględniali specyficzne warunki pracy związane z agresywnym środowiskiem kopalnianym i innymi zagrożeniami, starając się zachować zgodność z normami europejskimi, we wszystkich możliwych przypadkach.

Ogólną strukturę projektu normy tworzą następujące punkty:

- klasyfikacja i oznaczenie,
- wymagania:
 - materiały i konstrukcja,
 - wymiary,
 - wymagania hydrostatyczne,
 - minimalny promień zgięcia,
 - wytrzymałość na ciśnienie pulsujące,
 - giętkość, przeciekanie,
 - odporność na działanie cieczy i ozonu,
 - trudnopalność,
 - antystatyczność,
- znakowanie,
- badania typu i badania okresowe przy produkcji węży i przewodów,
- produkcyjne testy akceptacyjne węży i przewodów.

Wymagania dotyczące materiałów i konstrukcji ustalają, że węże powinny składać się z:

- warstwy wewnętrznej wykonanej z gumy z kauczuku syntetycznego, odpornego na olej i wodę,
- wzmocnienia z drutu stalowego o wysokiej wytrzymałości ułożonego w postaci warstwy zewnętrznej z gumy z trudnościeralnego kauczuku syntetycznego odpornego na olej, wodę i pozostałe warunki środowiskowe występujące w podziemnych wyrobiskach zakładów górniczych.

Każda warstwa opłotu lub spiralnie nawiniętego drutu powinna być oddzielona warstwą izolacyjną gumy z kauczuku syntetycznego.

W normie zaprezentowano przykładowy przewód z podstawowymi wymiarami i jego elementami oraz

zdefiniowano wymagania dla końcówek. Podano wymiary, obejmujące między innymi: średnice wewnętrzne węży, średnice węży na wzmocnieniu i średnice zewnętrzne węży wzmocnionych podwójnym opłotem z drutu, średnice na wzmocnieniu i średnice zewnętrzne węży wzmocnionych wieloma spiralami z drutu stalowego oraz określono współśrodkowość węży. W przypadku przewodów podano ich podstawowe wymiary tj. długość wraz z tolerancją.

Nowością w zaproponowanym projekcie normy jest określenie minimalnej wielkości otworu przelotowego po zakuciu, z uwzględnieniem wszystkich wybrzuszeń i przewężeń, spowodowanych przyłączaniem końcówek. Parametr ten, definiujący największe przewężenie układu hydraulicznego, pozwoli na wyliczenie oporów przepływu cieczy hydraulicznej, a co za tym idzie czasu reakcji układu na zmianę ciśnienia w systemach sterowania.

Możliwe jest również obliczanie ilości ciepła wydzielanego na zwężce powstałej w miejscu zaciśnięcia koń-

cówki. Zdefiniowanie wielkości krytycznego przekroju w przewodzie ułatwi konstruktorom dobranie poprawnej wielkości przewodu do określonej instalacji. Jednocześnie wykluczone zostaną końcówki, które po zakuciu zbyt mocno zmniejszyłyby otwór przelotowy przewodu, istotnie zmieniając jego funkcjonalność.

Wyspecyfikowano średnice kulek do badania otworu przelotowego przewodów wybrane spośród łatwo dostępnych znormalizowanych wymiarów kulek stosowanych w łożyskach kulkowych. Określono też przestrzeń pod zabudowę przewodu, podając maksymalną długość i średnicę zewnętrzną okucia po zamontowaniu końcówek.

Podstawowe wymiary końcówek po zakuciu i średnice kulek do sprawdzania otworu przelotowego przewodów zaprezentowano w tabeli 1.

Z uwagi na szerokie stosowanie przewodów w górnictwie, w normie ustalono wymagania hydrostatyczne, w tym: maksymalne ciśnienie robocze węży i przewodów, które przedstawiono w tabeli 2.

Podstawowe wymiary końcówek po zakuciu i średnice kulek do sprawdzania otworu przelotowego przewodów [4] (Wymiary w milimetrach)

Tabela 1

Otwór nominalny	Typ węża											
	2ST, 2SN, R2ATS, 2SC				4SP, R12				4SH, R13, R15			
	$\varnothing d_0$	$\varnothing d_1$	L_0	$\varnothing$ kulki	$\varnothing d_0$	$\varnothing d_1$	L_0	$\varnothing$ kulki	$\varnothing d_0$	$\varnothing d_1$	L_0	$\varnothing$ kulki
	min.	max.	max.		min.	max.	max.		min.	max.	max.	
5	2,40	18	30	2,381	-	-	-	-	-	-	-	-
6	3,20	19	34	3,175	3,10	19	34	3	-	-	-	-
8	4,60	22	36	4,5	-	-	-	-	-	-	-	-
10	6,05	26	40	6	5,60	26	40	5,5	5,10	28	41	5
12	8,10	31	46	8	7,60	31	46	7,5	7,10	33	46,5	7
16	11,20	32	50	11,112	10,40	32	50	10,319	-	-	-	-
19	13,60	36	60	13,5	12,80	36	60	12,7	12,10	38	60	12
25	18,10	44	68	18	17,10	44	68	17	16,30	46	68,5	16,104
31	24,00	54	88	23,812	23,10	54	88	23	21,10	56	122	21
38	29,60	63	105	28,575	29,00	63	105	28,575	27,60	65	138	27,5
51	39,50	76	125	38,1	38,50	76	125	38,1	37,50	79	152,5	36,512
63 ^a	53,00	86	145	50,8	-	-	-	-	-	-	-	-

^a - wyłącznie dla typu R2ATS

Maksymalne ciśnienie robocze [4]

Tabela 2

Otwór nominalny	Maksymalne ciśnienie robocze bar ^a							
	Typ węża							
	2ST	2SN i R2ATS	2SC	4SP	4SH	R12	R13	R15
5	415	415	-	-	-	-	-	-
6	400	400	400	450	-	-	-	-
8	350	350	350	-	-	-	-	-
10	330	330	330	445	-	280	-	420
12	275	275	275	415	-	280	-	420
16	250	250	250	350	-	280	-	-
19	215	215	215	350	420	280	350	420
25	165	165	165	280	380	280	350	420
31	125	125	125	210	325	210	350	420
38	90	90	-	185	290	175	350	420
51	80	80	-	165	250	175	350	-
63 ^b	-	70	-	-	-	-	-	-

^a - 1 bar = 0,1 MPa.

^b - dla typu R2ATS

Badania typu i badania okresowe przy produkcji węży i przewodów [4]

Tabela 3

Własności/Rodzaj badania	Badanie typu	Badanie okresowe
Sprawdzenie materiałów, konstrukcji i wymiarów węży		
Sprawdzenie materiałów i konstrukcji	X	X
Pomiar średnicy wewnętrznej	X	X
Pomiar średnicy zewnętrznej	X	X
Pomiar grubości warstwy zewnętrznej (jeżeli dotyczy)	X	-
Pomiar współśrodkowości węży	X	-
Badania węży		
Badanie przy ciśnieniu próbnym	X	X
Badanie ciśnienia rozrywającego	X	-
Badanie zmiany długości	X	X
Badanie minimalnego promienia zgięcia	X	-
Badanie impulsowe	X	-
Badanie giętkości w niskiej temperaturze	X	-
Badanie adhezji (warstwa zewnętrzna)	X	-
Badanie adhezji (warstwa wewnętrzna)	X	-
Badanie odporności na podciśnienie (jeżeli dotyczy)	X	-
Badanie odporności na ścieranie	X	-
Badanie odporności na działanie cieczy (warstwa zewnętrzna)	X	-
Badanie odporności na działanie cieczy (warstwa wewnętrzna)	X	-
Badanie odporności na działanie ozonu	X	-
Badanie trudnopalności	X	-
Badanie antystatyczności	X	-
Kontrola wizualna	X	X
Sprawdzenie materiałów, konstrukcji i wymiarów przewodów		
Sprawdzenie materiałów i konstrukcji	X	X
Pomiar długości przewodu	X	X
Sprawdzenie otworu przelotowego	X	X
Pomiar podstawowych wymiarów końcówek	X	-
Badania przewodów		
Badanie jakości powłok antykorozyjnych	X	-
Badanie impulsowe	X	-
Badanie przeciekania	X	-
Kontrola wizualna	X	X

X – badanie powinno być wykonane,

- – badania się nie wykonuje

Zdefiniowano także ciśnienie próbne, które powinno być równe podwojonemu założonemu maksymalnemu ciśnieniu robocznemu oraz ciśnienie rozrywające, które powinno być równe poczwórnemu zakładanemu maksymalnemu ciśnieniu robocznemu.

W zależności od typu węża, nowy projekt normy uściśla także wymagania w zakresie wytrzymałości na ciśnienie pulsujące i tak:

- węże typu 2ST, 2SN, R2ATS i 2SC i wykonane z nich przewody powinny wytrzymać co najmniej 200 000 cykli impulsów ciśnienia równego 133 % maksymalnego ciśnienia roboczego,
- węże typu 4SP i 4SH i wykonane z nich przewody powinny wytrzymać co najmniej 400 000 cykli impulsów ciśnienia równego 133 % maksymalnego ciśnienia roboczego,
- węże typu R12 i wykonane z nich przewody powinny wytrzymać co najmniej 500 000 cykli impulsów ciśnienia równego 133 % maksymalnego ciśnienia roboczego,
- węże typu R13 i R15 i wykonane z nich przewody powinny wytrzymać co najmniej 500 000 cykli im-

pulsów ciśnienia równego 120 % maksymalnego ciśnienia roboczego.

Istotnym aspektem, wpływającym na jakość węży i przewodów jest ich odporność na szereg czynników wewnętrznych i zewnętrznych. Elementy te nie powinny przeciekać i nie powinny wykazywać uszkodzeń w trakcie pracy.

Stąd też w normie zawarto wymagania dotyczące:

- przeciekania przewodów,
- giętkości w niskiej temperaturze,
- adhezji między warstwami,
- odporności na podciśnienie,
- odporność na ścieranie,
- odporności na działanie oleju, działanie roztworów wodnych i na działanie wody,
- odporności na działanie ozonu.

Twórcy normy odnieśli się również do sytuacji, gdy węże i przewody będą pracować w przestrzeniach zagrożonych wybuchem, wprowadzając wymagania dotyczące trudnopalności i antystatyczności.

Zestawy produkcyjnych testów akceptacyjnych węży i przewodów [4]

Tabela 4

Własności/Rodzaj badania	Zestaw 1	Zestaw 2
Sprawdzenie materiałów, konstrukcji i wymiarów węży		
Sprawdzenie materiałów i konstrukcji	X	X
Pomiar średnicy wewnętrznej	X	X
Pomiar średnicy zewnętrznej	X	X
Pomiar grubości warstwy zewnętrznej (jeżeli dotyczy)	X	X
Pomiar współśrodkowości węży	X	X
Badania węży		
Badanie przy ciśnieniu próbnym	X	X
Badanie ciśnienia rozrywającego	X	X
Badanie zmiany długości	X	X
Badanie minimalnego promienia zgięcia	-	X
Badanie impulsowe	-	X
Badanie giętkości w niskiej temperaturze	-	X
Badanie adhezji (warstwa zewnętrzna)	-	X
Badanie adhezji (warstwa wewnętrzna)	-	X
Badanie odporności na podciśnienie (jeśli dotyczy)	-	X
Badanie odporności na ścieranie	-	X
Badanie odporności na działanie cieczy (warstwa zewnętrzna)	-	X
Badanie odporności na działanie cieczy (warstwa wewnętrzna)	-	X
Badanie odporności na działanie ozonu	-	X
Badanie trudnopalności	-	X
Badanie antystatyczności	-	X
Kontrola wizualna	X	X
Sprawdzenie materiałów, konstrukcji i wymiarów przewodów		
Sprawdzenie materiałów i konstrukcji	X	X
Pomiar długości przewodu	X	X
Sprawdzenie otworu przelotowego	X	X
Pomiar podstawowych wymiarów końcówek	-	X
Badania przewodów		
Badanie jakości powłok antykorozyjnych	-	X
Badanie impulsowe	-	X
Badanie przeciekania	X	X
Kontrola wizualna	X	X

X – badanie powinno być wykonane

- – badania się nie wykonuje

Zrezygnowano z określenia wymagań związanych z toksycznością substancji rozkładu termicznego węża w przewodzie. Metoda badania toksyczności jest stosunkowo skomplikowana, a efekty są niewspółmierne do kosztów badań. Ponieważ ilość gumy w przewodach znajdujących się w wyrobiskach podziemnych jest znacząco mniejsza od ilości gumy w taśmach przenośników, w krajach Unii Europejskiej nie stawia się przewodom wymagań na toksyczność substancji rozkładu termicznego.

Mając na uwadze fakt, iż wyniki badań są powszechnie wykorzystywane w ocenie zgodności prowadzonej w zakresie bezpieczeństwa użytkowania, istotnym elementem nowej normy jest rozdział poświęcony badaniom węży i przewodów hydraulicznych.

W normie rozróżniono dwie grupy badań:

1. Badania typu i badania okresowe przy produkcji węży i przewodów, które należy przeprowadzać w przypadku:
 - badania typu dla każdego typu i otworu węża: przy początkowej ocenie wyrobu; po 5 latach od pierw-

szej oceny; w przypadku zmiany wyrobu, po początkowej ocenie,

- badania okresowe przed magazynowaniem lub sprzedażą, dla każdej długości węża i dla każdej partii przewodów.

Zakres wspomnianych badań przedstawiono w tabeli 3.

2. Produkcyjne testy akceptacyjne węży i przewodów, które należy przeprowadzać zgodnie z zakładowym systemem jakości. Zalecane są dwa zestawy badań:
 - zestaw pierwszy badań, z częstotliwością co 3 000 m każdego wyprodukowanego typu i otworu nominalnego węża lub co 1 000 sztuk każdego wyprodukowanego typu i otworu nominalnego przewodu niezależnie od ich długości i złączy końcówek,
 - zestaw drugi badań, z częstotliwością co 12 miesięcy produkcji każdego typu i otworu nominalnego węża lub przewodu.

Zakres testów akceptacyjnych węży i przewodów przedstawiono w tabeli 4.

3. Podsumowanie

Zaostrzająca się konkurencja między przedsiębiorcami, prowadzi do konieczności podejmowania działań niekonwencjonalnych, związanych między innymi z kreowaniem nowych wymagań normalizacyjnych. Jakość każdego wyrobu jest jednym z głównych czynników determinujących przewagę konkurencyjną rozwijającego się i innowacyjnego przedsiębiorstwa, a normy stają się dokumentami pozwalającymi zagwarantować nie tylko jakość wykonania, ale przede wszystkim bezpieczeństwo użytkowania.

Działania Komitetu Technicznego nr 285 w obszarze kreowania wymagań normalizacyjnych są dowodem, że opracowywanie Polskich Norm gwarantuje uporządkowanie zagadnień dotyczących węży i przewodów hydraulicznych wzmocnionych drutem stosowanych w górniczych napędach i sterowaniach hydraulicznych.

Opracowany projekt normy PN-G-32010 ujednolicił wymagania dotyczące podstawowych cech konstrukcyjnych przewodów hydraulicznych, jak i wymagania wytrzymałościowe dostosowane do współczesnej techniki górniczej. Zwrócono również uwagę na fakt, iż zaproponowane wymagania, stanowiące podstawę dla przeprowadzenia oceny zgodności dla przewodów, muszą być spójne z wymaganiami stawianymi złączom przeznaczonym do łączenia węży.

Czas ustanowienia i wejście w życie nowych postanowień zawartych w omawianym projekcie normy w dużej mierze zależeć będzie od procedur obowiązujących w Polskim Komitecie Normalizacyjnym.

Powoli rośnie świadomość potrzeby finansowego wsparcia procesu tworzenia Polskich Norm, czego dowodem jest zaangażowanie się w ten proces nie tylko Instytutu Techniki Górniczej KOMAG, ale również przedstawicieli małych firm produkcyjnych [6,7].

Omawiany projekt normy już na początkowym etapie opracowywania spotkał się z zainteresowaniem z uwagi na konieczność dostosowania produkcji do wymagań nowego dokumentu, jednak po skierowaniu (do ponad 20 jednostek), zapytania Instytutu o możliwość włączenia się w opracowanie i współfinansowanie opracowania normy PN-G-32010, pozytywny odzew nastąpił jedynie ze strony trzech firm produkcyjnych: AGR Ewa Rojowiec z Knurów, BOMAR S.A. Mysłowice oraz TUBES International sp. z o.o z Poznania. Jednostki te włączyły się przede wszystkim w zdefi-

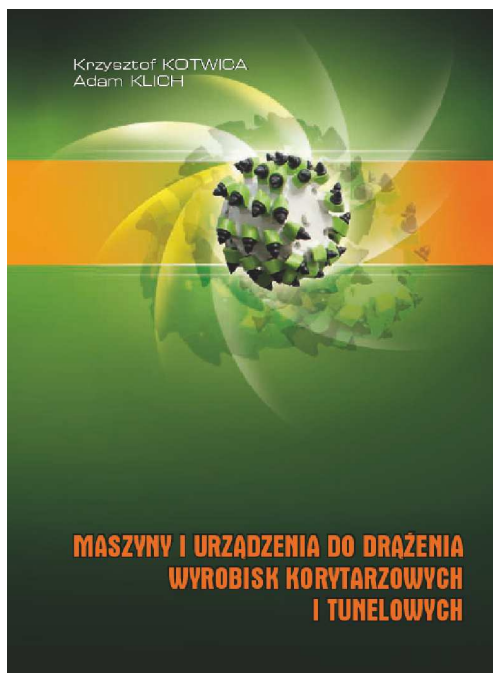
niowanie wymagań normalizacyjnych, jak również w częściowe współfinansowanie opracowania.

Podsumowując – pomimo, że środki zainwestowane w normalizację zwracają się powoli, to zapewniają ochronę przed nieuczciwą konkurencją, oferującą wyroby o nieokreślonej jakości, a udział w pracach normalizacyjnych zapewnia bieżący dostęp do aktualnego stanu wiedzy i informacji oraz stwarza możliwość wpływania na wytyczanie kierunków rozwoju danej dziedziny. Niestety producenci ciągle jeszcze nie rozumieją lub nie widzą potrzeby bardziej aktywnego zaangażowania w normalizację, zadawałając się starymi polskimi normami, których wymagania są zdezaktualizowane, względnie przestarzałe [6, 7].

Literatura

1. Kudźma Z.: Właściwości dynamiczne przewodów hydraulicznych, *Hydraulika i Pneumatyka* 2005 nr 6.
2. Norma PN-G-32000:2011 Górnicze napędy i sterowania hydrauliczne - Złącza wtykowe - Wymagania.
3. Pierce S. O., Evans J. L.: Failure analysis of a metal bellows flexible hose subjected to multiple pressure cycles, *Engineering Failure Analysis* Volume: 22, Complete, June, 2012, pp. 11-20.
4. Pizoń A.: Hydrauliczne i elektrohydrauliczne układy sterowania i regulacji, WNT Warszawa, 1987.
5. Projekt normy PN-G-32010 Górnicze napędy i sterowania hydrauliczne - Węże i przewody hydrauliczne z gumy wzmocnione drutem, materiały nie publikowane, dostępne w PKN.
6. Zając R.: Działalność normalizacyjna w obszarze bezpieczeństwa maszyn i urządzeń. Potrzeby i oceniowania polskiej normalizacji, *Zarządzanie Jakością* 2011 nr 2 s. 54-61.
7. Zając R., Wierzbicka D., Czerniak D.: Wymagania techniczne dla złączy wtykowych w połączeniach hydraulicznych przewodów giętkich. *Maszyny Górnicze* 2011 nr 2 s. 52-57.
8. Opisy wypadków ciężkich 2010 r., Informacja Wyższego Urzędu Górniczego - Departament Warunków Pracy nr 34/2010/EW http://www.wug.gov.pl/index.php?statystyki/wyp_ci_2010
9. Dokumentacja fotograficzna Instytutu Techniki Górniczej KOMAG.

Artykuł wpłynął do redakcji w czerwcu 2012 r.



Krzysztof Kotwica K., Klich A.: **Maszyny i urządzenia do drążenia wyrobisk korytarzowych i tunelowych.** Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2011.

Polecamy lekturę bardzo interesującej monografii, niewątpliwie stanowiącej kompendium wiedzy o sposobach wykonywania wyrobisk korytarzowych i tuneli. Książka pomyślana została jako pozycja wyjaśniająca ważność robót przygotowawczych i udostępniających, zwłaszcza w polskim górnictwie węgla kamiennego, stosującym głównie wybieranie ścianowe tego surowca. Podkreślono także konieczność inwestycji związanych z budową tuneli komunikacyjnych w Polsce.

Treść monografii zawarta jest w ośmiu rozdziałach, z których pierwszy stanowi wstęp do opracowania.

We wstępie Autorzy zapoznają czytelnika z tematyką rozważań, zwracając uwagę na fakt, iż drążenie chodników i tuneli jest zagadnieniem bardzo złożonym z uwagi na występujące trudności i ograniczenia zarówno natury geologiczno-górnicznej, jak i technicznej. Prace w tych wyrobiskach należą do najbardziej pracochłonnych i czasochłonnych. Coraz większa głębokość, z jakiej wydobywa się węgiel, rudy metali i sól ma również duży wpływ na pogarszanie się warunków drążenia wyrobisk. Dodatkowo, głębokość eksploatacji wiąże się z podwyższoną temperaturą skał otaczających, co stwarza konieczność wykonywania wyrobisk o zdecydowanie większych przekrojach poprzecznych. Kończąc wstęp Autorzy omawiają znaczenie prędkości

drążenia i jej wpływ na aspekt ekonomiczny tych robót górniczych.

Rozdział drugi przedstawia metody drążenia wyrobisk korytarzowych i tuneli. Wymieniono cykle, w których wykonywane są chodniki oraz podkreślono ważność zrealizowania w każdym z tych cykli fazy lub operacji urabiania, ładowania i stawiania obudowy. Wykonano obliczenia podstawowych parametrów cyklu urabiania. Opisano metody drążenia wyrobisk z wykorzystaniem materiału wybuchowego oraz metody wykorzystujące kombajn chodnikowy. W tabeli umieszczono podstawowe parametry stosowanych kombajnów lekkich, średnich i ciężkich.

Rozważania rozdziału trzeciego skupiono na omówieniu maszyn i urządzeń do drążenia wyrobisk korytarzowych z wykorzystaniem materiałów wybuchowych. Przedstawiono sposoby wiercenia oraz budowę i zasadę pracy wiertarek górniczych. Dokonano podziału wozów wierzących i kotwiących, a także opisano ich budowę i zasadę działania. Dalszą część rozdziału Autorzy poświęcili ładowarkom chodnikowym. Tu również przedstawiono podział tych urządzeń, ich budowę i sposób pracy. W układzie tabelarycznym pokazano najważniejsze parametry maszyn wiertniczych i ładujących.

W rozdziale czwartym przedstawiono mechaniczne metody drążenia wyrobisk korytarzowych z wykorzystaniem kombajnów chodnikowych. Autorzy podzielili metody mechaniczne na statyczne i dynamiczne. Wyjaśnili następnie różnice pomiędzy skrawaniem, zgniataniem a odłupywaniem. Wyróżnili też podstawowe sposoby urabiania mechanicznego, dzieląc je na: urabianie udarowe, urabianie statycznym naciskiem, urabianie skrawaniem i urabianie poprzez boczne odłupywanie (tylne podcinanie). Sporo miejsca poświęcono omówieniu narzędzi urabiających, które w procesie skrawania noszą nazwę noży skrawających. Opisano podstawowe rodzaje noży. Zaprezentowano budowę i zasadę działania kombajnów chodnikowych ramionowych urabiających punktowo i urabiających liniowo, kombajnów chodnikowych urabiających pełnym przekrojem oraz kombajnów chodnikowych specjalnych.

Rozdział piąty poświęcono obudowie wyrobisk korytarzowych i tunelowych. Szczegółowo opisano rodzaje obudów stosowanych w tych wyrobiskach. Zdaniem Autorów, podział obudowy ze względu na system zabezpieczenia, jak również według sposobu pracy i podstawowych cech konstrukcyjnych został najtrafniej omówiony w normie PN-71/G-01100. Na rysunku przedstawiono schematyczną formę tego podziału. Bardziej szczegółowo omówiono wybrane rozwiązania

obudów, najczęściej stosowanych przy drążeniu chodników i tuneli.

Środki odstawy i transportu stosowane podczas drążenia wyrobisk korytarzowych i tuneli zostały przedstawione w rozdziale szóstym pracy. Autorzy podkreślili wagę doboru urządzeń transportowych ze względu na postęp chodnika, czy tunelu. Graficznie zaprezentowano podział transportu w podziemnych zakładach górniczych. Opisano poszczególne typy urządzeń odstawy (przenośniki taśmowe, wozy szynowe i samojezdne) i urządzeń do transportu materiałów (koleje spągowe i podwieszane, wozy samojezdne oponowe).

W rozdziale siódmym zawarto problematykę przewietrzania przodków wyrobisk korytarzowych i tuneli. Przewietrzanie obecnie drążonych chodników i tuneli praktycznie realizowane jest za pomocą wentylacji lutniowej. Autorzy przedstawili zalecenia stosowania danego rodzaju wentylacji (ssąca, tłocząca, ssąco-tłocząca, tłocząco-ssąca, rewersyjna) w zależności od typu drążonego wyrobiska i warunków górniczo-geologicznych.

Monografię kończy rozdział ósmy, który omawia kierunki rozwoju zmechanizowanych technologii drąże-

nia wyrobisk korytarzowych i tunelowych. Autorzy przedstawiają szereg cennych wniosków dotyczących stosowania najnowocześniejszych technik drążenia, podkreślając jednocześnie, że w najbliższym czasie w polskim górnictwie największy udział będą miały kombajny chodnikowe ramionowe urabiające punktowo. Natomiast w niedalekiej przyszłości należy oczekiwać wprowadzenia systemów zdalnego sterowania pracą kombajnu, zdalnego operowania maszyną z powierzchni oraz łączności z nią z dowolnego miejsca w kopalni dla monitorowania i kontroli jej stanu technicznego. Autorzy wysuwają także własne propozycje dotyczące rozwoju nowych koncepcji narzędzi urabiających. Wymieniają przede wszystkim narzędzia koronowe i mininarzędzia dyskowe niesymetryczne oraz rozwiązania smarowanych uchwytów nożowych.

Książka, mimo iż dotyczy trudnej tematyki, jest napisana przystępnie, o klarownym wywodzie.

Obszerna bibliografia zawiera szereg cennych publikacji Autorów.

Opracowała: mgr Mariola Podgórska



Rakwicz B.: **Modelowanie hydrochemiczne jako element oceny przydatności odpadów górnictwa podziemnego w budownictwie drogowym.** Prace Naukowe - Monografie nr 36, Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2011.

Zachęcamy do zapoznania się z monografią, która omawia wciąż aktualne i bardzo ważne zagadnienie, związane z wykorzystywaniem odpadów pochodzących z górnictwa węgla kamiennego.

Treść książki zawarta jest w jedenastu rozdziałach. Do publikacji dodano bardzo przydatny załącznik, zawierający zastosowaną terminologię.

Wprowadzając czytelnika w tematykę rozważań, Autorka zaznacza, że odpady górnictwa węgla kamiennego stanowią największy strumień odpadów powstających w Polsce. Wydobyciu jednej tony węgla towarzyszy wytworzenie 250 - 300 kg odpadów, wymagających zagospodarowania. Jedną z możliwości ich wykorzystania jest produkcja kruszyw, które mogą być zastosowane w budownictwie drogowym i hydrotechnicznym. Potwierdzają to parametry geotechniczne tych kruszyw oraz prawie pięćdziesięcioletnie doświadczenie w tym zakresie. Jednocześnie, nowa ustawa o odpadach wprowadza radykalną zmianę ich statusu, kwalifikując je jako kopalinę towarzyszącą wydobywaniu węgla.

Zdaniem Autorki, ograniczeniem dla rozwoju tego racjonalnego w sensie gospodarczym i poprawnego technicznie kierunku wykorzystania odpadów górnictwa węgla kamiennego jest brak odpowiednich wytycznych, pozwalających na przeprowadzenie oceny ich przydatności, z uwzględnieniem specyficznych właściwości odpadów i ich zmian, w powiązaniu z danymi dotyczącymi obiektu. Aktualnie obowiązujące przepisy prawne w zakresie bezpieczeństwa stosowania od-

padów górniczych w budownictwie drogowym nie obejmują wszystkich aspektów oceny ich oddziaływania na środowisko wodno-gruntowe. Szczególnie dotyczy to oceny właściwości chemicznych odpadów, w tym wymywalności metali ciężkich, określanej za pomocą specjalnych testów, która nie wskazuje obecnie zagrożeń dla środowiska wodno-gruntowego.

W celu wykazania możliwości modyfikacji metod oceny przydatności odpadów górnictwa węgla kamiennego w budownictwie drogowym oraz oceny zagrożeń środowiska wodno-gruntowego, przeprowadzono badania modelowe i laboratoryjne, zweryfikowane na stanowisku do prób lizymetrycznych. Ponadto, analiza danych z monitoringu środowiska wykazała, że wody opadowe w rejonie jednego ze składowisk, z którego pobierano próbki, charakteryzują się pH poniżej naturalnego stopnia zakwaszenia, co jest wynikiem obecności mocnych kwasów nieorganicznych, powstałych w wyniku rozpuszczania kwasotwórczych tlenków siarki i azotu, występujących w powietrzu atmosferycznym. Autorka zaznacza, że w świetle powyższego, wybrano jony siarkowe, azotowe i chlorkowe jako składniki cieczy wymywającej.

Obszerną część monografii poświęcono przebiegowi badań laboratoryjnych. Ich wyniki wykazały, że mieszaniki odpadowo-gruntowe zastosowane w budownictwie drogowym, stanowią istotny czynnik kształtowania jakości wód powierzchniowych i podziemnych w rejonach ich wykorzystania. Zwłaszcza wyniki testów z wodą destylowaną wykazały, jak podkreśla Autorka, że uwalniana ilość ołowiu nie spełnia kryteriów wymaganych przy dopuszczaniu odpadów do umieszczania na składowiskach. Dla testów z cieczą o obniżonym pH uzyskano wymywalność cynku, niklu i ołowiu na poziomie wyższym niż dopuszczalne wartości graniczne dla odpadów przeznaczonych na składowiska odpadów obojętnych.

W książce przedstawiono również wpływ parametrów charakteryzujących warunki wymywania mieszanek gruntowo-odpadowych w obiekcie drogowym na ilość wymytych wybranych metali ciężkich przez wody opadowe. Autorka opisuje przeprowadzone w tym celu obliczenia modelowe, wykonane przy użyciu oprogramowania PHREEQC, uwzględniające zmiany rodzaju minerału, ilości dostępnego tlenu oraz temperatury i poziomu pH wód opadowych. Wyniki obliczeń wykazały, że ilość wymywanych metali ciężkich wzrasta w obecności pirytu i syderytu oraz przy zapewnieniu dostępności tlenu, niskiej temperatury i pH wód opadowych. Na zmniejszenie ilości metali ciężkich wymywanych z odpadów i związanych z tym skażeń środowiska gruntowo-wodnego może też wpłynąć obecność minerałów o zdolności do neutralizacji kwasów, a także ograniczenie dostępu tlenu i wody infiltracyjnej.

Symulacje długoterminowego oddziaływania na środowisko badanych odpadów wykazały, że stężenie niklu w odciekach z wymywania mieszanek gruntowo-odpadowych utrzymuje się na poziomie odpowiadającym V klasie jakości wód podziemnych, tj. wodom złej jakości.

Monografia zawiera także weryfikację obliczeń modelowych. Dokonano jej za pomocą porównania wyników symulacji procesu wymywania metali ciężkich mieszanek odpadowo-gruntowych z wynikami badań na stanowisku do prób lizymetrycznych. Stanowisko to zapewnia osiągnięcie warunków wymywania zbliżone do takich, w jakich może przebiegać ten proces w badanej warstwie realnego obiektu drogowego. Autorka zaznacza, że wyniki badań na stanowisku do prób lizymetrycznych potwierdziły, uzyskaną z obliczeń modelowych, wymywalność ołowiu, niklu i cynku.

Pracę kończy przedstawienie wytycznych do metody oceny przydatności odpadów górnictwa węgla kamiennego w budownictwie drogowym. Wytyczne te określono na podstawie wyników przeprowadzonych badań laboratoryjnych, modelowych i lizymetrycznych. Autorka zaleca, aby modyfikację metody oceny przydatności omawianych odpadów ukierunkować na wykorzystanie modelowania hydrochemicznego.

Książka wzbogaca stan wiedzy o wykorzystywaniu odpadów górnictwa węgla kamiennego, a także skłania do przemyśleń nad wpływem utylizacji tych odpadów na kształtowanie środowiska przyjaznego dla człowieka.

Monografię opatrzono obszernym spisem literatury, zawierającym wiele wartościowych publikacji.

Opracowała: mgr Mariola Podgórska