



MASZYNY GÓRNICZE

3/2018

KWARTALNIK NAUKOWO-TECHNICZNY



MASZYNY GÓRNICZE

MINING MACHINES

3(155)2018

Kwartalnik naukowo-techniczny
Rok XXXVI, wrzesień 2018

Zespół Redakcyjny:

Redaktor Naczelny:

dr inż. Antoni Kozieł

Z-ca Redaktora Naczelnego:

dr inż. Edward Pieczora

Sekretarz Redakcji:

mgr inż. Romana Zając

Redaktor statystyczny:

dr inż. Jarosław Tokarczyk

Redaktor językowy:

mgr Elżbieta Kwaśniewska-Gajda

Redaktorzy tematyczni:

dr hab. inż. Beata Grynkiewicz-Bylina

prof. nadzw. ITG KOMAG,

prof. dr hab. inż. Adam Klich,

prof. dr hab. inż. Aleksander Lutyński,

dr hab. inż. Stanisław Szweda

prof. nadzw. ITG KOMAG,

prof. dr hab. inż. Teodor Winkler

Korekta i skład:

mgr inż. Marzena Pabian-Macina

Wydawca:

Instytut Techniki Górniczej KOMAG

ul. Pszczyńska 37, 44-101 Gliwice

tel. 32 2374 129

<http://www.komag.eu>

Wersję elektroniczną wydawanego
kwartalnika należy traktować jako
wersję pierwotną.



ISSN 2450-9442

Szanowni Państwo

Pojęcie Przemysłu 4.0, czyli tzw. czwartej rewolucji przemysłowej jest już nie tylko modnym tematem, ale jego trzy składowe są coraz częściej wdrażane do codziennej praktyki.

Pierwszy z elementów to Internet Rzeczy, który dzięki inteligentnym maszynom, pozwala na komunikację między nimi.

Drugi, wiąże się z przetwarzaniem ogromnej liczby danych, w postaci wyników i analiz przeznaczonych dla zarządzających, na różnych szczeblach decyzyjności.

Trzecim elementem jest infrastruktura komunikacyjna, pozwalająca na szybkie przesyłanie informacji.

Połączenie powyższych technologii przemysłowych i osiągnięć informatycznych ma na celu poprawę efektywności produkcji. Wydaje się, że również w odniesieniu do technologii górniczych, wdrażanie osiągnięć technologicznych Przemysłu 4.0 będzie nieodzowne, choćby ze względu na aspekt bezpieczeństwa pracy.

Będzie to zadanie trudne i wymagające, ze względu na warunki geologiczne, zagrożenia i koszty inwestycyjne. Bariere może stwarzać brak specjalistycznej kadry z zakresu automatyki, IT oraz robotyki, jak również, ciągle stosunkowo niskie koszty pracy w Polsce. Należy jednak podkreślić, że gra idzie o stworzenie „inteligentnej kopalni”, ze znaczącą poprawą bezpieczeństwa pracy. Tematyce bezpieczeństwa pracy i użytkowania maszyn i urządzeń poświęcona jest przeważająca część artykułów przedstawionych w niniejszym numerze naszego kwartalnika. Omawiamy techniki zwalczania zagrożenia pyłowego, obudowę ratowniczą, zagadnienie relokacji sekcji ścianowej obudowy zmechanizowanej czy problematykę napraw i remontów urządzeń przeznaczonych do stosowania w strefach potencjalnie zagrożonych wybuchem metanu i/lub pyłu.

Mamy nadzieję, że lektura artykułów okaże się dla Państwa interesująca. Zapraszamy zatem do zapoznania się z ich treścią, i tradycyjnie do współpracy z redakcją „Maszyn Górniczych”.

*Redaktor Naczelny
dr inż. Antoni Kozieł*

PROJEKTOWANIE I BADANIA

Siegmund M., Bałaga D., Kalita M.:
Badania parametrów strumieni zraszających
dysz drobnokroplistych 3

**OBUDOWY ŚCIANOWE
I CHODNIKOWE**

Szyguła M., Mazurek K.: Hydrauliczna
obudowa ratownicza do stosowania
w warunkach zagrożeń naturalnych 14

Kania J., Szweda S., Szyguła M.: Analiza
procesu wybudowy sekcji obudowy
zmechanizowanej z wyrobiska ścianowego
w aspekcie bezpieczeństwa 23

**ZWALCZANIE ZAGROŻEŃ
ŚRODOWISKOWYCH**

Bałaga D., Kalita M., Siegmund M.,
Klimek Z., Urbanek A., Waloszczyk A.:
Projekt instalacji zraszającej NEPTUN do
zmniejszania zapylenia w zakładzie
przeróbczym KWK „Bolesław Śmiały” 35

NAPĘDY I UKŁADY NAPĘDOWE

Nieśpiałowski K., Rawicki N., Wójcicki M.:
Agregat chłodniczy w układzie zamkniętym
dla silników elektrycznych maszyn
górnictwa 47

Kalita M.: Koncepcja przekładni
cykloidalnej przeznaczonej dla zakrętarek
elektrycznych 57

Suffner H.: Chłodzenie spalin w górnictwie
napędach spalinowych dla kopalń węgla
kamiennego 67

**JAKOŚĆ, CERTYFIKACJA,
NORMALIZACJA, ZARZĄDZANIE**

Figiel A.: Zasady prowadzenia napraw
i remontów urządzeń przeznaczonych do
stosowania w atmosferach wybuchowych
w aspekcie bezpieczeństwa 81

DESIGNING AND TESTING

Siegmund M., Bałaga D., Kalita M.: Testing
the parameters of spraying stream form
fine-drops nozzles 3

**LONGWALL ROOF AND ROAD
SUPPORTS**

Szyguła M., Mazurek K.: Hydraulic rescue
support to be used in areas threatened by
natural hazards 14

Kania J., Szweda S., Szyguła M.: Analysis
of powered roof support withdrawal from
the longwall panel in the safety aspect 23

**ELIMINATION OF ENVIRONMENTAL
HAZARDS**

Bałaga D., Kalita M., Siegmund M.,
Klimek Z., Urbanek A., Waloszczyk A.:
NEPTUN spraying system intended for
reduction of airborne dust in KWK
Bolesław Śmiały coal mine processing plant 35

DRIVERS AND DRIVE SYSTEMS

Nieśpiałowski K., Rawicki N., Wójcicki M.:
Closed circuit cooling unit for electric
motors of a mining machine 47

Kalita M.: Concept of a cycloidal gear
intended for electric impact wrenches 57

Suffner H.: Cooling systems for exhaust
gases of mine diesel drives intended for
hard coal mines 67

**QUALITY, CERTIFICATION,
STANDARDIZATION, MANAGEMENT**

Figiel A.: Principles of carrying out repairs
and overhauls of devices intended for use
in explosive atmospheres in the aspect of
security 81

Badania parametrów strumieni zraszających dysz drobnokroplistych

mgr inż. Michał Siegmund
dr inż. Dominik Bałaga
dr inż. Marek Kalita
Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Testing the parameters of spraying stream form fine-drops nozzles

Streszczenie:

W artykule przedstawiono innowacyjne rozwiązanie opracowanej w Instytucie KOMAG samoczyszczącej dyszy powietrzno-wodnej umożliwiającej wytwarzanie strumieni drobnokroplistych. Omówiono jej budowę i zasadę działania. Przedstawiono przebieg badań parametrów pracy dyszy oraz strumienia zraszającego wraz z omówieniem ich wyników.

Abstract:

Innovative solution of self-cleaning air-water nozzle, developed in KOMAG, which enables generation of fine-drops water streams is presented. Its design and principles of operation is discussed. Procedure for testing the operational parameters of the nozzle and the spraying water stream is given as well as the test results are discussed.

Słowa kluczowe: górnictwo, bezpieczeństwo, redukcja zapylenia, dysza samoczyszcząca

Keywords: mining industry, safety, airborne dust control, self-cleaning nozzle

1. Wprowadzenie

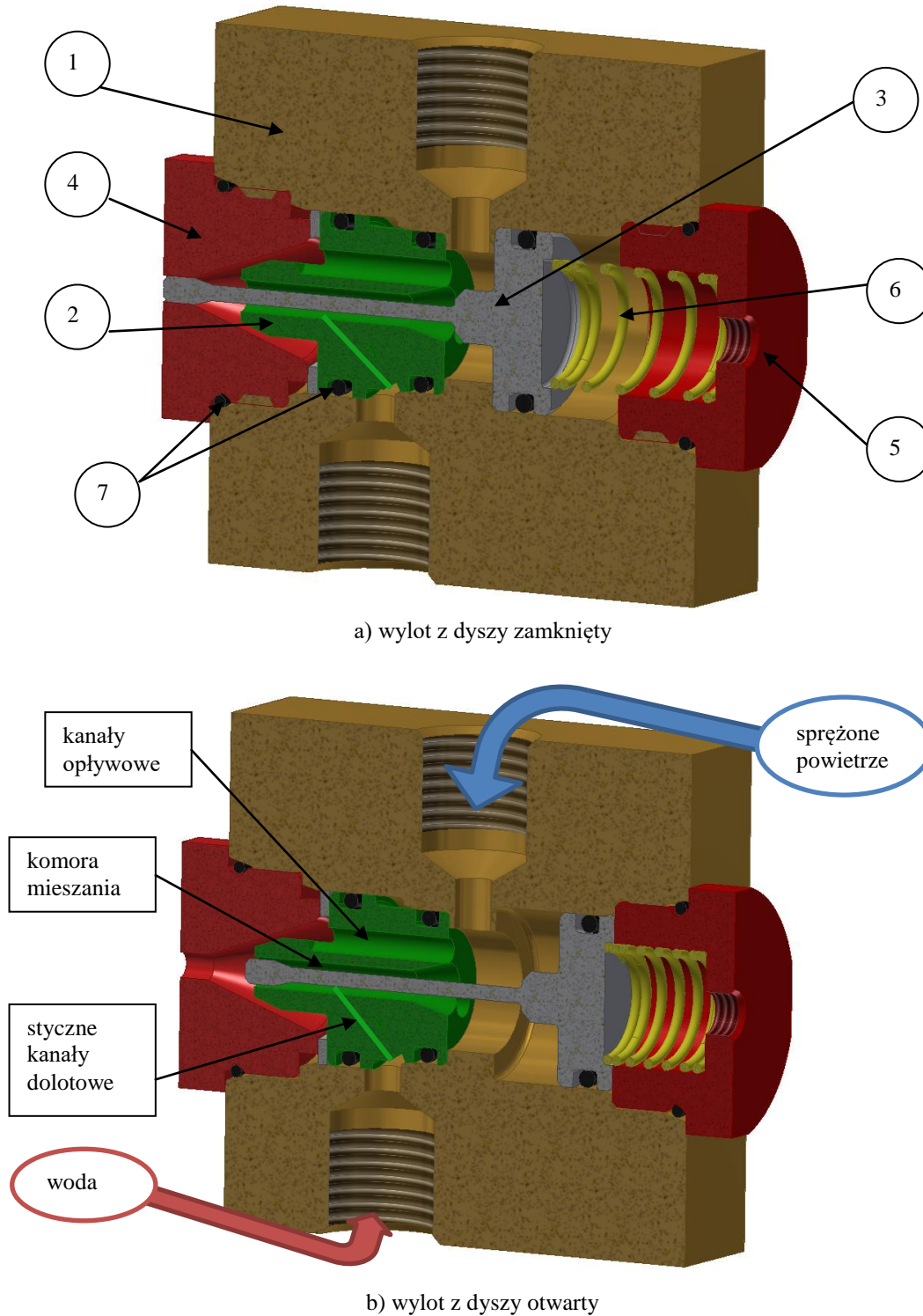
W Instytucie KOMAG opracowano, oraz z powodzeniem wdrożono, szereg rozwiązań dysz zraszających przeznaczonych do redukcji zapylenia szczególnie w podziemiach kopalń węgla kamiennego [2, 3, 4]. Coraz częściej stosowane są rozwiązania dysz zraszających wykorzystujących sprężone powietrze do rozpylenia strumienia wodnego, szczególnie wytwarzających mgłę powietrzno-wodną o rozmiarze kropeł do kilkunastu μm . Zebrane dotychczas doświadczenia w zakresie eksploatacji dysz zabudowanych w urządzeniach zraszających eksploatowanych w kopalniach węgla kamiennego, wskazują, że może dochodzić do zanieczyszczenia wnętrza dysz, a tym samym do ograniczenia ich poprawnego działania [3, 5]. Rozwiązaniem tego problemu są systemy samoczynnego domykania (czyszczenia) wylotu dyszy, w celu zabezpieczenia przed wnikaniem zewnętrznych zanieczyszczeń mogących uszkodzić dyszę lub negatywnie wpłynąć na parametry strumienia zraszającego. W Instytucie KOMAG opracowano i wdrożono rozwiązanie dyszy powietrzno-wodnej z wewnętrznym mieszaniem czynników typu STK [6, 7]. Na podstawie tej konstrukcji opracowano rozwiązanie dyszy samoczyszczącej, której prototyp został poddany badaniom stanowiskowym w kilku wariantach wykonania w celu wyznaczenia jej parametrów pracy oraz rozkładu frakcyjnego kropeł strumienia zraszającego. Ze względu na przeznaczenie opracowywanego rozwiązania dyszy, a więc redukcję zapylenia, w części dotyczącej analizy wyników badań posłużono się średnicą zastępczą objętościowo-powierzchniową **D32** (Sautera). Średnica ta, jest to średnica jednorodnego zbioru zastępczego o tej samej sumarycznej objętości i tej samej sumarycznej powierzchni wszystkich kropli, jak w zbiorze rzeczywistym [8, 9, 10].

2. Rozwiązanie samoczyszczącej dyszy drobnokroplistej

Głównym założeniem przy opracowywaniu konstrukcji dyszy była możliwość generowania drobnokroplistej mgły powietrzno-wodnej, z jednoczesną funkcją

samoczyszczenia. Założono, iż przy zasilaniu odpowiednimi parametrami mediów dysza będzie mogła wytwarzać strumień, którego średnica zastępcza D_{32} (Sautera) będzie mieścić się w zakresie poniżej $20 \mu\text{m}$ (suchej mgły wodnej).

Opracowano egzemplarz badawczy samoczyszczącej dyszy drobnokroplistej, której model (w przekroju) przedstawiono na rysunku 1.



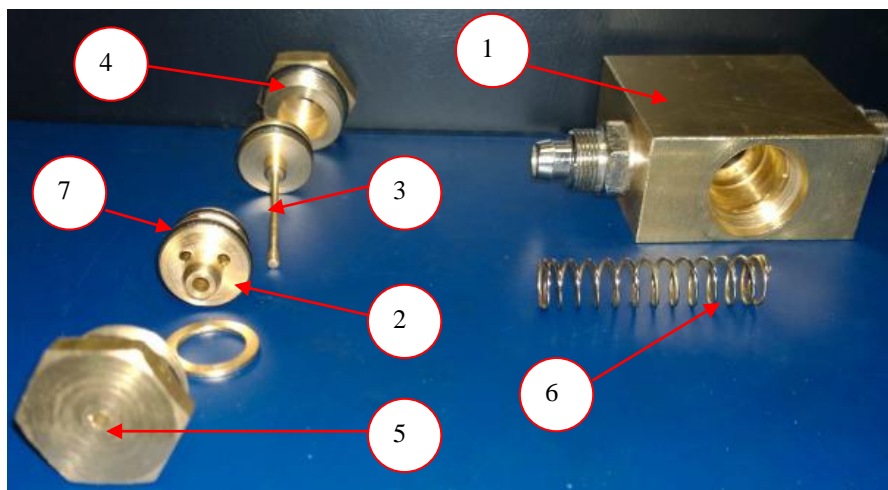
Rys. 1. Model 3D samoczyszczącej dyszy drobnokroplistej [12]: 1 - korpus, przyłączeniowy, 2 - dysza wewnętrzna, 3 - iglica z tłoczkiem, 4 - tuleja wylotowa, 5 - korek zamykający, 6 - sprężyna, 7 - uszczelnienia

Istotą rozwiązania jest przesuwana iglica otwierająca i zamykająca wylot z dyszy w celu jej zabezpieczenia przed wnikaniem zanieczyszczeń z zewnątrz. Praca iglicy uzależniona jest od działania tłoczka sterowanego sprężonym powietrzem. Korpus dyszy umożliwia doprowadzenie sprężonego powietrza oraz wody. Powietrze z kanału wlotowego rozchodzi się w dwie strony: w kierunku tłoczka z iglicą oraz w kierunku dyszy wewnętrznej. Naciskając na tłoczek z iglicą powietrze powoduje jego cofnięcie, z jednoczesnym otwarciem wylotu z dyszy. Powietrze przepływa jednocześnie wewnątrz komory mieszania, jak i na zewnątrz, poprzez specjalne kanały opływowe. W tym czasie specjalnie ukształtowana głowica iglicy przesuwa się w kierunku wylotu z komory mieszania dyszy wewnętrznej, co powoduje wzrost prędkości przepływającego medium, w wyniku przejścia przez przewężenie. Po dostarczeniu do dyszy wody o ciśnieniu zbliżonym do ciśnienia sprężonego powietrza (z zakresu ciśnienia roboczego $0,3\div 0,6$ MPa), dostaje się ona do komory mieszania poprzez styczne kanały dolotowe. Wprawiona w ruch wirowy woda, w komorze mieszania, poddawana jest wymieszaniu z przepływającym sprężonym powietrzem. Prędkość wylotu mieszaniny obu mediów zostaje zwiększona na wylocie z komory, w wyniku przejścia przez zwężkę. Po wylocie z komory mieszanina wtórnie rozrywana jest przez sprężone powietrze przepływające szczeliną pomiędzy dyszą wewnętrzną, a tuleją wylotową, co pozwala na powstawanie kropeł o średnicach mgły wodnej $<20\ \mu\text{m}$. Po zamknięciu dopływu mediów zraszających, tłoczek wraz z iglicą przesuwa się w kierunku wylotu z dyszy, gdzie domykając ją, zabezpiecza przed przypadkowym dostaniem się zewnętrznym do wnętrza dyszy.

Badania dyszy samoczyszczącej przeprowadzono dla następujących konfiguracji zasilania komory mieszania:

- trzy otwory wlotowe wody o średnicy 0,8 z iglicą zamykającą (typ dyszy; DSD – K1),
- jeden otwór wlotowy wody o średnicy 0,8, bez iglicy zamykającej (typ dyszy; DSD – K2),
- jeden otwór wlotowy wody o średnicy 0,8, z iglicą zamykającą (typ dyszy; DSD – K3).

Badawczy egzemplarz dyszy przedstawiono na rysunku 2.

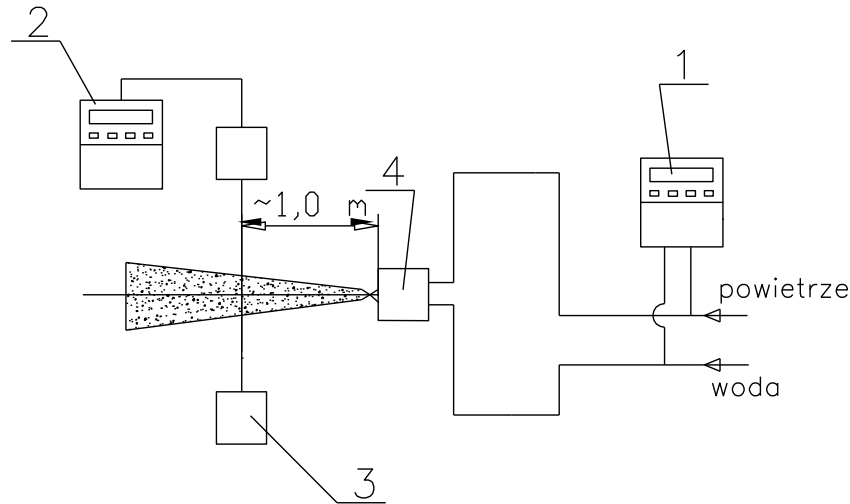


Rys. 2. Egzemplarz badawczy dyszy samoczyszczącej drobnokropliczej [11, 12]: 1 - korpus, przyłączeniowy, 2 - dysza wewnętrzna, 3 - iglica z tłoczkiem, 4 - tuleja wylotowa, 5 - korek zamykający, 6 - sprężyna, 7 - uszczelnienia

3. Metodyka badawcza i przebieg badań

Badanie parametrów pracy dyszy polegało na pomiarze wartości ciśnienia i natężenia przepływu oraz rozkładu frakcyjnego kropeł w strumieniu zraszającym każdej z typów dysz, w zależności od wartości ciśnienia wody i sprężonego powietrza.

Schemat stanowiska badawczego pokazano na rysunku 3.



Rys. 3. Schemat stanowiska badawczego [1, 12]: 1 - zespół pomiarowy mediów (woda oraz powietrze), 2 - aparatura rejestrująca analizatora kropeł, 3 - analizator kropeł, 4 - dysza powietrzno-wodna wraz z korpusem mocującym

W trakcie badań rejestrowano (rys. 4):

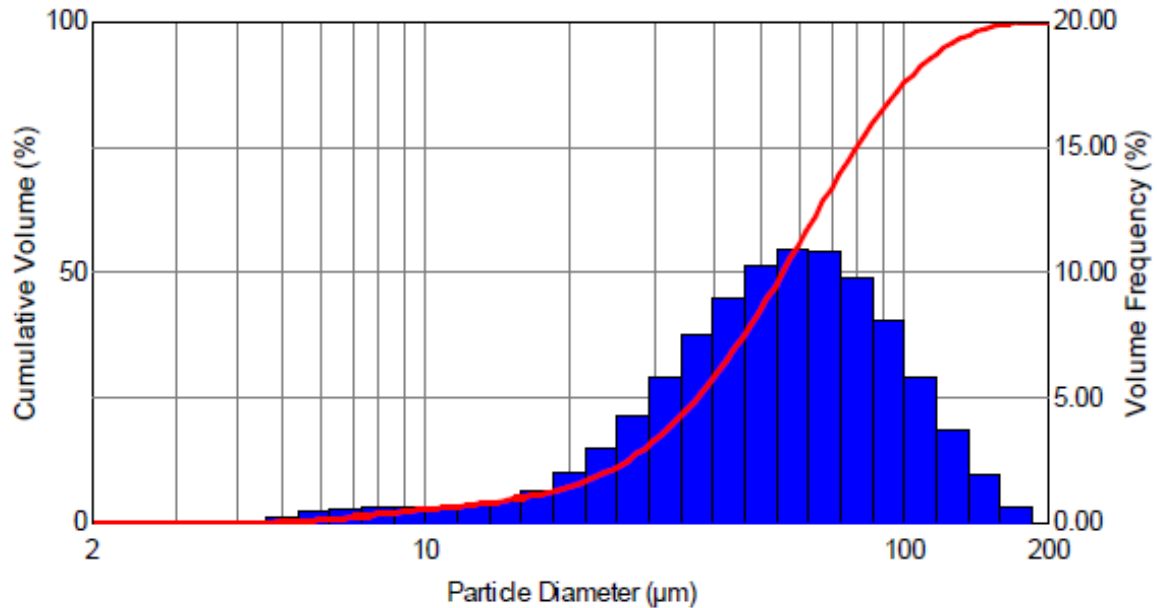
- rozkład średnic cząstek w rozpylanym strumieniu cieczy,
- wartości ciśnienia zasilania i objętościowego natężenia przepływu powietrza w magistrali powietrznej, zasilającej dyszę,
- wartości ciśnienia zasilania i objętościowego natężenia przepływu wody w magistrali wodnej, zasilającej dyszę.



Rys. 4. Pomiar rozkładu frakcyjnego średnic kropeł [11, 12]

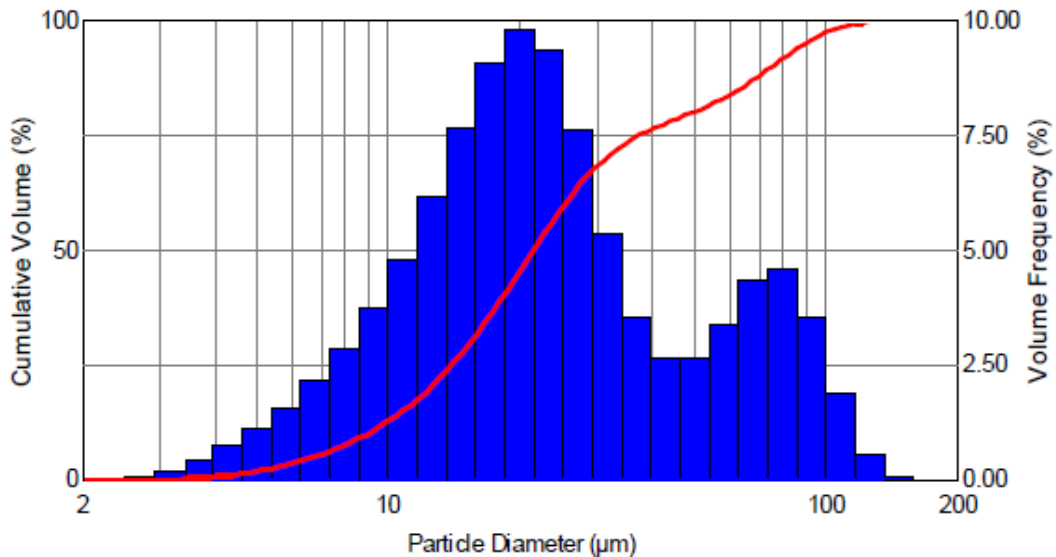
Pomiary prowadzono dla jednakowych wartości ciśnienia wody i powietrza, tj.; 0,3; 0,4; 0,5 oraz 0,6 MPa. Dodatkowo sprawdzano poprawność działania dyszy przy różnicy wartości ciśnienia 0,02 MPa, przy której wytwarzany strumień zachowywał poprawny kształt.

W pierwszej kolejności przeprowadzono badania dyszy dla konfiguracji K1 (trzy otwory wlotowe wody o średnicy 0,8 mm wraz z iglicą zamykającą wylot). Sprawdzano poprawność pracy dyszy, zużycie mediów zraszających oraz stopień rozdrobnienia kropeł wytwarzanego strumienia. Dysza po dostarczeniu mediów zraszających wytwarzała poprawny kształt strumienia zraszającego (kształt pełnego stożka). Podanie sprężonego powietrza o wartości ciśnienia powyżej 0,3 MPa powodowało cofnięcie iglicy czyszczącej o ok. 7 mm i otwarcie wylotu z dyszy. Parametry pracy dyszy, w konfiguracji K1, zawarto w tabeli 1, a rozkład frakcyjny kropeł w wytwarzanym strumieniu zraszającym dla ciśnienia 0,6 MPa, pokazano na rysunku 5.



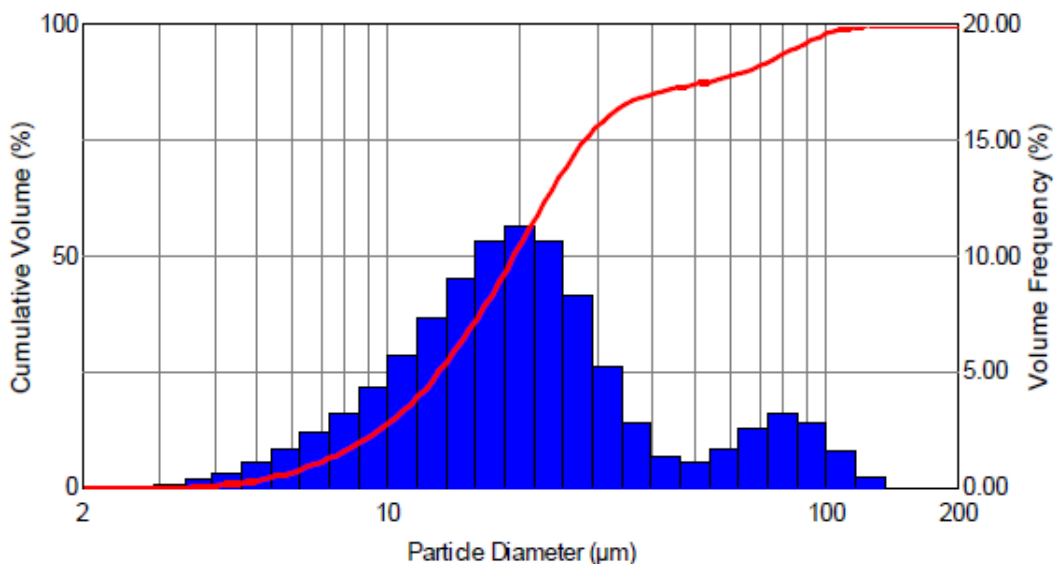
Rys. 5. Rozkład frakcyjny kropeł w wytwarzanym strumieniu zraszającym dla ciśnienia 0,6 MPa (woda i powietrze) - dysza samoczyszcząca w konfiguracji K1 [11, 12]

Następnie wykonano pomiary parametrów pracy dyszy bez iglicy czyszczącej (tłoczek i iglica zostały tak obrócone, aby iglica wychodziła przez otwór odpowietrzający w korku) - konfiguracja K2. Dodatkowo, w dyszy wewnętrznej zaślepiono dwa otwory wlotowe wody, a pozostawiono jeden otwór o średnicy 0,8 mm. Dysza po podłączeniu mediów zraszających wytwarzała strumień zraszający o kształcie pełnego stożka. Podanie sprężonego powietrza, o wartości ciśnienia w zakresie 0,3-0,6 MPa, powodowało przemieszczenie się iglicy o ok. 7 mm i otwarcie wylotu z dyszy. Parametry pracy dyszy w konfiguracji K2, zawarto w tabeli 1, a rozkład frakcyjny kropeł w wytwarzanym strumieniu zraszającym dla ciśnienia 0,6 MPa pokazano na rysunku 6.



Rys. 6. Rozkład frakcyjny kropeł w wytwarzanym strumieniu zraszającym dla ciśnienia 0,6 MPa (woda i powietrze) - dysza samoczyszcząca w konfiguracji K2 [11, 12]

Zweryfikowano również parametry pracy dyszy z iglicą czyszcząca – konfiguracja K3. Tak jak w przypadku konfiguracji K2, zaślepiono dwa otwory wlotowe wody, pozostawiając jeden otwór o średnicy 0,8 mm. Dysza po podłączeniu mediów zraszających wytwarzała strumień zraszający o kształcie pełnego stożka. Podanie sprężonego powietrza, o wartości ciśnienia w zakresie 0,3-0,6 MPa, powodowało przemieszczenie się iglicy i otwarcie wylotu z dyszy. Parametry pracy dyszy w konfiguracji K3, zawarto w tabeli 1, a rozkład frakcyjny kropeł w wytwarzanym strumieniu zraszającym dla ciśnienia 0,6 MPa, pokazano na rysunku 7.



Rys. 7. Rozkład frakcyjny kropeł w wytwarzanym strumieniu zraszającym dla wartości ciśnienia 0,6 MPa (woda i powietrze) - dysza samoczyszcząca w konfiguracji K3 [11, 12]

Dla konfiguracji dyszy K2 i K3 rozkład częstości występowania średnic kropeł w przedziałach średnic ustalonych w oprogramowaniu analizatora oraz krzywa skumulowana są do siebie bardzo zbliżone. Konfigurację dyszy K1 cechuje strumień o rozkładzie bardziej jednorodnym jednak ze znacznie wyższą wartością średniej wielkości kropli.

4. Omówienie wyników badań

Podczas analizy wyników badań dyszy drobnokropliczej skupiono się na parametrach jakościowych strumienia zraszającego. Jako parametr dobrze opisujący generowany strumień przyjęto średnicę Sautera **D(32)**. W celu właściwego doboru dyszy do systemu zraszającego zaproponowano wprowadzenie do praktyki inżynierskiej dodatkowego parametru opisującego strumień zraszający w formie powierzchni absorpcji wytwarzanych kropeł. Parametr ten opisano w trzech wariantach:

1. **PA/T** - powierzchnia absorpcji wszystkich kropeł w strumieniu zraszającym wytworzonych w czasie 60 s.
2. **PA/W** - powierzchnia absorpcji wszystkich kropeł w strumieniu zraszającym wytworzonych przy rozpyleniu 1 dm³ wody.
3. **PA/P** - powierzchnia absorpcji wszystkich kropeł w strumieniu zraszającym wytworzonych przy użyciu sprężonego powietrza o objętości 1 Nm³.

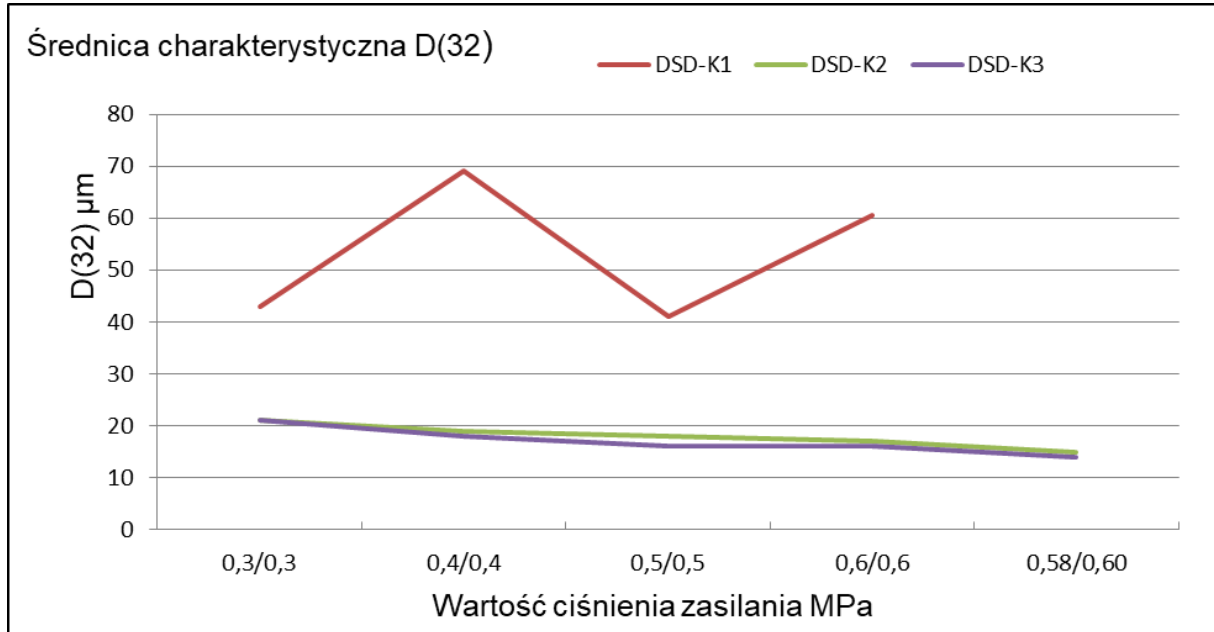
Powierzchnię absorpcji obliczono na podstawie zmierzonych wielkości średnich kropeł **D(32)** oraz zużycia wody i sprężonego powietrza. Wyniki przedstawiające zmianę wartości poszczególnych parametrów w zależności od wartości ciśnienia zasilania przedstawiono w tabeli 1.

Wyniki badań różnych typów dysz samoczyszczących-drobnokropliczych [12]

Tabela 1

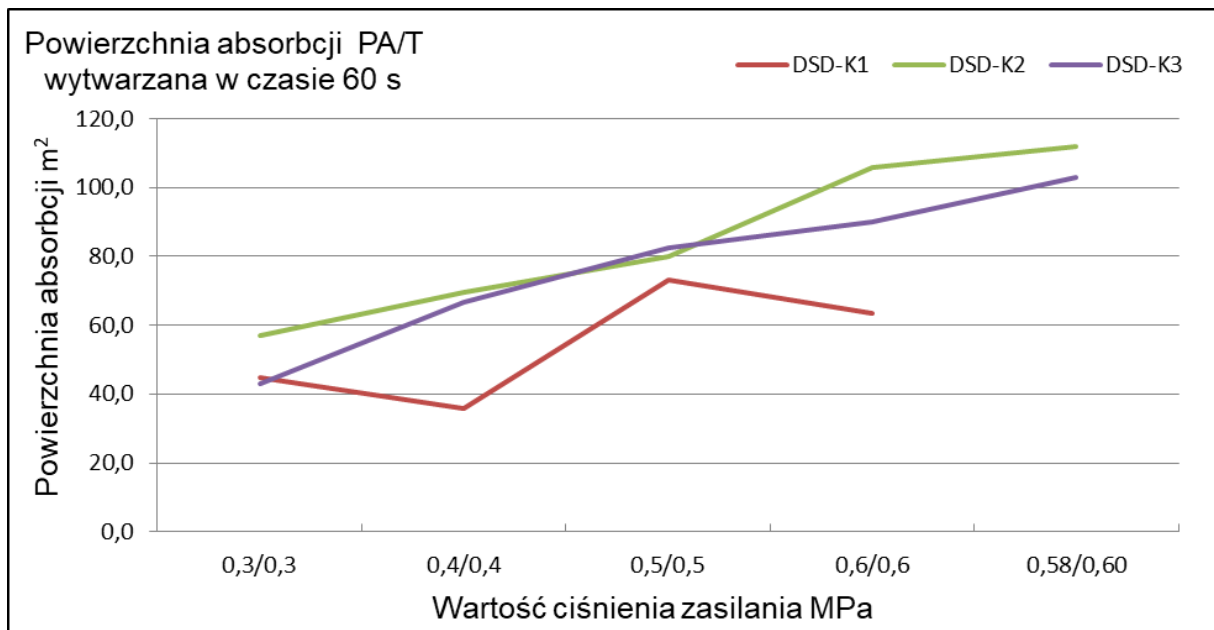
Parametry strumienia dyszy:							
<ul style="list-style-type: none"> • DSD – K1 - konfiguracja 1- 3x otwór o średnicy 0,8 • DSD – K2 - konfiguracja 2- 1x otwór o średnicy 0,8, bez iglicy czyszczącej, • DSD –K3 -samoczyszcząca konfiguracja 3- 1x otwór o średnicy 0,8, z iglicą czyszcząca 							
Typ dyszy	Ciśnienie mediów zasil. [woda/powietrze] [MPa/MPa]	Natężenie przepływu wody [dm ³ /min]	Natężenie przepływu powietrza [Nm ³ /min]	Średnica D (32) [μm]	Powierzchnia absorpcji PA/T [m ²]	Powierzchnia absorpcji PA/W [m ²]	Powierzchnia absorpcji PA/P [m ²]
DSD-K1	0,3/0,3	0,32	0,042	43	44,7	139,5	1063,1
	0,4/0,4	0,41	0,062	69	35,7	87,0	575,0
	0,5/0,5	0,5	0,72	41	73,2	146,3	101,6
	0,6/0,6	0,64	0,081	60,5	63,5	99,2	783,6
DSD-K2	0,3/0,3	0,2	0,072	21	57,1	285,7	793,7
	0,4/0,4	0,22	0,103	19	69,5	315,8	674,5
	0,5/0,5	0,24	0,129	18	80,0	333,3	620,2
	0,6/0,6	0,3	0,181	17	105,9	352,9	585,0
	0,58/0,60	0,28	0,179	15	112,0	400,0	625,7
DSD-K3	0,3/0,3	0,15	0,059	21	42,9	285,7	726,4
	0,4/0,4	0,2	0,089	18	66,7	333,3	749,1
	0,5/0,5	0,22	0,116	16	82,5	375,0	711,2
	0,6/0,6	0,24	0,144	16	90,0	375,0	625,0
	0,58/0,60	0,24	0,142	14	102,9	428,6	724,3

Na podstawie zawartych w tabeli 1 opracowano wykresy porównawcze dla wszystkich przebadanych konfiguracji dysz samoczyszczących. Na rysunku 8 przedstawiono wykres zmian podstawowego parametru jakościowego strumienia **D(32)** w zależności od wartości ciśnienia mediów zasilających.



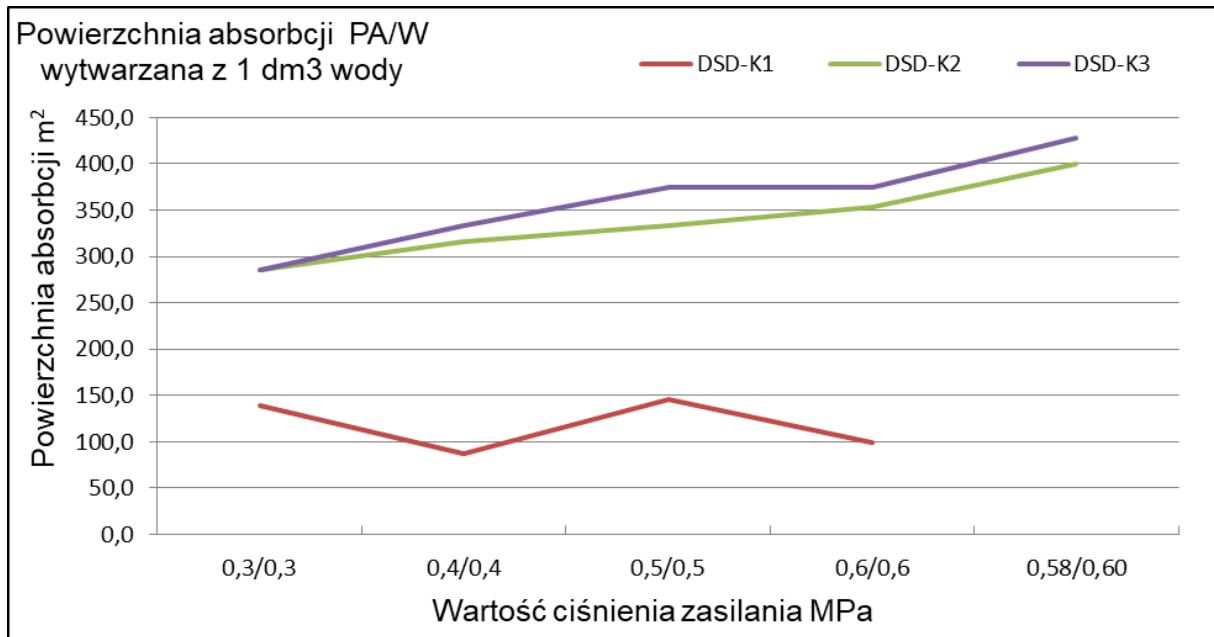
Rys. 8. Średnica charakterystyczna D(32) w zależności od wartości ciśnienia mediów zasilających [12]

Na rysunku 9 przedstawiono wykres zmian powierzchni absorpcji PA/T w zależności od wartości ciśnienia mediów zasilających.



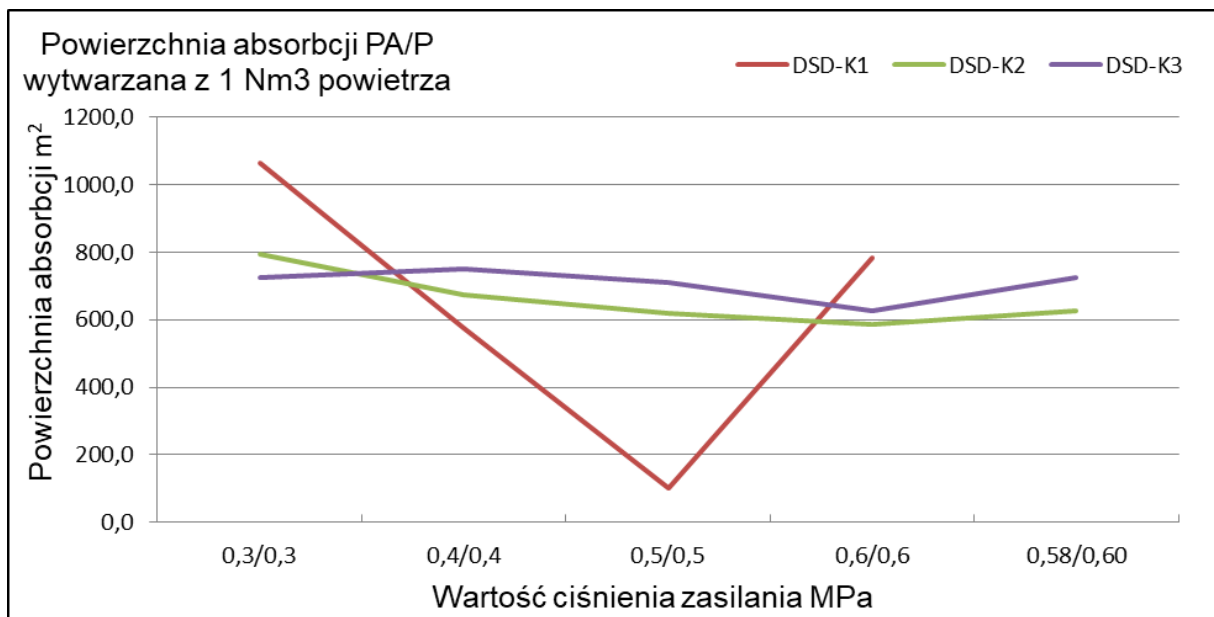
Rys. 9. Powierzchnia absorpcji PA/T w zależności od wartości ciśnienia mediów zasilających [12]

Na rysunku 10 przedstawiono wykres zmian powierzchni absorpcji PA/W w zależności od wartości ciśnienia mediów zasilających.



Rys. 10. Powierzchnia absorpcji PA/W w zależności od wartości ciśnienia mediów zasilających [12]

Na rysunku 11 przedstawiono wykres zmian powierzchni absorpcji PA/P w zależności od ciśnienia mediów zasilających.



Rys. 11. Powierzchnia absorpcji PA/P w zależności od ciśnienia mediów zasilających [12]

Na podstawie otrzymanych wyników badań można stwierdzić, iż:

- egzemplarz badawczy samoczyszczącej dyszy drobnokroplistej działał w sposób poprawny (otwierał się podczas działania i zamykał po odcięciu mediów zasilających),
- uzyskano wysoki stopień rozdrobnienia strumienia zraszającego, w wyniku zastosowania tylko jednego otworu wlotowego wody o średnicy 0,8 mm,
- stwierdzono nieznaczny wpływ iglicy na rozkład wartości średnicy charakterystycznej $D(32)$,

- dysza z trzema otworami wlotowymi wody o średnicy 0,8 mm, w tym samym czasie, generowała taką samą powierzchnię absorpcyjną jak dysza z jednym otworem wlotowym wody o średnicy 0,8 mm, której zużycie wody było ok. $\sim 2 \div 2,5$ razy większe.

5. Podsumowanie

W efekcie prac konstrukcyjnych i badawczych w Instytucie KOMAG opracowano innowacyjne rozwiązanie dyszy samoczyszczącej umożliwiającej generowanie strumienia drobnokroplistego (poniżej 20 μm). Istotą rozwiązania jest przesuwana iglica otwierająca i zamykająca wylot z dyszy w celu jej zabezpieczenia przed wnikaniem zanieczyszczeń z zewnątrz. Praca iglicy uzależniona jest od działania tłoczka sterowanego sprężonym powietrzem.

Podczas badań sprawdzono kilka wariantów wykonania dyszy, przeprowadzając pomiary rozkładu frakcyjnego kropeł. Kluczowym elementem do uzyskania drobnokroplistego strumienia było zastosowanie zmniejszonych powierzchni wlotowych wody.

Badania wykazały, iż opracowana dysza działa w poprawny sposób i umożliwia generowanie drobnokroplistego strumienia zraszającego. Wyniki badań analizowano pod kątem rozkładu frakcyjnego kropeł w wytwarzanym strumieniu. Jako główny parametr opisujący stopień rozdrobnienia kropeł generowanego strumienia przyjęto średnicę Sautera $D(32)$. Dodatkowo, opracowano i zaproponowano wprowadzenie parametru opisującego wywarzany strumień zraszający w formie powierzchni absorpcji wytwarzanych kropeł.

Prace badawczo-rozwojowe dotyczące drobnokroplistych dysz samoczyszczących będą kontynuowane pod kątem udoskonalenia rozwiązania oraz stworzeniu typoszeregu dysz. Zaproponowane parametry, opisujące powierzchnię absorpcji kropeł w generowanym strumieniu należy, zdaniem autorów, umieszczać w kartach katalogowych dysz, gdyż dostarczają one informacji o parametrach pracy dysz, a pośrednio o ich skuteczności redukcji zapylenia. Parametr ten, zdaniem autorów, będzie ułatwiał projektantom i użytkownikom systemów zraszających dobór odpowiedniego typu dyszy do projektowanej instalacji zraszającej.

Literatura:

- [1] Bałaga D., Jaszczuk M.: Wpływ parametrów strumienia zraszającego na redukcję zapylenia generowanego przez kombajn ścianowy. Prace Naukowe - Monografie KOMAG nr 47. Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2016 s. 1-107. ISBN 9788360708934
- [2] Bałaga D., Jedziniak M., Kalita M., Siegmund M., Szkudlarek Z.: Metody i środki zwalczania zagrożeń pyłowych i metanowych w górnictwie węglowym. Maszyny Górnicze 2015 nr 3 s. 68-81
- [3] Bałaga D., Prostański D., Rojek P., Mentlik K., Wiśniarz D.: Wdrożenie instalacji zraszającej powietrzno wodnej kombajnu KSW 460NE w KWK PNIÓWEK w ścianie W 10. W: Materiały na konferencję: TUR 2007, V Międzynarodowa Konferencja Techniki Urabiania 2007 "Nowoczesne metody eksploatacji węgla i skał zwięzłych", Kraków Krynica, wrzesień 2007 s. 247 257

- [4] Bałaga D., Siegmund M., Kalita M.: Powietrzno-wodny system redukcji zapylenia na instalacji podawania węgla w Elektrowni "Łagisza". W: Problemy eksploatacji i zarządzania w górnictwie. Redakcja naukowa: dr hab. inż. Krzysztof Kotwica, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, Kraków 2017 s. 27-36
- [5] Libera K., Puchała B., Prostański D., Bałaga D.: System powietrzno-wodnej instalacji zraszającej w kombajnach chodnikowych produkcji REMAG-u. Maszyny Górnicze 2010 nr 2 s. 19-24
- [6] Prostański D.: Zraszanie powietrzno-wodne jako metoda ograniczenia zagrożenia zapłonem metanu i wybuchem pyłu węglowego oraz redukcji zapylenia powietrza. Prace Naukowe - Monografie KOMAG nr 51. Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2017 s. 1-193. ISBN 9788365593078
- [7] Libera K., Puchała B., Prostański D., Bałaga D.: System powietrzno-wodnej instalacji zraszającej w kombajnach chodnikowych produkcji REMAG-u. Maszyny Górnicze 2010 nr 2 s. 19-24
- [8] Orzechowski Z., Prywer J.: Rozpylanie cieczy. Wydawnictwo Naukowo Techniczne wyd. II, Warszawa 1991. ISBN 8320413788
- [9] Orzechowski Z., Prywer J.: Wytwarzanie i zastosowanie rozpylonej cieczy. Wydawnictwo Naukowo Techniczne. Warszawa 2008. ISBN 9788320434163
- [10] Zbrożek P., Prasula J.: Wpływ wielkości średnic kropli mgły wodnej na efektywność tłumienia pożarów i chłodzenie. Bezpieczeństwo i Technika pożarnicza, 2009 nr 3 s. 113-148
- [11] Rybka A., Modzelewski G., Talarek M.: Badania powietrzno-wodnych dysz zraszających. Sprawozdanie Laboratorium Badań Stosowanych Nr 247/BT/2017 (materiały niepublikowane)
- [12] Siegmund M.: Drobnokroplista, samoczyszcząca dysza powietrzno-wodna. Sprawozdanie z realizacji pracy statutowej EM-EM17-22485/OR. Gliwice 2017 (materiały niepublikowane)

Czy wiesz, że

...dobra koniunktura na rynku węgla napędza obroty firm zaplecza górniczego. Najbardziej liczący się gracz na polskim rynku – FAMUR – szykuje się do zagranicznej akwizycji. Jak wynika z prognoz firmy, największego krajowego producenta maszyn górniczych, w 2018 r. inwestycje firm wydobywczych w Polsce wzrosną do 4,5 mld zł i będą o 48% wyższe niż przed rokiem. Taki poziom nakładów ma się utrzymać co najmniej do 2020 r. Rosną także górnicze inwestycje w skali globalnej – średniorocznie o 6%, aż osiągną 176 mld dol. w 2021 r. Wzrost inwestycji w górnictwie już widać w wynikach dostawców maszyn i urządzeń dla kopalń. FAMUR w I połowie 2018 r. osiągnął ponad 1 mld zł przychodów, czyli dwa razy więcej niż rok temu. Poprawę wyników finansowych odczuwają też mniejsze spółki. Fabryka Sprzętu i Narzędzi Górniczych FASING wypracowała w I półroczu 107,4 mln zł (o 19% więcej niż w 2017 r.). Z kolei producent maszyn górniczych PATENTUS w I półroczu zanotował wzrost przychodów o 48% (do 54,1 mln zł), a także poprawę zysku netto o 57% (do 3,7 mln zł).

Rzeczpospolita 2018 27 września s. A 26

Hydrauliczna obudowa ratownicza do stosowania w warunkach zagrożeń naturalnych

dr inż. Marek Szyguła
dr inż. Krzysztof Mazurek
Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Hydraulic rescue support to be used in areas threatened by natural hazards

Streszczenie:

W artykule omówiono rodzaje obudowy stosowanej w ratownictwie górniczym. Przedstawiono innowacyjne rozwiązania nowej obudowy dla ratownictwa górniczego jak również możliwości zastosowania jej elementów w ratownictwie technicznym.

Słowa kluczowe: ratownictwo górnicze, obudowa ratownicza

Keywords: mine rescue work, rescue support

Abstract:

Types of roof supports used in the mine rescue actions are discussed. Innovative solutions of new roof supports for mine rescue work and possibilities of using its components in technical rescue are presented.

1. Wprowadzenie

W górnictwie podziemnym występują zjawiska, związane z zagrożeniami naturalnymi, zwłaszcza dynamiczne, prowadzące do destrukcji wyrobisk eksploatacyjnych jak i udostępniających. Ryzyko wypadku spowodowanego uszkodzeniem obudowy wyrobiska chodnikowego jest - w porównaniu z ryzykiem występującym w ścianach - znacznie wyższe, ze względu na niższą podporność i odporność na obciążenie dynamiczne obudowy chodnikowej. W przypadku tąpnięć dochodzi najczęściej do znacznego, a nawet całkowitego zaciśnięcia chodnika zarówno od stropu jak i od spągu. Powstaje gruzowisko, w którym rozmieszczone mogą być przypadkowo elementy obudowy chodnika, maszyn, rurociągów itp. Gruzowisko może pochłonąć ludzi lub odciąć im drogę wycofywania z rejonu zagrożenia, jak również odciąć dopływ powietrza, niezbędnego do przetrwania w oczekiwaniu na akcję ratunkową. Tragicznym przykładem takiego zdarzenia jest niedawne tąpnięcie w kopalni Borynia-Zofiówka-Jastrzębie Ruch Zofiówka (05.05.2018), w którym w zawalonym chodniku śmierć poniosło pięciu górników [7]. Wg statystyk podawanych przez Wyższy Urząd Górniczy, w latach 2008 do 2017 r. w Polsce miało miejsce 47 znaczących tąpnięć, z czego 21 w kopalniach węgla kamiennego i 26 w kopalniach miedzi. W wyniku tych zdarzeń śmierć poniosło 25 górników, a 210 zostało rannych [7].

Uwzględniając powyższe, bardzo istotnym czynnikiem wpływającym na bezpieczeństwo pracy załóg górniczych jest zatem możliwość szybkiego udzielania pomocy w wyniku zaistniałych zdarzeń losowych. Dotarcie do zagrożonej załogi często wymaga wykonania w gruzowisku wyrobiska (chodnika) ratowniczego i zabezpieczenia go obudową zapewniającą ratownikom oraz osobom poszkodowanym możliwie największe bezpieczeństwo [1, 6]. Obudowa chodnika ratowniczego powinna charakteryzować się prostą konstrukcją i niską masą, umożliwiającą szybki montaż, gdyż jej elementy z reguły transportowane są ręcznie. Chodnik ratowniczy może być prowadzony w bardzo różnych warunkach geologiczno-górniczych i w otoczeniu skał o zmiennym rozdrobnieniu. Może wystąpić konieczność prowadzenia chodnika przez lokalną pustkę, co stwarza dodatkowe zagrożenie uderzeniami opadających skał. W przypadku drażenia tunelu w skałach silnie

rozdrobionych obudowa powinna zabezpieczyć wyrobisko przed dostawaniem się rumoszu skalnego do strefy, którą osłania. Chodnik ratowniczy może mieć zmienny kształt i kierunek, co jest uwarunkowane rodzajem gruzowiska, w którym jest prowadzony, usytuowaniem w gruzowisku elementów zniszczonej obudowy chodnikowej, maszyn, urządzeń czy też ich podzespołów. Obudowa chodnika ratowniczego powinna być również w pewnym stopniu odporna na oddziaływanie dynamiczne górotworu w wyniku wstrząsów wtórnych oraz niestabilizowanego ruchu skał. Powyższe czynniki sprawiają, że zarówno gabaryty przekroju chodnika ratowniczego, jak i jego kierunek mogą ulegać nieplanowanym zmianom. Należy się również liczyć z koniecznością zastosowania kilku różnych rodzajów obudowy.

2. Rodzaje obudowy stosowanej w ratownictwie górniczym

Podstawowym rodzajem obudowy chodnikowej stosowanej w ratownictwie górniczym jest obudowa prosta drewniana. Jej odrzwia zbudowane są ze stojaków drewnianych i drewnianej stropnicy ułożonej na stojakach. Podczas akcji ratowniczej przygotowuje się na bieżąco elementy odrzwi o odpowiedniej długości, zależnej od warunków w jakich prowadzony jest chodnik. Stosunkowo niewielka masa elementów oraz dostępność drewna to podstawowe, ale raczej jedyne zalety tego typu obudowy. Jej wadą jest brak możliwości zadania podporności wstępnej odrzwi, co może skutkować niestabilnym ich zachowaniem. Pewną trudność sprawia natomiast konieczność starannego przygotowania końców stojaków, mających bezpośredni kontakt z belką stropnicową. O wytrzymałości odrzwi drewnianych decyduje wytrzymałość na zginanie belki stropnicowej. Stojaki ze względu na właściwą współpracę z belką stropnicową mają zbliżoną średnicę. Drewno ma wielokrotnie wyższą wytrzymałość na ściskanie wzdłużne niż na zginanie. W efekcie wytrzymałość stojaków, w zależności od ich rozstawu, może nawet dziesięciokrotnie przewyższać wytrzymałość belki stropnicowej [3].

Od dawna stosowana jest również w ratownictwie górniczym obudowa prosta metalowa. Jedną z pierwszych tego typu konstrukcji była obudowa firmy Salzgitter-Dowty (rys. 1).



Rys. 1. Odrzwia obudowy chodnika ratowniczego ze stojakami firmy Salzgitter-Dowty [2]

Zastosowano w niej stojaki hydrauliczne z pompą wewnętrzną, wykonane ze stali oraz częściowo ze stopu aluminium. Na stojakach układane są belki stropnicowe drewniane lub stropnice wykonane ze stopu aluminium o podwyższonej wytrzymałości. Stojaki takie nadal

są używane w akcjach ratowniczych. Ze względu na możliwość wytworzenia iskry zapalającej przy uderzeniu przedmiotem stalowym, ze śladami korozji, w powierzchnię elementu stojaka wykonanego z aluminium, nie można stosować w warunkach zagrożenia metanowego. O wyposażeniu ratowników decyduje jednak kierownik akcji ratowniczej i może zdecydować na użycie takich stojaków w każdych warunkach. W przypadku wspomnianej akcji ratowniczej prowadzonej niedawno w ruchu Zofiówka, użycie tego rodzaju obudowy ratowniczej wiązałoby się z dodatkowym dużym ryzykiem, ze względu na długo utrzymujące się wysokie i zmienne stężenie metanu.

W stojaku firmy Salzgitter zastosowano dwustopniową ręczną pompę wewnętrzną, umożliwiającą uzyskanie podporności wstępnej stojaka o wartości zbliżonej do jego podporności roboczej, która wynosi 250 kN. O podporności roboczej stojaka decyduje zawór przelewowy o bardzo małym nominalnym natężeniu przepływu. Z tego względu stojak nie jest odporny na obciążenie dynamiczne. Stojaki Salzgitter są użytkowane od wielu lat i stacje ratownicze mają coraz większe problemy z utrzymaniem ich sprawności.

Na przestrzeni lat były konstruowane również inne rozwiązania obudowy i części do obudowy ratowniczej np. stojaki RSH-1 (GIG), wyposażone w zamknięty, wewnętrzny obieg medium hydraulicznego i własną pompę, obudowa ratownicza K-400 (KOMAG), z dedykowaną stropnicą i stojakami wykonanymi ze stopów aluminium, za wyjątkiem elementów zaworowych, działającymi na podobnych zasadach co RSH-1. W uzasadnionych przypadkach stosowana była również obudowa tubingowa (KOMAG), szczególnie przydatna w warunkach występowania skał o niskiej zwięzłości i chroniąca chodnik przed bezpośrednim wpływem gazów z otaczających skał oraz obudowa ŁPrP/4 (Huta Łabędy), wykorzystująca kształtowniki typu V, przydatna w warunkach stabilnych skał otaczających [4].

3. Nowa obudowa dla ratownictwa górniczego

W Instytucie Techniki Górniczej KOMAG podjęto prace nad kompleksowym wyposażeniem ratowników górniczych w nowoczesne urządzenia poprawiające ich warunki pracy i bezpieczeństwo. Podstawowym elementem tego wyposażenia jest nowe, kompletne rozwiązanie obudowy chodnika ratowniczego.

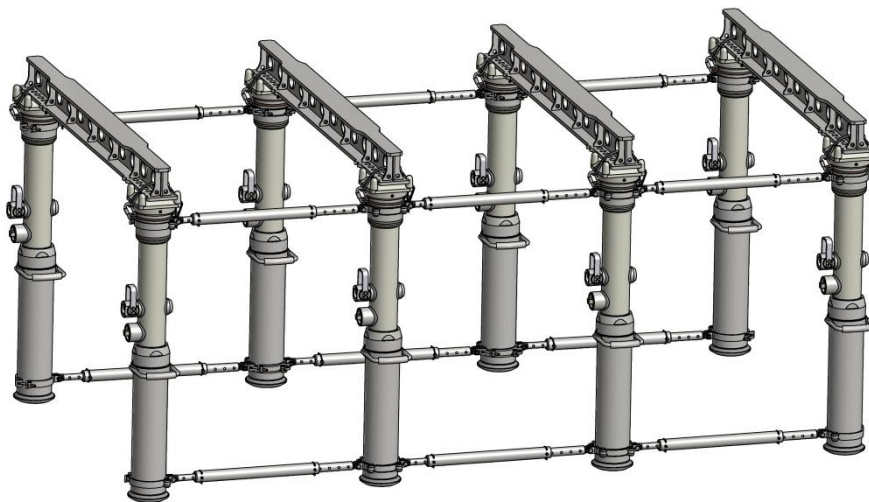
Obudowa ratownicza HOR-01 (rys. 2.) powstała w wyniku realizacji części projektu europejskiego INREQ. Na komplet obudowy składają się stalowe stropnice, stojaki hydrauliczne z własną pompą wewnętrzną i zamkniętym obiegiem medium hydraulicznego (SHR-700 i SHR-960), układ stabilizacji sąsiednich odrzwi oraz elementy przeciwdziałające odrywaniu stropnicy od głowicy koronowej stojaka, w przypadku braku obciążenia stropnicy (przechodzenie przez pustki). Obudowa może być stosowana w rejonach zagrożonych i niezagrożonych wstrząsami górotworu, a także w wyrobiskach zagrożonych wybuchami gazów i pyłów.

Podstawowe parametry techniczne obudowy HOR-01 przedstawiono w tabeli 1.

Charakterystyka techniczna pojedynczych odrzwi obudowy ratowniczej HOR-01 [5]

Tabela 1

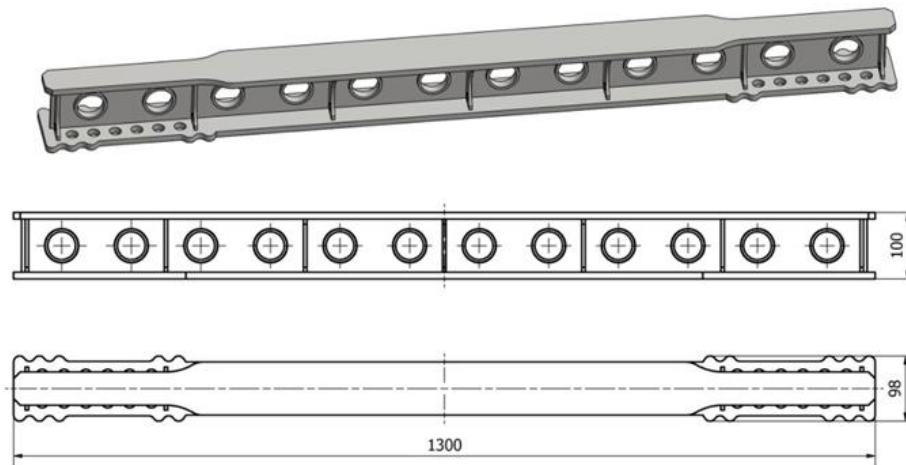
Parametr	Wartość
Długość stropnicy [mm]	1300
Wysokość ze stojakiem SHR-700 [mm]	800÷1100
Wysokość ze stojakiem SHR-960 [mm]	1060÷1400
Rozstaw stojaków (osi stojaków) [mm]	720÷1140
Podporność wstępna [kN]	do 300
Podporność robocza [kN]	600
Ciśnienie robocze stojaka [MPa]	47
Masa stropnicy [kg]	20
Masa zespołu stabilizatorów [kg]	13
Masa ze stojakiem SHR-700 [kg]	93
Masa ze stojakiem SHR-960 [kg]	103
Temperatura stosowania [°C]	-15 ÷ +50
Medium robocze	HYDROMIL SUPER L-HV 32, HYDRAX HLP 32, HYDROL L-HM/HLP 32



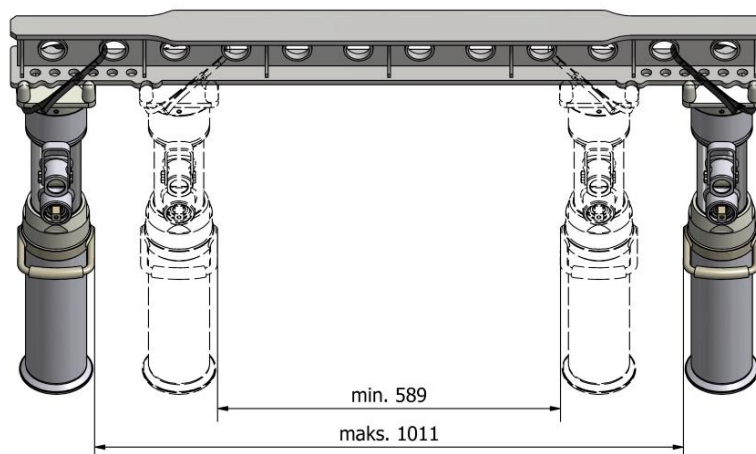
Rys. 2. Obudowa ratownicza HOR-01 [6]

Konstrukcję stropnicy (rys. 3.) zoptymalizowano pod względem wytrzymałościowym. Zastosowano blachy podstawowe ze stali o granicy plastyczności 1100 MPa, elementy pomocnicze (żebra), ze stali o granicy plastyczności 460 MPa oraz otoczki otworów dla elementów podłużnej ochrony stropu ze stali o granicy plastyczności 355 MPa. W ten sposób uzyskano wysoką wytrzymałość stropnicy, odpowiednią dla zastosowanych stojaków, przy stosunkowo niskich kosztach wytworzenia oraz niską masę tak ważną przy ręcznym transporcie elementów. Masa stropnicy wynosi zaledwie 20 kg, przy całkowitej podporności podpierających ją stojaków wynoszącej 600 kN. Kształt stropnicy zoptymalizowano również pod względem funkcjonalnym. Postać konstrukcyjna stropnicy wyraźnie wskazuje zalecany obszar jej współpracy z głowicami stojaków. Podparcie stropnicy w tym obszarze ułatwia jej pozycjonowanie na stojaku i wstępnie stabilizuje stropnicę względem stojaka oraz umożliwia regulację szerokości budowanych odrzwi w zakresie 210 mm, co 30 mm z każdej strony (rys. 4.). Istnieje oczywiście możliwość podparcia stropnicy poza obszarem pozycjonowania.

W otwory wykonane w środku stropnicy mogą być wsuwane pręty ułatwiające wyprzedzające podparcie i zabezpieczenie stropu dążonego chodnika.



Rys. 3. Stropnica obudowy ratowniczej HOR-01 [5]



Rys. 4. Obszar pozycjonowania stojaka względem stropnicy [5]

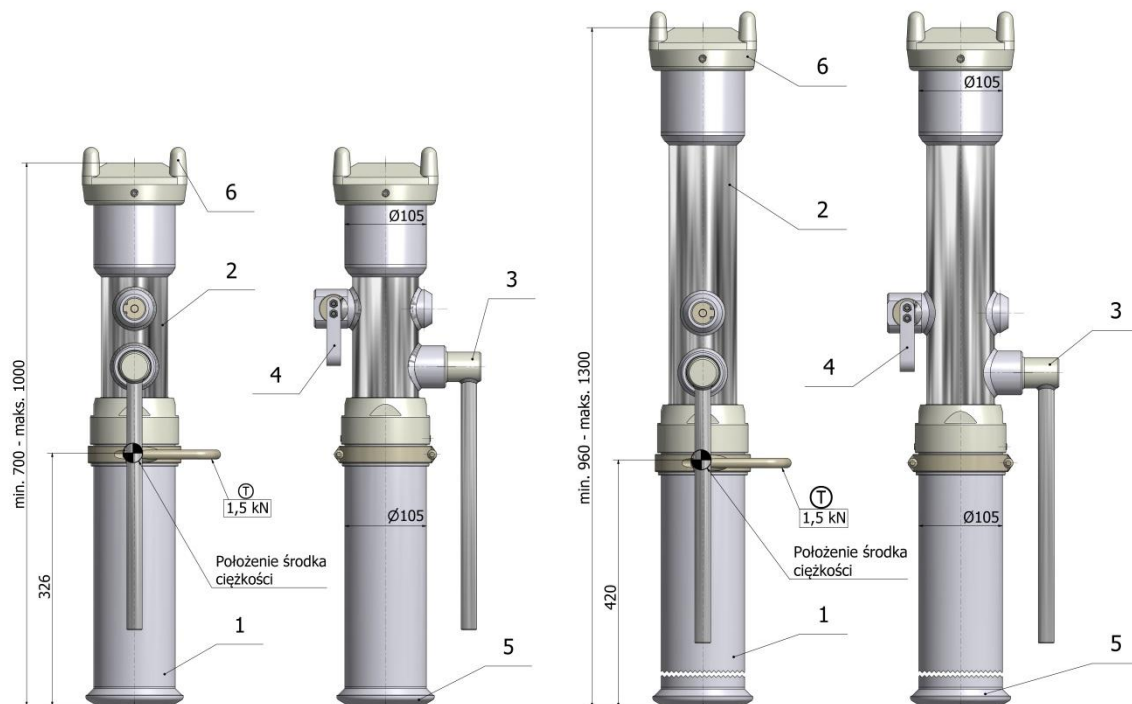
W stojakach (rys. 5.) zastosowano rozwiązanie gwarantujące szybką reakcję i skuteczność działania stojaka, w przypadku obciążenia dynamicznego. W układzie pompowym stojaków, napędzanym dźwignią ręczną, zastosowano dwa stopnie hydrauliczne. Pierwszy pozwala na szybkie wysunięcie rdzennika na wymaganą długość, natomiast drugi zapewnia uzyskanie podpórności wstępnej na poziomie 150 kN. Wielkość podpórności wstępnej jest ograniczona zaworem przelewowym układu pompowego. Działanie obu stopni pompy wybierane jest automatycznie. Podpórność robocza stojaka wynosi 300 kN i jest zabezpieczona zaworami przelewowymi o dużej wydajności. Stojak opracowano w dwóch wariantach długości - SHR-700 i SHR-960

Podstawowe parametry techniczne stojaków obudowy HOR-01 przedstawiono w tabeli 2.

Charakterystyka techniczna stojaków SHR-700 i SHR-960 [5]

Tabela 2

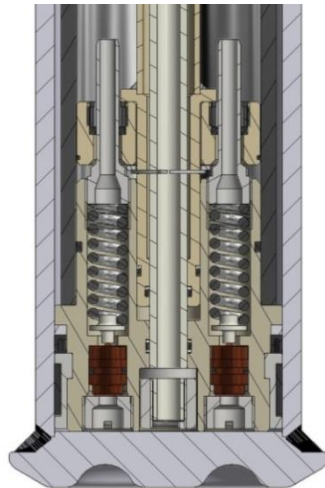
Parametr	Wartość	
	SHR-700	SHR-960
Długość minimalna [mm]	700	960
Długość maksymalna [mm]	1000	1300
Ciśnienie wstępne [MPa]	24	24
Ciśnienie robocze [MPa]	47	47
Podporność wstępna [kN]	150	150
Podporność robocza [kN]	300	300
Skok hydrauliczny [mm]	300	340
Masa [kg]	30	35
Objętość medium roboczego [dm ³]	2,05	2,3
Temperatura stosowania [°C]	-15 ÷ +50	-15 ÷ +50
Medium robocze	HYDROMIL SUPER L-HV 32, HYDRAX HLP 32, HYDROL L-HM/HLP 32	



Rys. 5. Stojaki hydrauliczne SHR-700 i SHR-960 [6]

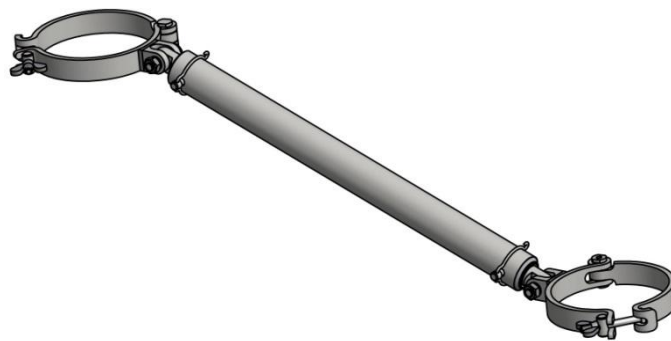
1 - cylinder, 2 - rdzennik kompletny, 3 - dźwignia zespołu tłokowo-pompowego,
4 - dźwignia rabowania, 5 – stopa, 6 - głowica koronowa

W celu uzyskania wysokiej odporności na obciążenie dynamiczne, w stojaku zastosowano dwa zawory przelewowe, ograniczające podporność roboczą, umieszczone bezpośrednio w tłoku (rys. 6). Konstrukcja zaworów umożliwia, w krótkim czasie, upuszczenie oleju z przestrzeni podtłokowej, bezpośrednio do części zbiornikowej stojaka, omijając mechanizm pompowy.



Rys. 6. Zawory zabezpieczające stojak przed przeciążeniem [4]

Komplet obudowy wyposażono w stabilizatory odrzwi, umożliwiające ich ustawianie w przypadku braku kontaktu ze stropem i braku możliwości wstępnego rozparcia stojaków. Pojedynczy stabilizator składa się z dwóch obejm, zakładanych na stojaki sąsiednich odrzwi, połączonych łącznikiem o zmiennej długości (rys. 7). Długość łącznika regulowana jest w zakresie 427 do 997 mm, z krokiem 30 mm (rys. 8). Ponadto, stropnica może zostać przypięta do głowicy koronowej stojaka uniwersalną opaską zaciskową, co zapobiega jej oderwaniu od głowicy koronowej w przypadku uderzeniu skały w nierozparte odrzwia obudowy.



Rys. 7. Układ stabilizacji odrzwi [opracowanie własne]



Rys. 8. Łącznik układu stabilizacji odrzwi [opracowanie własne]

Dla obu wersji stojaków i kompletnej obudowy zostały wydane certyfikaty zgodności, stwierdzające spełnienie wymagań norm związanych z bezpieczeństwem urządzenia oraz bezpieczeństwem jego użytkowania w atmosferze wybuchowej.

Kompletny zestaw kilku odrzwi obudowy ratowniczej HOR-01 przetestowano w chodniku badawczym Centralnej Stacji Ratownictwa Górniczego w Bytomiu (rys. 9). Testy

potwierdziły łatwość montażu drzwi, funkcjonalność układu pompowego oraz skuteczność układu stabilizacji.



Rys. 9. Obudowa ratownicza HOR-01 w chodniku badawczym [8]

4. Możliwości rozszerzenia zastosowania nowej obudowy ratowniczej

Obudowa ratownicza HOR-01 opracowano z przeznaczeniem dla ratownictwa górniczego, na podstawie konsultacji z doświadczonymi ratownikami górniczymi. Jej stosowanie nie musi być ograniczone tylko do górnictwa. Notuje się bowiem wiele wydarzeń nie związanych z górnictwem podziemnym, a wymagających podjęcia akcji ratowniczej, w której przydatnym elementem może być obudowa HOR-01, jak również jej stojaki. Są to wydarzenia związane np. z katastrofami technicznymi, budowlanymi lub naturalnymi. W prowadzonych akcjach ratowniczych często zachodzi potrzeba podparcia lub uniesienia elementów konstrukcyjnych zawalonych obiektów w celu dotarcia do ofiar uwięzionych pod gruzami. Często nie ma możliwości użycia narzędzi z zasilaniem wymagającym dostarczenia energii zewnętrznej (elektrycznej, hydraulicznej lub pneumatycznej). W takich sytuacjach stojaki SHR obudowy ratowniczej HOR-01 mogą być użyte do podnoszenia i przesuwania ciężkich elementów oraz mogą zapewnić nawet długotrwałe, bezpieczne utrzymanie uniesionych elementów. Tej ostatniej cechy nie posiadają specjalistyczne narzędzia ratownicze typu rozpieraki kolumnowe czy nożycowe. Zespoły ratownicze nie dysponują też większą ilością tego typu narzędzi i nie mogą ich pozostawiać pod uniesionymi przedmiotami. Stojak obudowy HOR-01 dysponuje wysoką podpornością roboczą i wstępną, oraz cechuje się łagodnym zadawaniem podporności wstępnej, co ma duże znaczenie przy współpracy z materiałami kruchymi, występującymi najczęściej w przypadku katastrof budowlanych.

Pompa ręczna zastosowana w stojakach SHR umożliwia precyzyjne dozowanie podporności stojaka, co może być szczególnie pożądane w ratownictwie drogowym lub kolejowym, w przypadku konieczności łagodnego uniesienia elementu pojazdu bądź infrastruktury technicznej.

Kolejnym przykładem możliwości użycia stojaków SHR mogą być akcje ratownicze w górach lub jaskiniach, gdzie najważniejszą cechą sprzętu ratowniczego może okazać się własne, niezależne zasilanie hydrauliczne.

5. Podsumowanie

Służby ratownictwa górniczego dysponują szeregiem typów obudowy ratowniczej o bardzo różnych parametrach technicznych. Najbardziej popularne i stosowane w większości akcji w polskim górnictwie, polegających na budowie chodnika ratowniczego, są stojaki Salzgitter. Są to stojaki stare i wyeksploatowane, a ich cechy konstrukcyjne mogą w wielu przypadkach decydować o braku możliwości ich użycia w konkretnych warunkach.

Niezabezpieczona powierzchnia zewnętrzna stojaka Salzgitter, wykonana ze stopu aluminium uniemożliwia jego zastosowanie w atmosferach wybuchowych. Stojaki te nie są także odporne na oddziaływanie dynamiczne, gdyż ich zawory przelewowe (ograniczające ciśnienie), o bardzo małej przepustowości, są umieszczone w strefie stojaka, w której gwałtowny przyrost ciśnienia może nie nastąpić. Olej z przestrzeni podłokowej stojaka jest bowiem doprowadzany do zaworu przelewowego poprzez układ rurek i kanalików o małym przekroju.

W przypadku stojaków obudowy ratowniczej HOR-01 nie występują ww. ograniczenia. Masa stojaków SHR jest zbliżona do masy stojaków Salzgitter, mimo zastosowania w konstrukcji wyłącznie stali. Podporność robocza stojaków SHR jest znacznie wyższa niż podporność stojaków Salzgitter. Ponadto są one odporne na oddziaływanie dynamiczne. Stojaki SHR i obudowa ratownicza HOR-01 posiadają certyfikaty bezpieczeństwa użytkowania w atmosferze wybuchowej. Jest to rozwiązanie kompletne i stanowi nową jakość wśród typów ratowniczej obudowy górnictwa podziemnego.

Literatura

- [1] Drwięga A.: Zespół urządzeń do wykonywania przekopu ratowniczego. *Maszyny Górnicze* 2015, nr 4 s. 9-15
- [2] Mazurek K.: Koncepcja poprawy bezpieczeństwa stanowiskowego w tunelu ratowniczym. *Przegląd Górniczy* 2012, nr 12 s. 92-99
- [3] Nowak A., Pacześniowski K.: Obudowy chodników ratowniczych stosowane w polskim górnictwie, Materiały na konferencję: Nowoczesne metody i środki utrzymania wyrobisk górniczych. Konferencja naukowo-szkoleniowa, Ustroń, 1-2 czerwca 2006 r. *Prace Naukowe GIG. Konferencje* 2006 nr 51, s. 120-128
- [4] Szyguła M., Mazurek K., Kozłowski B.: Innowacyjna hydrauliczna obudowa dla ratownictwa górniczego. *Maszyny Górnicze* 2015, nr 3 s. 29-35
- [5] Instrukcja: Hydrauliczna obudowa ratownicza HOR-01, W37.011IOR, Wydanie 1. Instytut Techniki Górniczej KOMAG wrzesień 2014 (materiały niepublikowane)
- [6] Instrukcja: Stojak hydrauliczny SHR-700, Stojak hydrauliczny SHR-960, W33.047IOR, W33.048IOR, Wydanie 1. ITG KOMAG, wrzesień 2014 (materiały niepublikowane)
- [7] <http://www.wug.gov.pl/bhp/zdarzenia> (05.06.2018)
- [8] <http://www.tvn24.pl/katowice,51/akcja-w-kopalni-zostalo-ok-25-m-odwiertu-ale-tempo-prac-spadlo,539023.html> (04.05.2015)

Analiza procesu wybudowy sekcji obudowy zmechanizowanej z wyrobiska ścianowego w aspekcie bezpieczeństwa

dr inż. Jan Kania
Politechnika Śląska
dr ha. inż. Stanisław Szweda prof.
nadm. ITG KOMAG
dr inż. Marek Szyguła
Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Analysis of powered roof support withdrawal from the longwall panel in the safety aspect

Streszczenie:

Omówiono poszczególne etapy procesu wyprowadzania sekcji ścianowej obudowy zmechanizowanej z likwidowanego wyrobiska ścianowego. Uwzględniono rozwiązania techniczno-organizacyjne stosowane w różnych kopalniach. Przedstawiono przykłady technicznych urządzeń wspomagających wybudowę i wytransportowanie sekcji ze ściany. Przeanalizowano omawiane procesy w aspekcie poprawy bezpieczeństwa.

Abstract:

Stages of the powered roof support withdrawal process from the closed down longwall panel is discussed. Technical and organizational solutions used in different mines were considered. Examples of technical equipment supporting the powered roof support withdrawal from the longwall is presented. The discussed processes are analysed in the aspect of improving the operational safety.

Słowa kluczowe: górnictwo, wyrobisko ścianowe, likwidacja ściany, obudowa zmechanizowana

Keywords: mining, longwall panel, longwall panel liquidation, powered roof support

1. Wprowadzenie

Zakończenie eksploatacji wyrobiska ścianowego oraz relokacja maszyn i urządzeń wchodzących w skład kompleksu ścianowego, w szczególności sekcji obudowy zmechanizowanej, jest jednym z trudniejszych procesów technologicznych, ze względu na konieczność transportu obiektów o dużej masie i gabarytach porównywalnych z wymiarami przekroju dróg transportowych. Wykonanie tego zadania komplikują często warunki geologiczno-górnice, takie jak: wysokość wyrobiska, warunki stropowe, czy podwyższone stężenie metanu [9]. Złożoność tego procesu sprawia, że w poszczególnych zakładach górniczych, w zależności od lokalnych warunków wybudowa sekcji obudowy zmechanizowanej realizowana jest w różny sposób, biorąc pod uwagę, zarówno zastosowane wspomagające środki techniczne, jak również przebieg tego procesu.

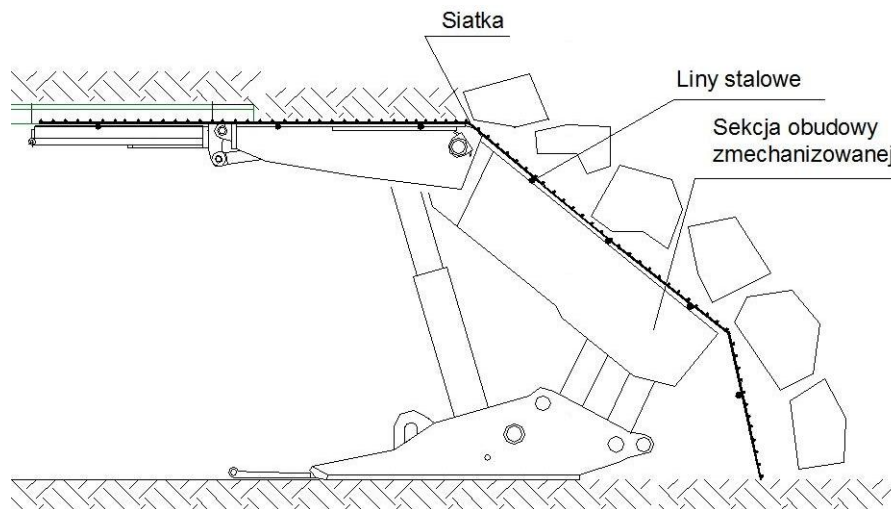
W niniejszej publikacji przedstawiono poszczególne etapy procesu wybudowy sekcji obudowy zmechanizowanej z wyrobiska ścianowego na przykładzie technologii stosowanych w dwóch wybranych zakładach górniczych. Przedstawiono dostępne środki techniczne wspomagające bezpieczną i sprawną jego realizację. Prace koncepcyjne dotyczące tej tematyki są aktualnie prowadzone w ITG KOMAG i na Politechnice Śląskiej.

2. Etapy procesu wybudowy sekcji z wyrobiska ścianowego

2.1. Czynności przygotowawcze

Proces wybudowy sekcji obudowy zmechanizowanej z wyrobiska ścianowego poprzedzają działania zabezpieczające strop wyrobiska oraz przygotowujące przestrzeń do transportu sekcji. Celem wzmocnienia spójności stropu, podczas ostatnich wykonywanych skrawów

wprowadza się na sekcje liny stalowe, układane równoległe do czoła przodka. Końce tych lin zaczepia się o podciągi, zabudowane na stropnicach obudowy chodnikowej skrzyżowań wyrobiska ścianowego z chodnikami przyległymi. Z kolei na liny układa się siatki stalowe dla zabezpieczenia stropu nad sekcjami (rys.1).



Rys. 1. Rozmieszczenie lin stalowych i siatek na sekcji obudowy [2]

Przestrzeń do transportu sekcji uzyskuje się poszerzając wyrobisko ścianowe przez kolejne skrawy kombajnem ścianowym, bez przestawiania sekcji obudowy zmechanizowanej. Celem uzyskania szerokości przedziału transportowego, wynoszącej 2.5 ÷ 3.0 m, ostatnie skrawy kombajnem wykonuje się przesuwając przenośnik ścianowy, odpięty od układów przesuwnych sekcji obudowy, za pomocą stojaków indywidualnych lub specjalnych przedłużek belek układu przesuwego [6]. W niektórych przypadkach czoło ściany urabia się za pomocą robót strzałowych.

W miarę zwiększania szerokości przedziału transportowego odsłonięty strop zabezpiecza się wysuwając znad stropnic sekcji prostki drewniane lub stalowe o profilu V, założone wcześniej na stropnicach sekcji obudowy zmechanizowanej (rys. 2). Przy czołe ściany prostki podpira się stojakami drewnianymi lub stalowymi. Stojaki te łączy się podciągami równoległymi do calizny węglowej. Nad prostki i za stojaki układa się siatki stalowe. Szczegółowy opis zabezpieczenia stropu, przedstawiony na rysunku 2, zamieszczono w projekcie technicznym likwidacji ściany C-4. KWK Jankowice, Rybnik 2012 [11].

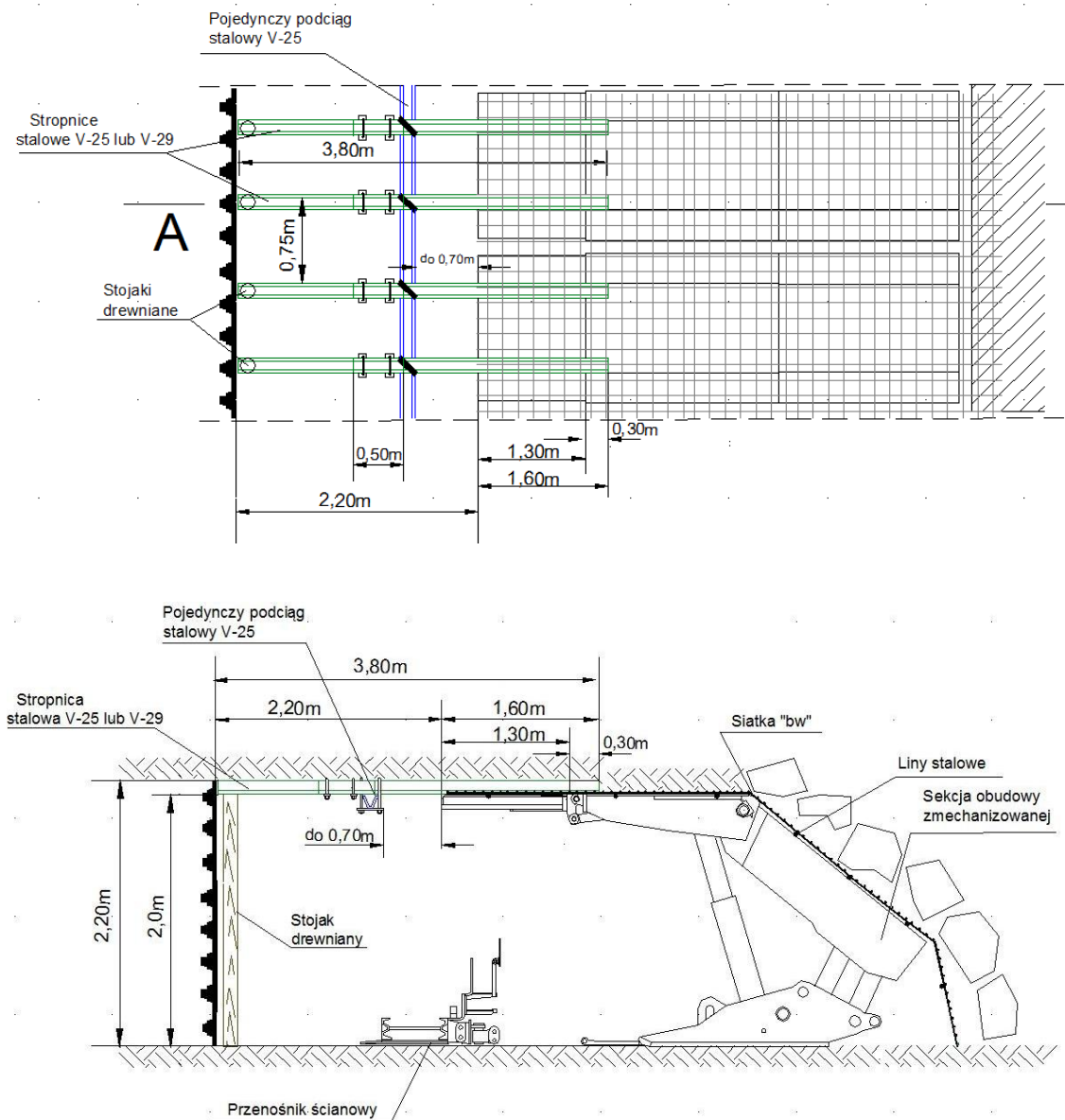
Po uzyskaniu wymaganej szerokości pola transportowego demontuje się kombajn i przenośnik ścianowy, a następnie obie maszyny transportuje się ze ściany. Wszystkie prace związane z obudową wyrobiska wykonywane są ręcznie, przy minimalnym wykorzystaniu wspomagających środków technicznych. Pogorszenie poziomu bezpieczeństwa w trakcie tych operacji jest spowodowane koniecznością prowadzenia robót pod częściowo osłoniętym stropem oraz znaczną masą transportowanych elementów maszyn.

2.2. Wybudowa sekcji obudowy zmechanizowanej z szeregu na przykładzie wybranych zakładów górniczych

W KWK ROW Ruch Jankowice [11] wyprowadzanie sekcji obudowy zmechanizowanej ze ściany prowadzone jest po wzniosie, w kierunku chodnika nadścianowego. W związku z tym

w chodniku podścianowym budowany jest kaszt drewniany, a przejście ze ściany w rejon chodnika podścianowego zabezpiecza się za pomocą tzw. organów wykonanych ze stojaków drewnianych lub stalowych ciernych typu SV, wzmacniających ten rejon chodnika.

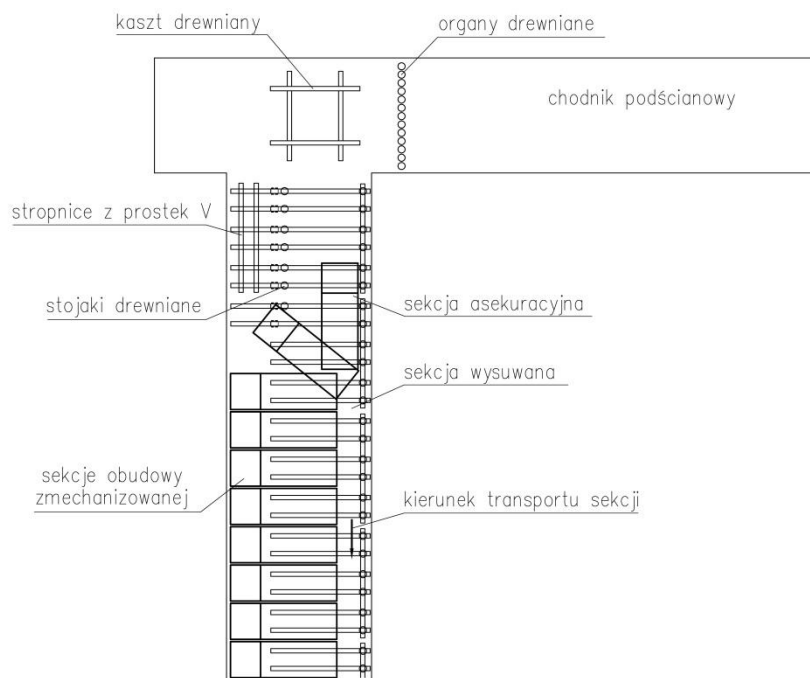
Jako pierwszą wysuwa się i obraca tzw. „sekcję asekuracyjną”, ustawiając ją w polu transportowym wzdłuż czoła ściany. Jej zadaniem jest zabezpieczanie stropu wyrobiska podczas wyprowadzania kolejnych sekcji, wysuwanych z szeregu, do momentu podparcia stojakami prostek znajdujących się na stropnicach sekcji obudowy. W ten sposób poprawia się bezpieczeństwo pracy. Operacja wysuwania sekcji jest realizowana za pomocą jej układu przesuwnego, przy czym rozdzielacz sterujący sekcji wysuwanej jest przeniesiony przynajmniej do trzeciej w kolejności sekcji rozpartej w wyrobisku. Przesuwnik sekcji wysuwanej łączy się łańcuchem z uchwytem rozporu, ustawionej w polu transportowym lub elementem „sekcji asekuracyjnej”. Rozpora może być stojak cierny lub hydrauliczny, rozparty pomiędzy spągiem i stropem. Sekcję rabuje się, wysuwa o skok układu przesuwnego i rozpiera w nowym położeniu.



Rys. 2. Schemat zabezpieczenia stropu pola transportowego [2]

Po skróceniu łańcucha czynności te są kolejno powtarzane do momentu, gdy stropnica sekcji wysuwanej znajdzie się w odległości ok. 0,5 m od czoła ściany. Do obrócenia sekcji wykorzystuje się kołowrót z liną rozciągniętą wzdłuż czoła ściany. Linę kołowrotu zapina się do belki układu przesuwającego oraz do elementu spągnicy sekcji wysuniętej z szeregu. Po zrabowaniu, sekcję obraca się do położenia wzdłuż pola transportowego. Tam ponownie sekcja zostaje rozparta. Prostki drewniane lub stalowe, znajdujące się wcześniej nad stropnicą sekcji, podpira się stojakami drewnianymi, po stronie zawалу. W miejscu po wybudowanych sekcjach, przynajmniej co 5 sekcji, na całej długości ściany, pod prostkami buduje się kaszty drewniane.

Na rysunku 3 przedstawiono usytuowanie w ścianie „sekcji asekuracyjnej” i sekcji obracanej.



Rys. 3. Rozmieszczenie sekcji w ścianie podczas wybudowy [opracowanie własne]

Inny sposób wyprowadzania sekcji obudowy zmechanizowanej ze ściany zastosowano w KWK Budryk [8]. Po wysunięciu z szeregu sekcje transportowane są po spągu, za pomocą kołowrotów, do chodnika podścianowego. W związku z powyższym proces wysuwania sekcji z szeregu i obracania do pola transportowego rozpoczyna się od sekcji usytuowanych przy chodniku nadścianowym. Rozmieszczenie sekcji oraz sposób zabezpieczenia stropu wyrobiska nad wysuwanymi sekcjami jest analogiczny do opisanego dla KWK ROW Ruch Jankowice.

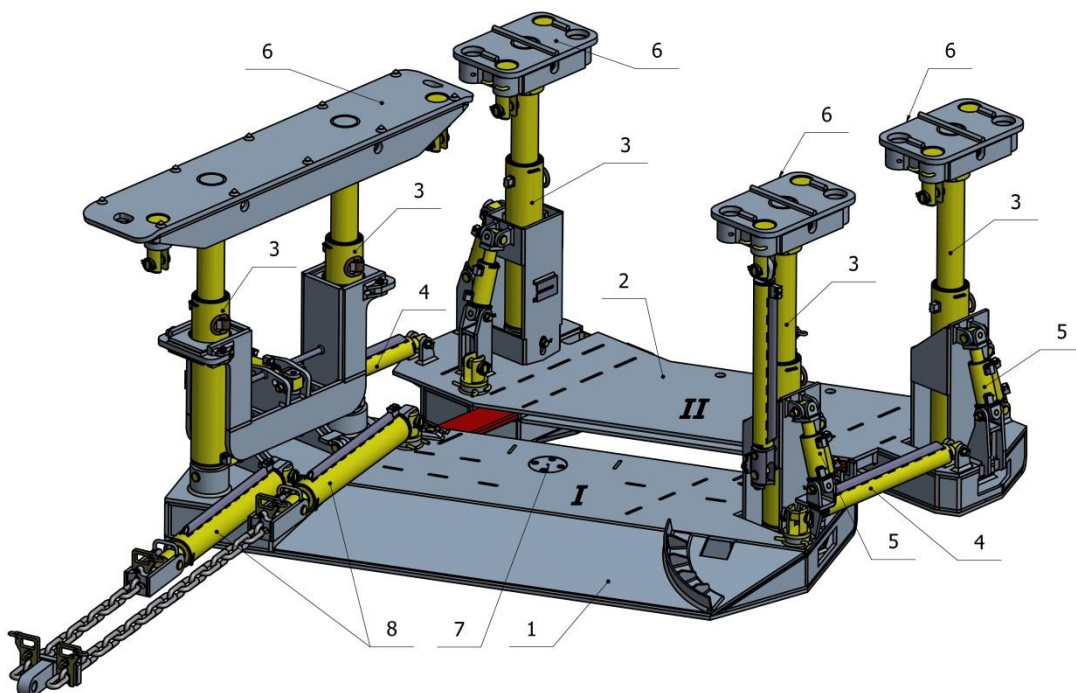
Na rysunku 4 przedstawiono widok „sekcji asekuracyjnej” w wyrobisku ścianowym.



Rys. 4. „Seksja asekuracyjna” usytuowana wzdłuż likwidowanej ściany [10]

2.3. Środki techniczne wspomagające proces wybudowy sekcji obudowy zmechanizowanej z wyrobiska ścianowego

Przeprowadzenie operacji wybudowy sekcji z szeregu w ścianie, jej obrót i załadunek na platformę transportową lub płytę ślizgową, ułatwia urządzenie UDW Ryś [3], skonstruowane w Zakładzie Obudów Zmechanizowanych ITG KOMAG. Urządzenie, przedstawione na rysunku 5, ustawiane jest w likwidowanej ścianie, wzdłuż kanału transportowego, przed „sekcją asekuracyjną”.



Rys. 5. Urządzenie UDW Ryś [opracowanie własne]

Urządzenie UDW Ryś składa się z dwóch przesuwnych konstrukcji ramowych (I) i (II), połączonych ze sobą w dolnej części siłownikami hydraulicznymi (4), umożliwiającymi ich wzajemny przesuw. Pierwsza konstrukcja ramowa składa się z odpowiednio ukształtowanej płyty spągnicy (1), w której zabudowane są trzy stojaki hydrauliczne (3) (dwa od strony czoła ściany, jeden od strony szeregu sekcji obudowy zmechanizowanej). Druga wyposażona jest w płytę spągnicy (2), w której zabudowane są dwa stojaki hydrauliczne (3). Na stojakach, stabilizowanych względem spągnic za pomocą siłowników (5) zabudowane są pojedyncze stopnice (6). Siłowniki stabilizujące (5) umożliwiają wychylenie stojaków, wraz ze stropnicami, względem spągnicy. Zarówno spągnice, jak i stropnice obu sekcji wyposażone są w gniazda, do których mocowane są siłowniki wyciągające sekcje obudowy zmechanizowanej z ciągu technologicznego. W spągnicy sekcji pierwszej zabudowane są dwa koła linowe (7), przez które przewijana jest lina kołowrotu służącego do transportu sekcji obudowy zmechanizowanej na płycie transportowej.

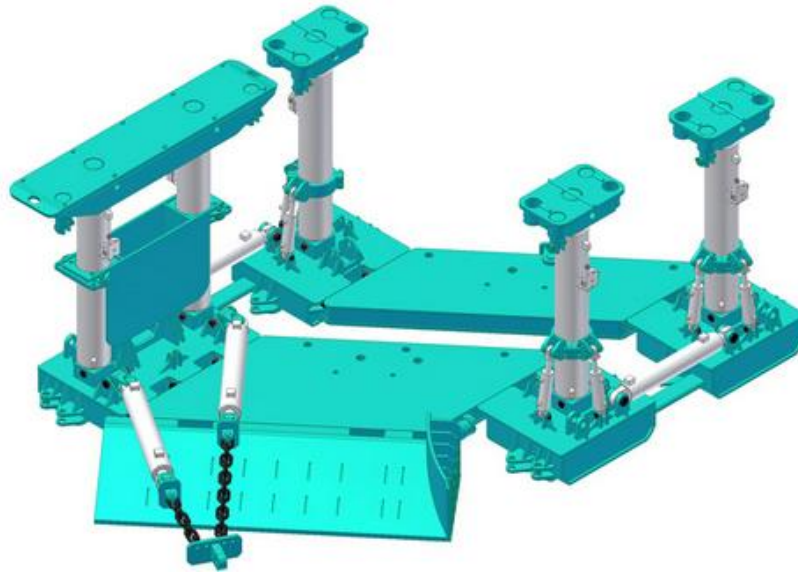
W zależności od wysokości wyrobiska przewidziano zastosowanie dwóch wariantów wykonania urządzenia, wariant I: o wysokości 1610 ÷ 2910 mm oraz Wariant II: o wysokości 2210 ÷ 4410 mm. Można je stosować w wyrobiskach ścianowych o nachyleniu poprzecznym do $\pm 12^\circ$ i podłużnym do 60° . Urządzenie UDW Ryś służy do wykonywania następujących zadań:

- wysuwanie sekcji obudowy zmechanizowanej z szeregu do pola transportowego,
- obrót wyciągniętej sekcji w kierunku transportu,
- przeładunek sekcji na płytę ślizgową lub inne urządzenie służące do jej transportu do chodnika przyścianowego,
- przesuwanie urządzenia wzdłuż pola transportowego do kolejnej wysuwanej sekcji obudowy zmechanizowanej.

Podstawowe parametry techniczne urządzenia są następujące:

- | | |
|-----------------------------------|----------|
| – krok urządzenia | 0,8 m |
| – podporność wstępna stojaka | 500 kN |
| – podporność robocza stojaka | 700 kN |
| – siła przesuwania ramy pierwszej | 2x158 kN |
| – siła podciągania ramy drugiej | 2x81 kN |
| – siła siłownika wciągającego | 227 kN |
| – siła siłownika stabilizującego | 81 kN |
| – ciśnienie zasilania | 25 MPa |

Urządzeniem technicznym o podobnej zasadzie działania co UDW Ryś jest urządzenie typu UWS – PUMA (rys. 6), produkowane przez firmę Sigma [4].



Rys. 6. Urządzenie typu UWS – PUMA do wybudowy sekcji obudowy zmechanizowanej [4]

Przeznaczone jest ono do wybudowy i obracania sekcji obudowy zmechanizowanej z ciągu technologicznego likwidowanej ściany. Zastosowanie urządzenia UWS typu PUMA w trakcie wybudowy sekcji obudowy zmechanizowanej ma na celu ułatwienie:

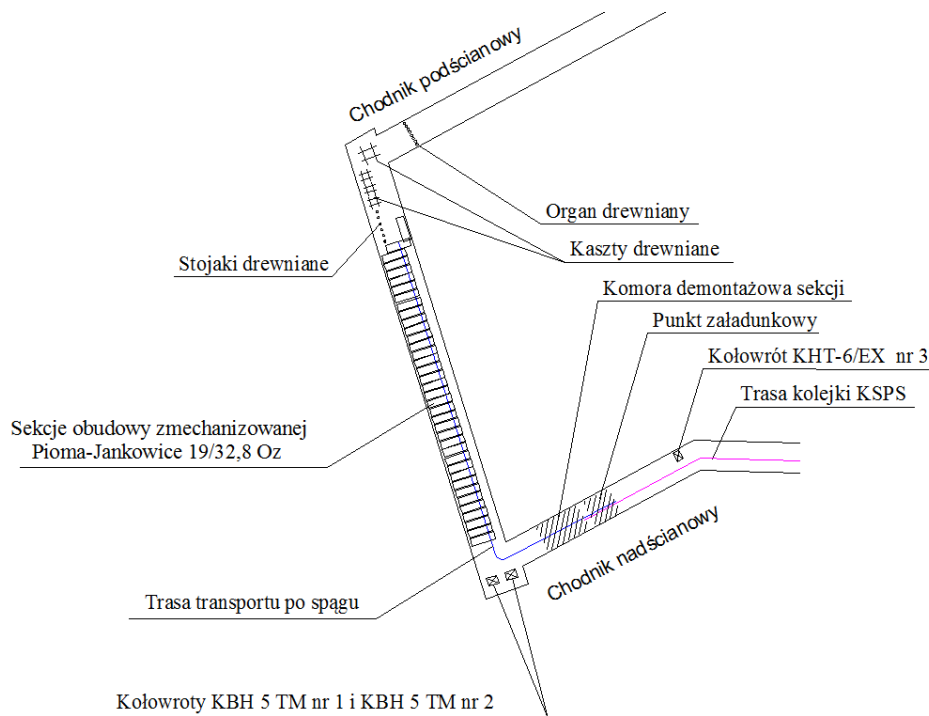
- wybudowania sekcji z szeregu w ścianie do ścieżki transportowej,
- obrócenia wyciąganej sekcji w kierunku transportu,
- przygotowania pod załadunek wyrobowanej sekcji na płytę transportowo-montażową.

2.4. Transport sekcji obudowy zmechanizowanej do chodnika przyścianowego

Analizując stosowane obecnie technologie transportu sekcji obudowy zmechanizowanej w przestrzeni transportowej likwidowanej ściany można wyróżnić ich następujące warianty:

- ciągnięcie sekcji po spągu (rys. 7)

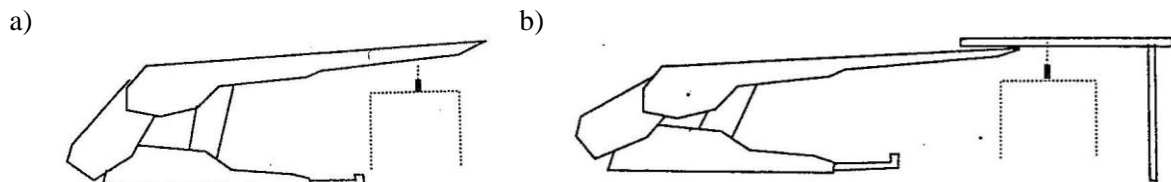
Wzdłuż pola transportowego w likwidowanej ścianie rozciągnięte są liny kołowrotów umieszczonych w chodniku nadścianowym. Kołowrotami wyciąga się sekcję obudowy bezpośrednio po spągu lub na specjalnej płycie ślizgowej do chodnika nadścianowego. Tu, do sekcji obudowy zaczepia się linę kołowrotu (KHT-6/EX na rysunku 7), umieszczonego w chodniku nadścianowym. Za pomocą kołowrotu przeciąga się sekcję do komory demontażowej lub bezpośrednio na punkt załadunkowy na środek dalszego transportu (kolejka podwieszona, kolejka spągowa).



Rys. 7. Przykładowa trasa transportu sekcji po spągu [10]

- transport kolejką podwieszoną

W KWK "Bogdanka", w przedziale transportowym likwidowanej ściany montuje się trasę kolejki podwieszanej [5]. Elementy trasy są zawieszane na obudowie przedziału transportowego lub na specjalnych belkach mocowanych do stropnic sekcji obudowy zmechanizowanej (rys. 8).



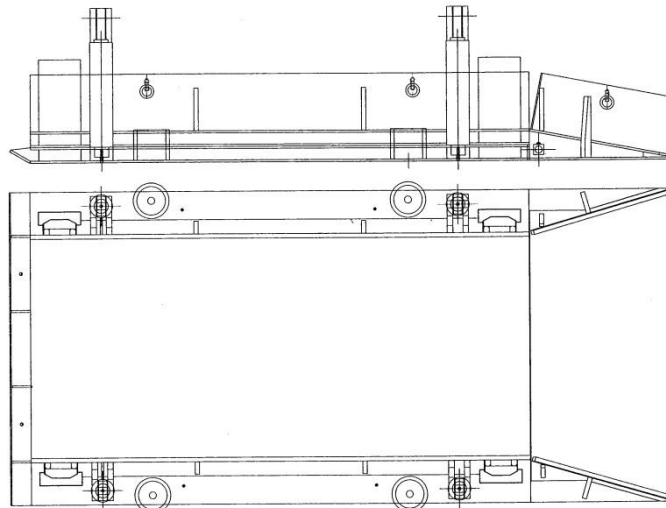
Rys. 8. Schemat mocowania trasy kolejki podwieszanej w przedziale transportowym ściany [5]:

- na belkach mocowanych do stropnic sekcji
- na obudowie przedziału transportowego

Sekcję ustawioną w przedziale transportowym podwiesza się na odpowiednim zestawie transportowym kolejki i przewozi, najczęściej do komory remontowej lub bezpośrednio do przecinki nowo uruchamianej ściany. Opisany sposób transportu sekcji jest efektywny; umożliwia wytransportowanie średnio 12 sekcji w ciągu doby. Analogiczny sposób wykorzystania kolejki podwieszanej w przedziale transportowym ściany opisano w [8].

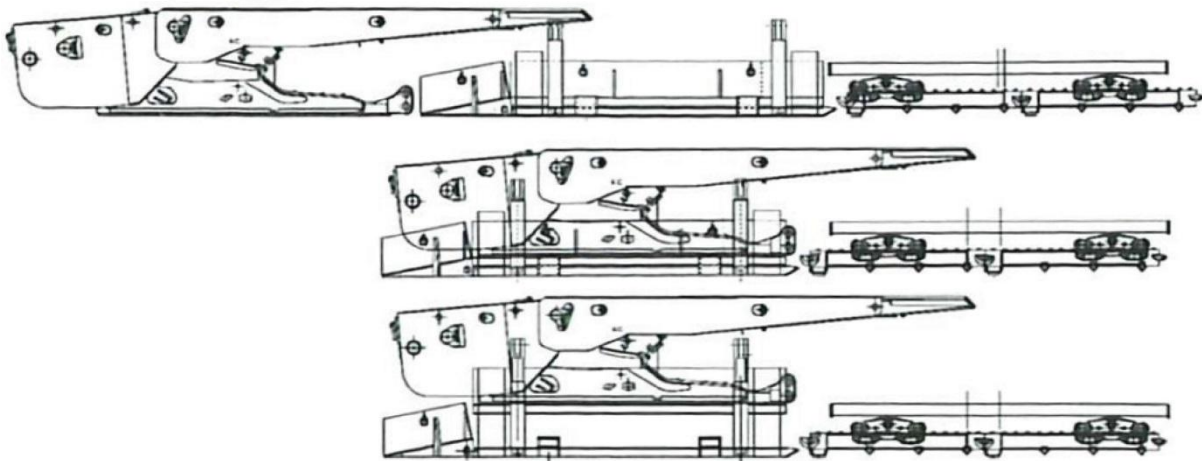
- transport kolejką spągową

Po zdemontowaniu przenośnika ścianowego przedział transportowy likwidowanej ściany jest pogłębiany celem ułożenia toru jezdni kolejki spągowej. Sekcje, po wysunięciu z szeregu są ładowane na platformę kolejki spągowej. Do załadunku obróconej sekcji na platformę kolejki spągowej stosowane są kliny rozładowczo-załadowcze, rampy uchylne lub specjalne urządzenia załadunkowo-rozładunkowe (np.: UZR-1 – rys. 9), tzw. podnośnice [12].



Rys. 9. Urządzenie załadunkowo-rozładunkowe UZR-1 [11]

Podnośnica umożliwia pionowe podniesienie sekcji, za pomocą czterech siłowników do poziomu platformy kolejki spągowej. Poszczególne fazy załadunku sekcji na platformę kolejki spągowej przedstawiono na rysunku 10.



Rys. 10. Etapy załadunku sekcji na platformę kolejki spągowej za pomocą urządzenia UZR-1 [1]

- na platformie ślizgowej po rynnach przenośnika ścianowego

Po zdemontowaniu kombajnu oraz nadstawek przenośnika ścianowego i łańcuchów transportowych za zgrzebłami na trasę przenośnika układa się specjalną płytę transportową, prowadzoną po wewnętrznych krawędziach profili przenośnika. Sekcję obudowy zmechanizowanej wciąga się na płytę po klinach załadowniczych. Sekcję obudowy mocuje się do płyty transportowej. Płyta przeciągana jest wzdłuż trasy przenośnika do chodnika nadścianowego za pomocą kołowrotu. Poszczególne rynny przenośnika ścianowego są demontowane wraz z postępem wybudowy sekcji ze ściany i transportowane na tej samej płycie transportowej, do chodnika nadścianowego.

- na platformie ślizgowej po specjalnie ułożonych torach.

Tory służące do współpracy z płytą ślizgową układane są w przedziale transportowym likwidowanej ściany. Sekcję obudowy zmechanizowanej, po wciągnięciu na płytę,

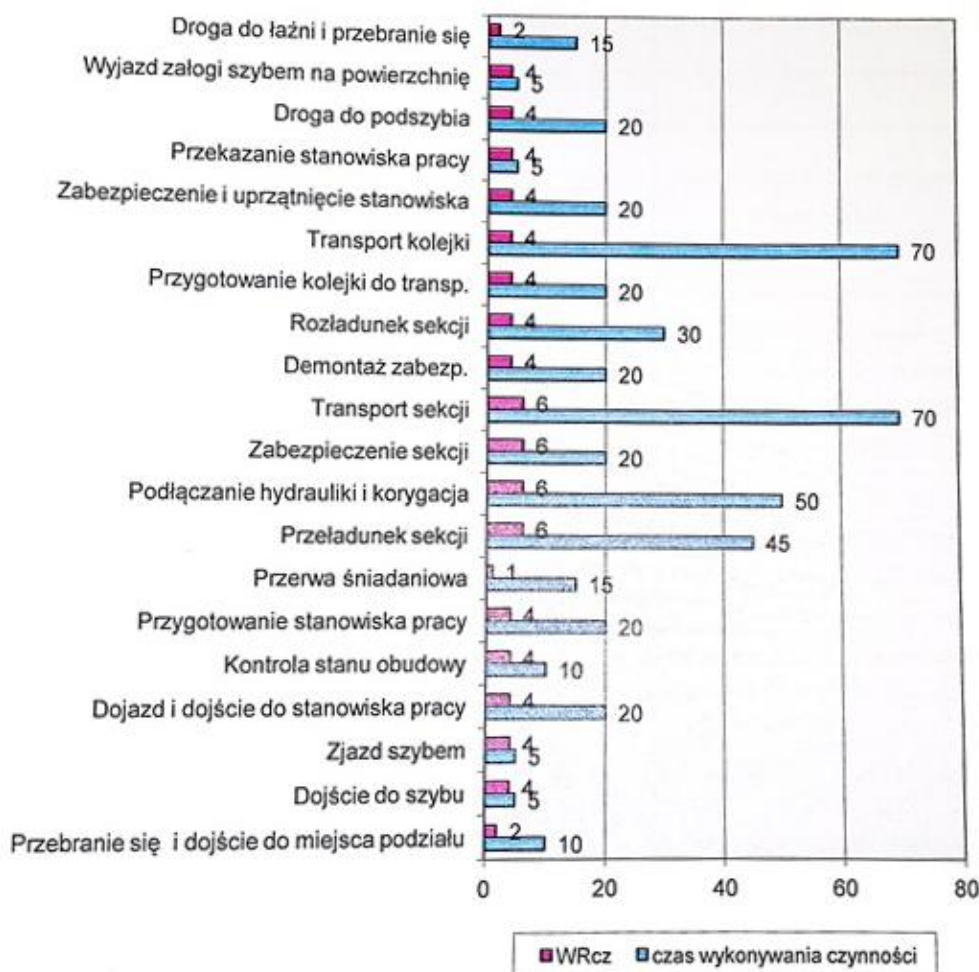
przeciąga się wzdłuż przedziału transportowego ściany, wraz z płytą do chodnika nadścianowego.

Wybór odpowiedniego sposobu transportu sekcji do chodnika przyścianowego jest uzależniony od warunków stropowych i spągowych w likwidowanej ścianie oraz warunków w chodnikach transportowych i wyposażenia technicznego kopalni.

Ze względu na liczbę sekcji obudowy, transportowanych z likwidowanej ściany do nowego wyrobiska, ten etap przezbierania ściany trwa najdłużej. Z tego względu najefektywniejsze skrócenie czasu relokacji sekcji uzyskuje się stosując możliwie najszybszy środek transportowy. Środkiem takim jest kolejka podwieszona z ciągnikiem spalinowym. Niestety nie wszędzie można taki środek transportu stosować. W przypadku ścian niskich wykonanie odpowiednio wysokiego przedziału transportowego wymaga zbyt wiele nakładów pracy. W takim przypadku stosowane są platformy ślizgowe, przesuwane po trasie przenośnika ścianowego lub specjalnym torowisku.

3. Podsumowanie

Wybudowa i wytransportowanie sekcji obudowy zmechanizowanej z likwidowanego wyrobiska ścianowego należy, w aspekcie oceny ryzyka, do niebezpiecznych czynności roboczych. Jak wynika z analizy ryzyka [7], najwyższy wyznaczony wskaźnik ryzyka dotyczy załadunku sekcji na platformę kolejki spągowej w ścianie (rys. 11).



Rys. 11. Wskaźniki ryzyka oraz czas wykonywania wybranych czynności [7]

Ze względu na konieczność przemieszczania i obracania sekcji o stosunkowo dużej masie, w przestrzeni roboczej o wymiarach niewiele większych od wymiarów gabarytowych transportowanego obiektu, do niebezpiecznych czynności należy również zaliczyć wysuwanie sekcji z szeregu oraz jej obracanie w przedziale transportowym ściany.

Na podstawie przeprowadzonej analizy rozwiązań konstrukcyjnych urządzeń wspomagających proces wybudowy sekcji i jej załadunku na urządzenia transportowe stwierdzono, że dotychczas stosowane środki techniczne nie zapewniają satysfakcjonującego stanu bezpieczeństwa. W związku z powyższym, jak również z uwagi na stawiane bardzo wysokie wymagania w zakresie efektywności procesu relokacji sekcji obudowy zmechanizowanej, przy równoczesnym zachowaniu jak najwyższych standardów bezpieczeństwa wynikających z oceny ryzyka, niezbędne jest opracowanie, z wykorzystaniem zaawansowanych układów automatyki i robotyki, nowatorskich rozwiązań konstrukcyjnych urządzeń wspomagających ten proces.

Literatura

- [1] Budniok T., Rubinek J., Frączek J.: Systemy transportu kolejkami spagowymi firmy Becker-Warkop sp. z o.o. Materiały IV Międzynarodowej Konferencji Bezpieczeństwo pracy urządzeń transportowych w górnictwie. Ustroń, 5-7.11. 2008, CBiDGP, s. 143-151
- [2] Da Via T.: Projekt wyposażenia technicznego usprawniającego demontaż sekcji obudowy zmechanizowanej przy likwidacji wyrobiska ścianowego. Praca dyplomowa magisterska. Politechnika Śląska, Katedra Mechanizacji i Robotyzacji Górnictwa, Gliwice 2015 (materiały niepublikowane)
- [3] Dokumentacja techniczno-ruchowa. Urządzenie UDW typu Ryś do wybudowywania sekcji obudowy zmechanizowanej. CMG KOMAG, Gliwice 2006 (materiały niepublikowane)
- [4] Instrukcja urządzenia do wyciągania obracania sekcji zmechanizowanych z ciągu technologicznego typu UWS-PUMA dla KWK „Knurów-Szczygłowiec”. SIGMA S.A., Barak 6; 21-002 Jastków
- [5] Kowal B.: Doświadczenia eksploatacyjne transportu kolejkami podwieszonymi z napędem własnym kopalni Lubelski Węgiel "Bogdanka" S.A. Materiały I Międzynarodowej Konferencji Bezpieczeństwo pracy urządzeń transportowych w górnictwie - diagnostyka, naprawy i remonty, Szczyrk 30.05–01.06.2005, CBiDGP, s.183-188
- [6] Kwieciński D. i inni: Projekt Celowy Nr 9T12A 081 97 C/3501 Obniżenie kosztów eksploatacji węgla poprzez wdrożenie nowoczesnych systemów montażu i demontażu maszyn i urządzeń w wyrobiskach ścianowych. Zadanie badawcze: Nowa technologia oraz środki mechanizacyjne do szybkiego przezbrajania ściany. Sprawozdanie z badań. CMG KOMAG 1998 (materiały niepublikowane)
- [7] Mikołajec R.: Analiza zgodności wybranych maszyn i urządzeń podziemnych z wymaganiami ich bezpieczeństwa w świetle systemu dopuszczeń do stosowania w zakładach górniczych na przykładzie KWK "Pniówek". Praca dyplomowa magisterska. Politechnika Śląska Wydział Górnictwa i Geologii. Gliwice 2014. Biblioteka Katedry Mechanizacji i Robotyzacji Górnictwa (materiały niepublikowane)

- [8] Mikołajczak M., Kuźmicki K., Gabryś M.: Poprawa bezpieczeństwa i osiągnięcia z zakresu rozbudowy układu transportowego kolejkami podwieszanymi z napędem spalinowym do przewozu osób i transportu materiałów na podstawie doświadczeń K.W.K. "Budryk" S.A. w latach 2001-2006. Materiały II Międzynarodowej Konferencji Bezpieczeństwo pracy urządzeń transportowych w górnictwie, Ustroń 08-10.11.2006, CBiDGP, s. 75-79
- [9] Nawrat S., Pytlik P.: Bezpieczna likwidacja ścian w kopalniach węgla w warunkach zagrożenia wybuchem metanu. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie Nr 2 (2013), s. 3-12
- [10] Prezentacja z okoliczności i miejsca wypadku z 8 marca 2007 r. w KWK Marcel, materiał działu BHP KWK Marcel, 03.2007
- [11] Projekt techniczny likwidacji ściany C-4. KWK Jankowice, Rybnik 2012 (materiały niepublikowane)
- [12] Szymiczek K.: Kolejki spągowe zębate spalinowe, a bezpieczeństwo pracy w czasie transportu ciężkich elementów. Materiały I Międzynarodowej Konferencji Bezpieczeństwo pracy urządzeń transportowych w górnictwie - diagnostyka, naprawy i remonty, Szczyrk 30.05 – 01.06. 2005, CBiDGP, s.162-167

Czy wiesz, że

...niemieckie firmy RAG Mining Solutions oraz RAG Deutsche Steinkohle opracowały dla kopalni Prosper-Haniel w Bottrop komputerowy system, który integruje układy automatyzacji poszczególnych urządzeń wchodzących w skład kompleksu wybierającego ścianę w polu Zollverein. Jedną z kluczowych funkcji tego systemu jest zapewnienie interakcji między indywidualnymi układami automatyki (modułami): kombajnu ścianowego Eickhoff SL750 (moduł Eickhoff EiControlSB) oraz sekcji obudowy ścianowej i zgrzeblowego przenośnika ścianowego. Do najważniejszych zadań poszczególnych modułów należy zapewnienie wysokiego stopnia niezawodności i poprawa efektywności wykorzystania urządzeń ściany. Duże znaczenie ma też możliwość wizualizacji danych niezbędnych do nadzorowania pracy urządzeń. Wdrożenie nowego zintegrowanego systemu automatyzacji skutecznie poprawi nadzór nad całością procesu wybierania ściany oraz stanem bezpieczeństwa środowiska pracy załogi. System połączony jest z dyspozytornią kopalnianą i udostępnia model 3D infrastruktury całego obszaru.

Mining Report. Glückauf 2018 nr 4 s.337-341

Projekt instalacji zraszającej NEPTUN do zmniejszania zapylenia w zakładzie przeróbczym KWK „Bolesław Śmiały”

dr inż. Dominik Bałaga
dr inż. Marek Kalita
mgr inż. Michał Siegmund
Instytut Techniki Górniczej KOMAG
mgr inż. Zdzisław Klimek
KWK Bolesław Śmiały
mgr inż. Andrzej Urbanek
mgr inż. Arkadiusz Waloszczyk
FIW Elektron s.c.

NEPTUN spraying system intended for reduction of airborne dust in KWK Bolesław Śmiały coal mine processing plant

Streszczenie:

W artykule przedstawiono projekt instalacji zraszającej NEPTUN przeznaczonej do redukcji pyłu całkowitego oraz respirabilnego na stanowiskach pracy, w zakładzie przeróbczym KWK Bolesław Śmiały. Zaprezentowano efekty prac modelowych oraz omówiono budowę i zasadę działania zabudowanych na stanowiskach pracy instalacji zraszających, składających się na instalację NEPTUN. W podsumowaniu określono kierunki dalszych działań.

Słowa kluczowe: górnictwo, zakład przeróbczy, bezpieczeństwo pracy, zwalczanie zapylenia, instalacja zraszająca

Keywords: mining industry, minerals processing plant, work safety, airborne dust control, spraying installations

Abstract:

NEPTUN spraying system intended for reduction of total and respirable airborne dust at KWK Bolesław Śmiały coal mine processing plant is presented. Effects of modelling tests are shown. Design and principle of operation of NEPTUN spraying system installed at the workplace is discussed. Directions for further actions are specified in conclusions.

1. Wprowadzenie

Generowanie pyłu w zakładach przeróbczych węgla kamiennego jest zjawiskiem wynikającym z procesu przeróbki mechanicznej, takich jak: klasyfikacja, rozdrabnianie oraz wzbogacanie. Poziom zapylenia w zakładach przeróbczych jest mocno zróżnicowany i zależy od zastosowanych procesów oraz maszyn. Głównymi źródłami pyłu są: przesiewacze klasyfikacji przedwstępnej, wraz z zsuwniami nadawczymi i odbierającymi, kruszarki urobku wstępnego, przesiewacze klasyfikacji wstępnej wraz z podajnikami wibracyjnymi lub zsuwniami nadawczymi, taśmy przebiegające zanieczyszczeń niemetalowych oraz uławiania żelaza, czy kruszarki do selektywnego wydzielania odpadów gruboziarnistych [7]. Sposoby redukcji zapylenia rozwijają się dynamicznie w wyniku postępu technologicznego, a przede wszystkim ze zwiększającej się świadomości zagrożenia zapyleniem, ale również z konieczności sprostania obowiązującym przepisom dotyczącym dopuszczalnego stężenia pyłu węgla kamiennego (NDS) [8]. Wśród najpowszechniej stosowanych sposobów i metod ograniczenia zapylenia należy wymienić: hermetyzację, odpylanie procesowe oraz zraszanie. Hermetyzacja źródeł generowania pyłu w zakładach przeróbczych jest trudna do zrealizowania, ze względu na specyfikę stosowanych technologii. Można oczywiście zamknąć całe przestrzenie, jednakże najpowszechniej stosuje się hermetyzację indywidualną, w postaci obudów czy osłon, połączonych zazwyczaj z systemem odpylania odciągowego. Kolejnym sposobem ograniczania zapylenia jest odpylanie związane ze sposobem wzbogacania nadawy. W tym celu stosowane są odpylacze filtracyjne oraz cyklony, czy też elektrofiltry. Sposobem ograniczania zapylenia, jest również zraszanie, mające na celu strącanie, oraz wychwytywanie cząstek pyłu z powietrza, za pomocą rozpylonego strumienia medium (wody i powietrza) [6].

Ciągły rozwój tego sposobu ograniczania zapylenia, pozwala obecnie na rozpylanie kropeł, które umożliwiają skuteczne wychwytywanie cząstek pyłu o rozmiarach PM10 oraz PM5, mających najbardziej negatywny wpływ na życie ludzi.

Monitorowany poziom zapylenia w Zakładzie Przeróbki Mechanicznej Węgla Polskiej Grupy Górniczej sp. z o.o. Oddział KWK „Bolesław Śmiały”, wykazał przekroczenia, a tym samym konieczność jego zmniejszenia. Ze względu na brak możliwości hermetyzacji oraz brak stacji odpylania w zakładzie, podjęto decyzję o zastosowaniu indywidualnych instalacji zraszających w miejscach generowania zapylenia. Instytut Techniki Górniczej KOMAG opracował projekty instalacji zraszających na pięciu stanowiskach pracy, które wykonane zostaną przez FIW Elektron s.c. Instalacje zaprojektowano dla rejonów:

- 1) Zbiornika Węgla Surowego,
- 2) Klasyfikacji Wstępnej,
- 3) Kruszarek i przenośników taśmowych,
- 4) Zbiorników Miału zakładu,
- 5) Pod Zbiornikami Miału zakładu.

2. Założenia projektowe

Instalację zmniejszającą zapylenie na stanowiskach pracy znajdujących się w wyznaczonych rejonach zakładu przerobczego, opracowano w oparciu o wytyczne znajdujące się w załączniku nr 1 do SIWZ, ustalenia z przedstawicielami Zakładu Przeróbki Mechanicznej Węgla oraz doświadczenie projektantów ITG KOMAG w opracowywaniu instalacji powietrzno-wodnych do redukcji zapylenia [1, 2, 5]. Głównym celem instalacji będzie przede wszystkim skuteczne ograniczenie zapylenia do wartości dopuszczalnej na stanowiskach pracy, w oparciu o następujące założenia:

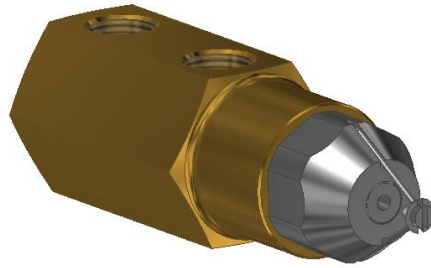
- do wytwarzania strumienia mgły wodnej należy zastosować dysze ultradźwiękowe,
- natężenie wody, nie może przekroczyć wartości $10 \text{ dm}^3/\text{h}/\text{dyszę}$,
- instalacja powinna posiadać budowę modułową, pozwalającą na prosty i szybki montaż i demontaż,
- wszystkie elementy instalacji powinny być wykonane z materiałów odpornych na korozję,
- sterowanie instalacją powinno umożliwiać pracę w trybie ręcznym lub automatycznym (uruchamiać się wraz z odpowiednimi urządzeniami przerobczymi pracującymi w ciągu technologicznym).

Ustalono również, że cała instalacja zmniejszająca zapylenie NEPTUN, będzie składać się z uniwersalnych i indywidualnych instalacji zraszających zlokalizowanych w wyznaczonych rejonach. Przed przystąpieniem do prac projektowych, przeprowadzono wizję lokalną i precyzyjnie określano miejsca generowania pyłu, co umożliwiło ustalenie rozmieszczenia i liczby dysz ultradźwiękowych wokół miejsc generowania pyłu.

3. Budowa instalacji zmniejszającej zapylenie

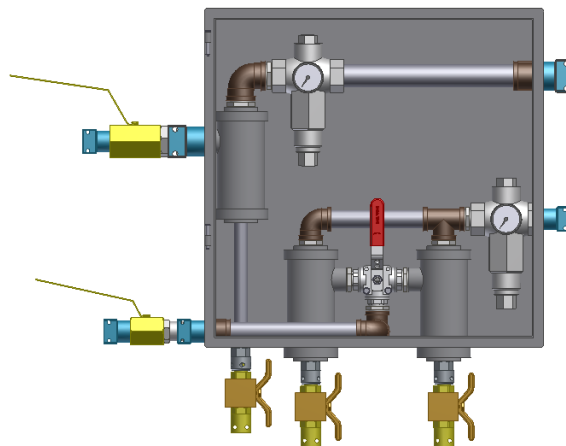
Instalacja zmniejszająca zapylenie, będzie wykorzystywać zjawisko strącania i eliminowania cząstek pyłu, powstających w wyniku przesypywania materiału (nadawy), przez krople wody wytwarzane w dyszach zraszających [9]. Wytworzenie kropeł wody

o odpowiedniej charakterystyce wielkości oraz energii wyrzutu, realizowane będzie w specjalnych atomizerach ultradźwiękowych, wykorzystujących sprężone powietrze (rys. 1).



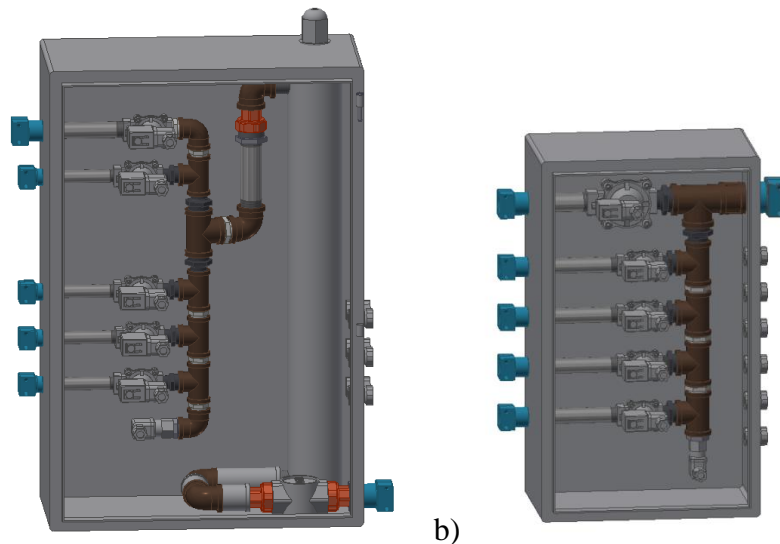
Rys. 1. Atomizer ultradźwiękowy zastosowany do wytwarzania mgły wodnej [10]

Zastosowane atomizery umożliwią pracę w zakresie niskich wartości ciśnienia wody i sprężonego powietrza (woda minimum 0,05 MPa, sprężone powietrze minimum 0,2 MPa), wytwarzając strumień zraszający, nie zwiększając znacząco zawilgocenia nadawy (maksymalnie 10 dm³/h). Przed podaniem wody do dyszy, będzie ona przygotowana w odpowiednich zespołach instalacji. Każda z indywidualnych instalacji w danym rejonie pracy, będzie posiadać znormalizowany sposób przygotowania i rozdziału mediów zraszających, jak i sposób uruchamiania przepływu wody oraz sprężonego powietrza do poszczególnych dysz zraszających. Instalacje zostaną wyposażone w zespół przygotowania wody oraz sprężonego powietrza realizujący oczyszczanie oraz redukcję ciśnienia mediów zraszających, do wymaganych parametrów pracy atomizera zraszającego (rys. 2).



Rys. 2. Zespół przygotowania wody oraz sprężonego powietrza [10]

Następnie, w zespole rozdziału mediów (rys. 3) będzie kontrolowane ciśnienie oraz kierowanie wody i sprężonego powietrza do poszczególnych obwodów zraszających. Zarówno woda jak i powietrze rozdzielone zostaną na obwody, do których skierowane zostaną w przypadku przesterowania odpowiedniego elektrozaworu. Woda dostarczana do zespołu rozdziału mediów zraszających, poddawana będzie dodatkowemu oczyszczeniu z bakterii, przy użyciu filtra UV, a jej ilość będzie kontrolowana przy użyciu licznika.



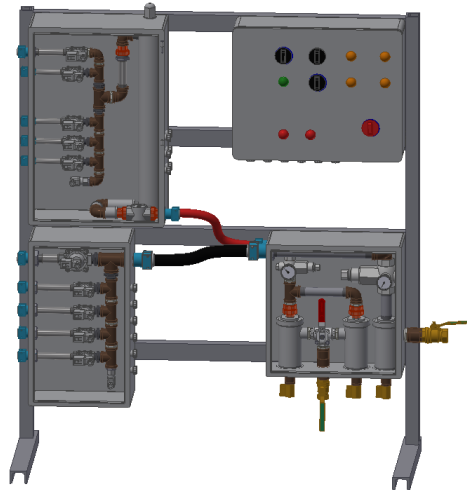
Rys. 3. Zespół rozdzielni mediów zraszających na jednym ze stanowisk pracy:
a) część wodna, b) część powietrzna [10]

Sterowanie rozdziałem mediów zraszających do poszczególnych linii zraszających, realizowane będzie przy pomocy elektrycznego zespołu sterowania. Każda z dróg transportu nadawy, wymagać będzie załączenia odpowiednich linii zraszających, które tworzyć będą obwody zraszania. Sterowanie poszczególnymi obwodami zraszającymi uzależnione będzie od sygnałów pracy poszczególnych urządzeń przerobczych, wchodzących w skład ciągu technologicznego. Elektryczny zespół sterowania (rys. 4) odpowiedzialny będzie również za kontrolę parametrów ciśnienia wody i sprężonego powietrza. Informacje o pracy danego obwodu zraszania, braku wody bądź sprężonego powietrza oraz pracy lampy UV, będą wyświetlane na panelu zespołu w postaci diod. Jednocześnie, z zespołu zostaną udostępnione sygnały pracy danych obwodów zraszających w postaci styku, umożliwiając włączenie ich w układ wizualizacji pracy urządzeń zakładu przerobczego.



Rys. 4. Elektryczny zespół sterowania [10]

Zespół sterowania umożliwił będzie również ręczne załączenie obwodów zraszania przez obsługę stanowiska pracy, niezależnie od pracy maszyn odpowiedzialnych za pracę instalacji dla zmniejszania zapylenia. Wszystkie zespoły przygotowania mediów, ich rozdzielni oraz sterowania, umieszczone zostaną na konstrukcji nośnej, która montowana będzie do podłoża bądź w danym miejscu pracy (rys. 5).



Rys. 5. Zespoły przygotowania wody i sprężonego powietrza, rozdziału mediów zraszających oraz elektrycznego zespołu sterowania, zabudowane na konstrukcji nośnej [10]

4. Parametry techniczne i zasada działania instalacji

Podstawowe dane techniczne indywidualnych instalacji zmniejszających zapylenie, tworzących instalację NEPTUN, są następujące:

Parametry elektryczne:

- napięcie zasilania 230 V, 50 Hz
- prąd znamionowy 2 A

Parametry wody i sprężonego powietrza instalacji zraszającej:

- ciśnienie zasilania wody $p_{\min} = 0,3 \text{ MPa}$
- ciśnienie zasilania sprężonego powietrza $p_{\min} = 0,4 \text{ MPa}$
- ciśnienie zredukowane wody $p = 0,05 \div 0,30 \text{ MPa}$
- ciśnienie zredukowane powietrza $p = 0,20 \div 0,40 \text{ MPa}$
- wymagana filtracja wody 50 μm
- wymagana filtracja powietrza 50 μm
- natężenie przepływu wody $Q_{\max} = 10,0 \text{ dm}^3/\text{h}$

(dla jednej dyszy ultradźwiękowej).

Każda z indywidualnych instalacji wchodzących w skład instalacji NEPTUN, będzie miała podobny charakter pracy. Po przesterowaniu przez obsługę dwupołożeniowych zaworów kulowych wody V_{OW} i sprężonego powietrza V_{OP} , zlokalizowanych na zespole przygotowania wody i sprężonego powietrza oraz poprzez przekręcenie przełącznika w pozycję ZAŁ, umieszczonego na obudowie elektrycznego zespołu sterującego, nastąpi uruchomienie instalacji. Załączenie napięcia zasilania potwierdzone będzie zaświeceniem się diody koloru zielonego DZ. Po załączeniu zasilania odbywać będzie się kontrola ciśnienia wody i powietrza (czujniki ciśnienia - C_{CW} i C_{CP}), zabudowane w zespole rozdziału mediów zraszających. Elektryczny zespół sterujący, po uzyskaniu sygnału o transporcie nadawy (sygnał sterujący z danego urządzenia objętego zabezpieczeniem), załączy poszczególne elektrozawory wody i sprężonego powietrza, tworząc dany obwód zraszający. Przygotowane

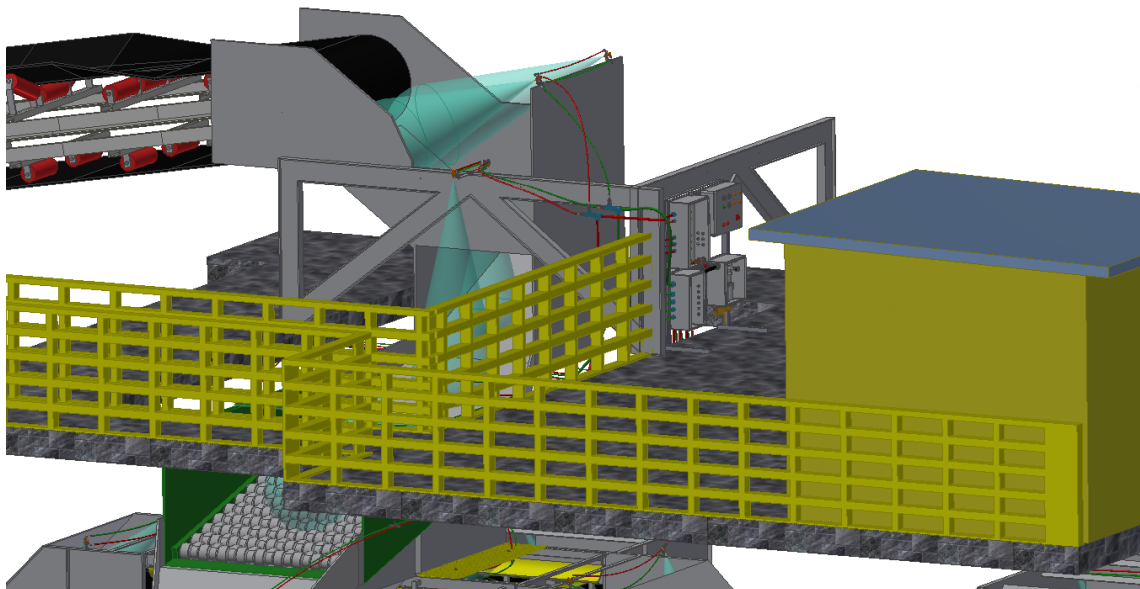
odpowiednio woda i sprężone powietrze, zostaną skierowane do atomizerów za pomocą przewodów elastycznych. Dostarczona woda i powietrze będą wytwarzać strumienie zraszające zwrócone w kierunku źródła zapylenia. Załączenie układu sygnalizowane będzie świecąią diodą, umieszczoną na obudowie elektrycznego zespołu sterującego. Opracowane instalacje umożliwią załączenie każdego obwodu zraszającego ręcznie (lokalnie), za pomocą przełączników umieszczonych na obudowie elektrycznego zespołu sterującego.

5. Zabudowa instalacji

Instalacja do zmniejszania zapylenia NEPTUN, dla Zakładu Przeróbki Mechanicznej Węgla Polskiej Grupy Górniczej sp. z o.o. Oddział KWK „Bolesław Śmiały, będzie składać się z siedmiu niezależnych instalacji, zabudowanych na pięciu stanowiskach pracy:

- obsługa zbiorników, urządzeń załadunkowych i rozładunkowych węgla i kamienia,
- maszynista urządzeń wzbogacających - płuczkarz przodowy,
- maszynista gospodarki wodno-mułowej – obsługa urządzeń kruszących i transportujących,
- obsługa zbiorników, urządzeń załadunkowych i rozładunkowych węgla,
- obsługa podajników na poziomie +3,70 m.

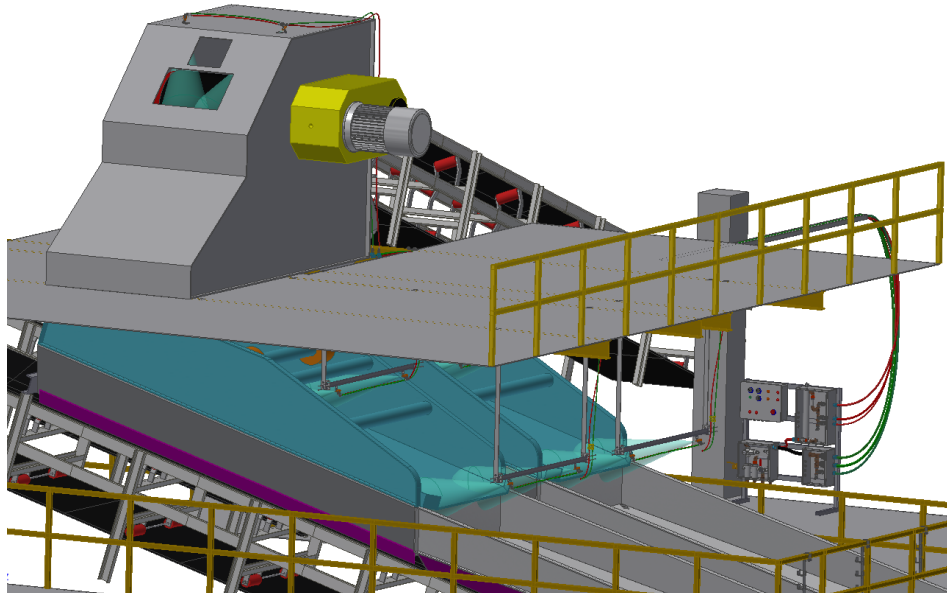
Indywidualna instalacja zmniejszająca zapylenie na stanowisku obsługi zbiorników, urządzeń załadunkowych i rozładunkowych węgla i kamienia (poziom +18,30 m oraz +23,30 m) zostanie wyposażona w 15 atomizerów ultradźwiękowych, które skierowane będą do źródła zapylenia (rys. 6). Przesyp PT.”A” na ruszt mimośrodowy nr 04, zabezpieczono 7 dyszami ultradźwiękowymi, przesyp z rusztu mimośrodowego, na taśmę przenośnika PT0.6 (rewersyjnego), w 4 dysze ultradźwiękowe, a przesypy z przenośnika PT.06 (rewersyjnego) na przenośnik PT. 07A i PT.07B w 4 dysz, po 2 na stronę.



Rys. 6. Instalacja zmniejszająca zapylenie, zabudowana w rejonie Zbiorników Węgla Surowego, wchodząca w skład instalacji zmniejszającej zapylenie NEPTUN - model przestrzenny [10]

Instalacja indywidualna, zmniejszająca zapylenie na stanowisku maszynisty urządzeń wzbogacających - płuczkarz przodowy (poziom +27,0m oraz +24,0m) wyposażona będzie

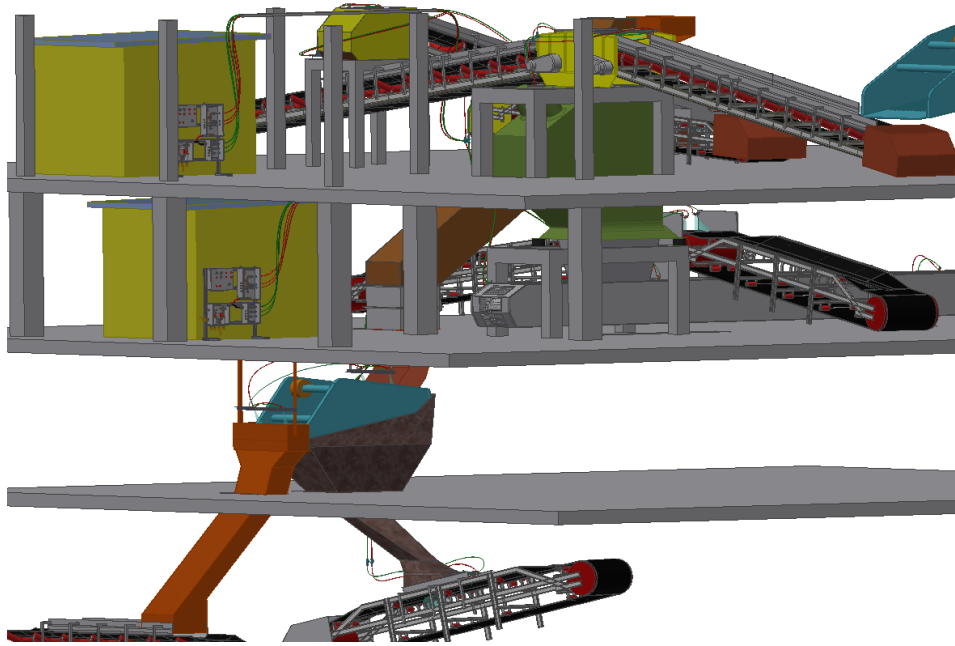
w 20 dysz ultradźwiękowych (rys. 7), umieszczonych głównie na przesypie przenośnika taśmowego PT 111/112A oraz przesypie przenośnika taśmowego PT 111/112B - 11 dysz ultradźwiękowych. Przesyp przesiewaczy 112A/113A oraz przesyp przesiewaczy 112B/113B, zostaną wyposażone w 2 dysze, na każdy z przesyków.



Rys. 7. Instalacja zmniejszająca zapylenie, zabudowana w Rejonie Klasyfikacji Wstępnej, wchodząca w skład instalacji zmniejszającej zapylenie NEPTUN - model przestrzenny [10]

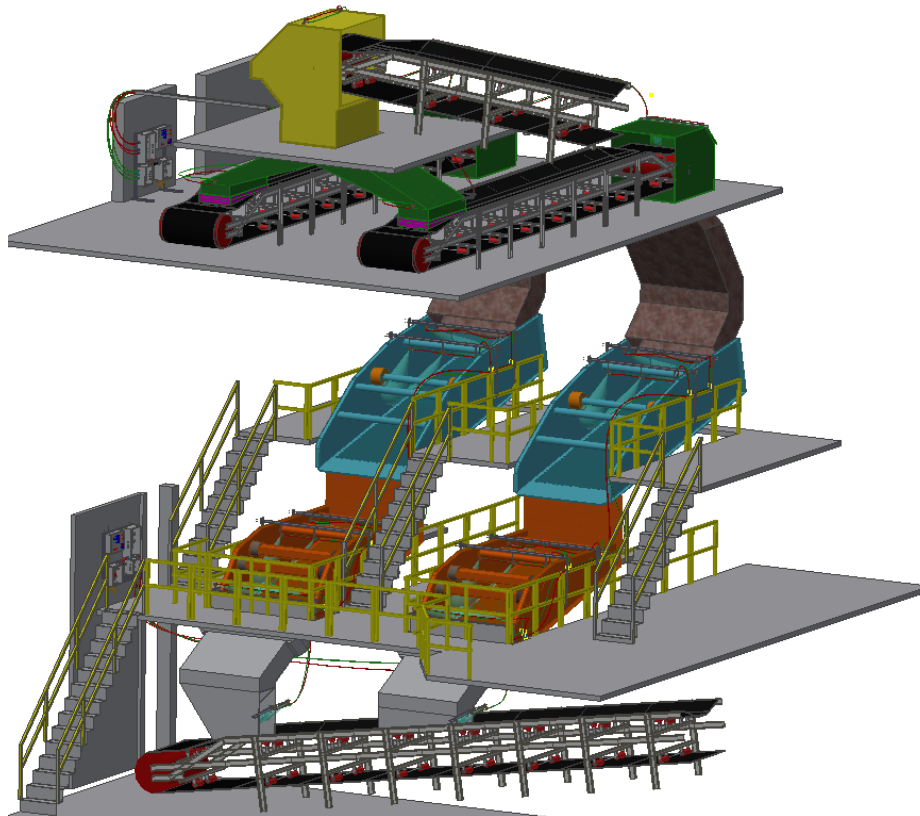
Trzecia z indywidualnych instalacji zmniejszających zapylenie, na stanowisku obsługi pracy – maszynista gospodarki wodno-mułowej- obsługa urządzeń kruszących i transportujących, zostanie podzielona na dwa układy, obejmujące swym działaniem rejony urządzeń współpracujących z kruszarkami 128 (poziom: +16,0 oraz poziom +9,0 i +5,60) oraz 128A (poziom: +16,0 oraz poziom +13,0). Instalacja zostanie wyposażona w 30 dysz ultradźwiękowych, po 15 dysz na rejon działania układu.

W pierwszym układzie, dysze ultradźwiękowe zastosowane będą w rejonie wlotu do kruszarki nr 128, rejon zsuwni zdawczej spod kruszarki 128 na urządzenie odbierające: przenośnik PT. nr 213 na poz. +5,60, rejonie przesypu na przenośnik PT nr 115A oraz rejonie przesypu z przenośnika PT nr 141D. Drugi układ zraszania zastosowany będzie na wlocie do kruszarki nr 128A oraz w rejonie zsuwni zdawczej spod kruszarki 128A na urządzenie odbierające: przenośnik zgrzeblowy nr 141B na poz. +13,0.



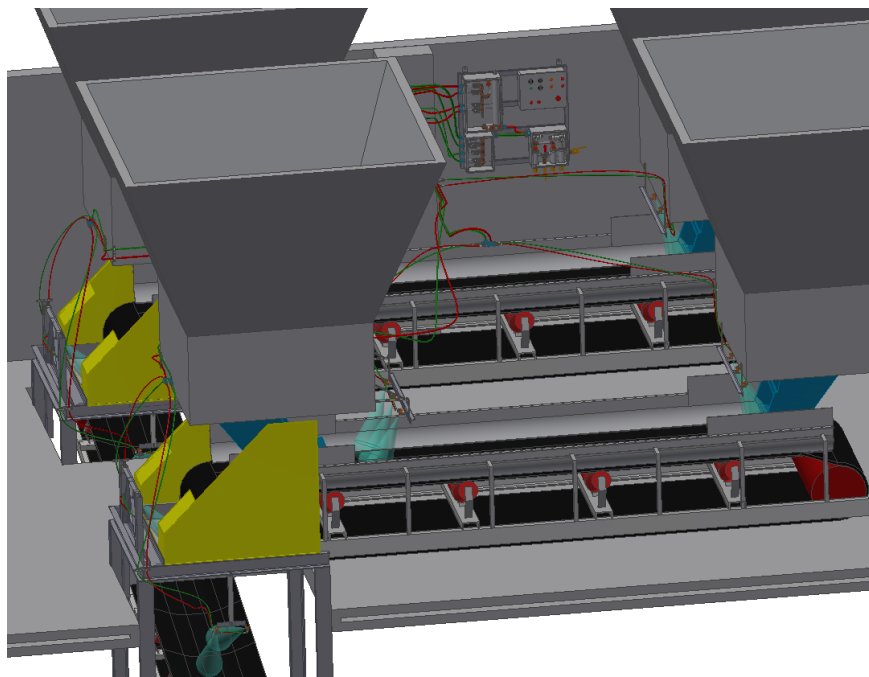
Rys. 8. Instalacja zmniejszająca zapylenie, zabudowana w rejonie kruszarek i przenośników taśmowych, wchodząca w skład instalacji zmniejszającej zapylenie NEPTUN - model przestrzenny [10]

Czwarta z indywidualnych instalacji zmniejszających zapylenie, zastosowana będzie na stanowisku obsługi zbiorników, urządzeń załadowniczych i rozładowniczych węgla, podzielona zostanie na dwa niezależne układy, obejmujące dwa rejony zbiorników (rys. 9). Rejon I obejmie poziomy +30,10m oraz +27,7m, a rejon II poziomy +20,8m, +18,8m i +16,6m. Instalacja zmniejszająca zapylenie wyposażona zostanie w 40 atomizerów ultradźwiękowych, z czego w rejonie I 14 dysz ultradźwiękowych, a w rejonie II zbiorników miału zastosowanych zostanie 26 dysz ultradźwiękowych. W rejonie pierwszym, działaniem dysz ultradźwiękowych zostanie objęty przesyp z przenośnika taśmowego PT nr 11.01 (poziom +30,10m) na przenośnik taśmowy PT 11.02 oraz PT 11.03 oraz przesypy z przenośnika taśmowego PT nr 11.02 i 11.03. W drugim rejonie, dysze ultradźwiękowe zostaną umieszczone w rejonie zsyłu z przesiewacza 11.04, 11.06 i rejonie zsyłu z przesiewacza 11.05, 11.07 oraz rejonie zabudowy zsuwni zdawczej z przesiewacza 11.06 i 11.07 na przenośnik PT. 1.01.



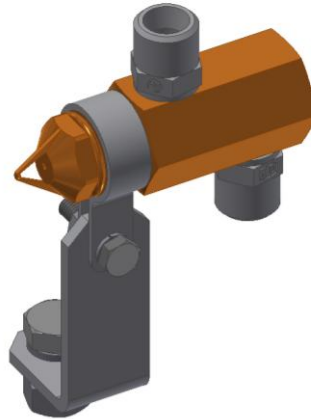
Rys. 9. Instalacja zmniejszająca zapylenie, zabudowana w rejonie zbiorników mialu, wchodząca w skład instalacji zmniejszającej zapylenie NEPTUN - model przestrzenny [10]

Ostatnia z indywidualnych instalacji zmniejszających zapylenie, zostanie umieszczona na stanowisku obsługi podajników na poziomie +3,70m i będzie wyposażona w 20 atomizerów ultradźwiękowych, skierowanych w kierunku źródeł zapylenia: przesyp podajnika 11.10 i 11.11 na PT nr 02 oraz wyloty ze zbiornika mialu nr 1÷4 (rys. 10).



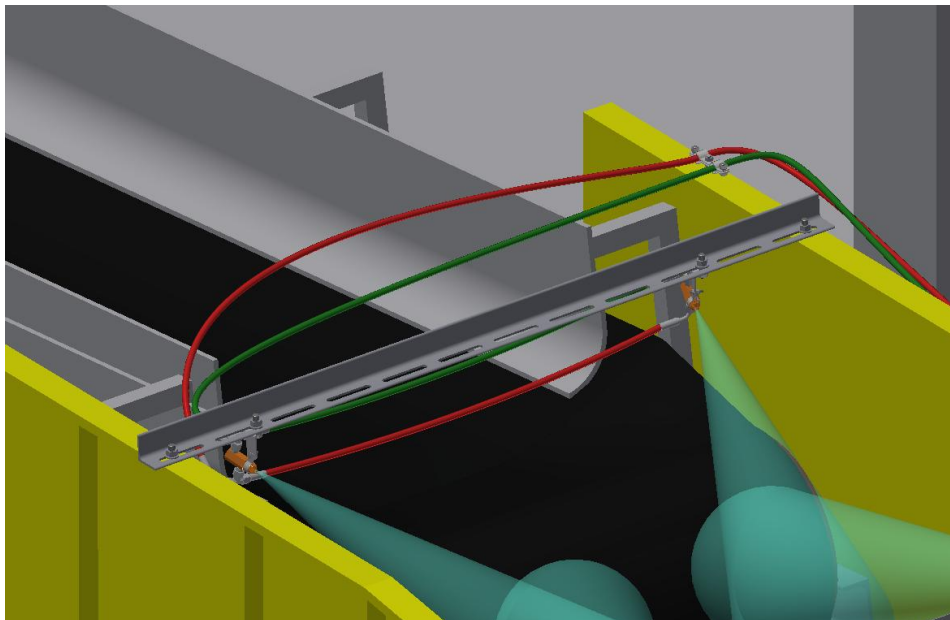
Rys. 10. Instalacja zmniejszająca zapylenie, zabudowana pod zbiornikami mialu, wchodząca w skład instalacji zmniejszającej zapylenie NEPTUN - model przestrzenny [10]

W zależności od warunków zabudowy, charakteru pracy, czy możliwości technicznych, instalacje zraszające zaprojektowano tak, aby przy użyciu strumieni zraszających dotrzeć jak najbliżej źródła zapylenia. Spowodowało to konieczność zastosowania różnych sposobów zabudowy dysz ultradźwiękowych. Uniwersalnym sposobem montażu dyszy, będzie zastosowanie połączenia przegubowego, umożliwiającego ustawianie kierunku dyszy w zakresie 180° w pionie i 360° w poziomie (rys.11). Taki sposób uchwycenia dyszy, umożliwi jej montaż do płaskich elementów (blach, osłon itd.).



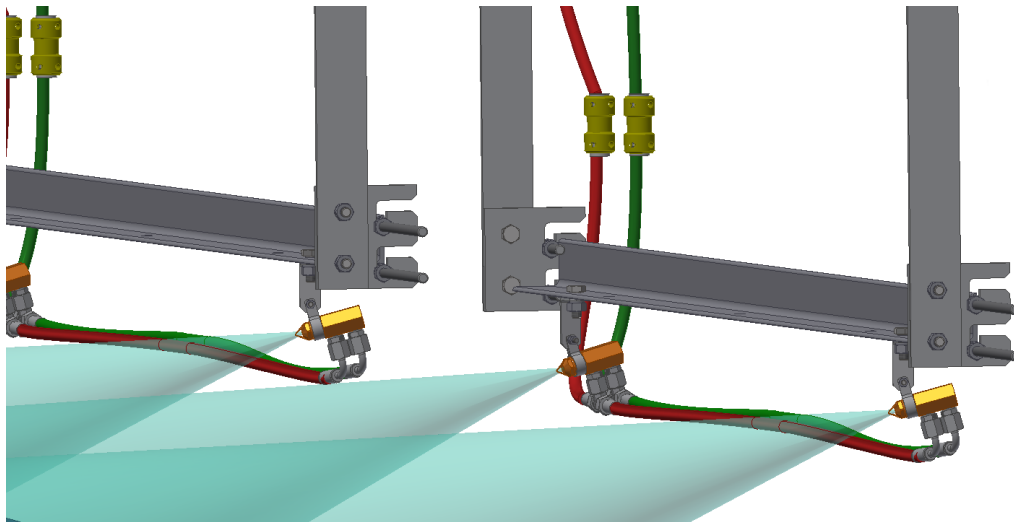
Rys. 11. Przegubowy sposób montażu dyszy ultradźwiękowej [10]

W przypadku konieczności zastosowania większej liczby dysz ultradźwiękowych, zostaną one, wraz z przegubami, umieszczone na kątownikach z odpowiednią liczbą otworów montażowych (w formie baterii zraszającej), sztywno zamocowanych do elementów przenośników, czy obudów (rys. 12).



Rys. 12. Dysze ultradźwiękowe zabudowane sztywno na belce, tworzące baterię zraszającą [10]

Z kolei w miejscach, gdzie konieczne będzie zastosowanie baterii zraszających, z możliwością szybkiego ich demontażu na czas czyszczenia (sita przesiewaczy), czy remontu zabezpieczonego urządzenia, zastosowane będą specjalne połączenia kształtowe (rys. 13).



Rys. 13. Bateria zraszająca montowana za pomocą połączenia kształtowego [10]

6. Podsumowanie i określenie kierunku dalszych prac

Przeprowadzone w ITG KOMAG prace projektowe dotyczące instalacji zraszającej NEPTUN, składającej się z indywidualnych instalacji zraszających, do zmniejszenia zapylenia na Zakładzie Przeróbki Mechanicznej Węgla Polskiej Grupy Górniczej sp. z o.o. Oddział KWK „Bolesław Śmiały, są pierwszym etapem prac, zmierzającym do zabudowy jej na stanowiskach pracy. Wyposażenie poszczególnych miejsc pracy w indywidualne instalacje zraszające z dyszami ultradźwiękowymi, ma na celu zmniejszenie zapylenia do wartości poniżej najwyższych dopuszczalnych stężeń (NDS).

Opracowany projekt techniczny poddano ocenie przyszłemu użytkownikowi i po uwzględnieniu jego uwag, stanowił będzie podstawę do wykonania dokumentacji technicznej. W kolejnym etapie przewidziany jest montaż i rozruch instalacji NEPTUN przez FIW ELEKTRON s.c., na poszczególnych stanowiskach pracy, a następnie przeprowadzenie pomiarów zapylenia, weryfikujące jej działanie.

Literatura:

- [1] Bałaga D., Cebula D., Kalita M., Siegmund M.: Powietrzno-wodne instalacje zraszające do redukcji zapylenia. Wiadomości Górnicze. 2015 nr 11 s. 560-568
- [2] Bałaga D., Siegmund M., Urbanek A.: Systemy do redukcji zapylenia w zakładach przerobczych. Maszyny Górnicze 2015
- [3] Bałaga D. i inni.: Instalacja dla zmniejszenia zapylenia na stanowiskach pracy. Projekt wstępny W90.373PW-CY wydanie 1. KOMAG 2017 (materiały niepublikowane)
- [4] Bałaga D. i inni.: Instalacja dla zmniejszenia zapylenia NEPTUN. Projekt techniczny W90.373PY wydanie 1. KOMAG 2018 (materiały niepublikowane)
- [5] Prostański D., Bałaga D., Siegmund M., Urbanek A.: Ograniczenie zapylenia w kopalniach z wykorzystaniem powietrzno-wodnych urządzeń zraszających Bryza. W: Materiały na konferencję: XXII Szkoła Eksploatacji Podziemnej 2013. Kraków, 18-22 lutego 2013 s. 1-12

- [6] Stefanicka M.: Techniczne metody ograniczania zapylenia w zakładach kruszyw i ocena ich skuteczności. Mining Science 2013 vol. 20, 71-85
- [7] Śmiejek Z.: Punktowe i przestrzenne odpylenie węzłów suchej przeróbki węgla kamiennego. Materiały na konferencję: Zwalczenie zagrożeń pyłowych w górnictwie. W: Międzynarodowa konferencja naukowowo- techniczna. Wisła 5-7 października 1999 r.
- [8] Rozporządzenia Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 12 czerwca 2018 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy - Dz. U. 2018 poz. 1286
- [9] PN-G-52001:2015-11 Urządzenia do zwalczania zapylenia w górnictwie podziemnym - Dysze zraszające
- [10] Archiwum fotograficzne ITG KOMAG 2018

Czy wiesz, że

...rocznie na świecie, na skutek chorób związanych z wdychaniem zapyłonego powietrza w miejscach pracy, umiera ponad 475 000 ludzi. Pomiary i analizy retrospektywne stanu zapylenia stanowisk pracy w górnictwie standardowo polegają na zbieraniu przez filtr próbek, które następnie przekazywane są do laboratorium, gdzie na wyniki oczekuje się nawet do 2 tygodni. W tym czasie załoga narażona jest na wdychanie niebezpiecznych cząstek, głównie krzemionki. Taki stan jest już nie do przyjęcia, a samo zaostżenie przepisów dotyczących warunków pracy nie wystarczy. Konieczne jest zastosowanie najnowszych technologii umożliwiających dokonywanie pomiarów i sygnalizowanie zagrożeń na bieżąco. Kontrolę powietrza w czasie rzeczywistym umożliwia system monitoringu poziomu zapylenia firmy Trolex Group Ltd. Określa on nie tylko stopień zapylenia, ale również rodzaje zawieszonych cząstek i stężenie metanu, umożliwia optymalizację przepływów oraz pokazuje stan zagrożenia poszczególnych obszarów w danej chwili. W rezultacie, jakość powietrza ulega poprawie, a jednocześnie zmniejszają się koszty utrzymania właściwego stanu bezpieczeństwa i higieny pracy w kopalni.

World Coal 2018 nr 4 s.39-41

Agregat chłodniczy w układzie zamkniętym dla silników elektrycznych maszyn górniczych

dr inż. Krzysztof Nieśpiałowski
mgr inż. Norbert Rawicki
mgr inż. Mateusz Wójcicki
Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Closed circuit cooling unit for electric motors of a mining machine

Streszczenie:

W artykule przedstawiono trzy warianty koncepcji agregatu chłodniczego w układzie zamkniętym. Agregat będzie przeznaczony do chłodzenia silników elektrycznych w obudowach przeciwybuchowych, wyposażonych w wodny układ chłodzenia. Ze względu na konieczność ograniczenia zużycia wody, zdecydowano się na układ zamknięty, w którym pompa tłoczy medium chłodnicze ze zbiornika poprzez obiekty chłodzone i chłodnicę z powrotem do zbiornika. Napęd pompy i wentylatora chłodnicy zasilono z jednego silnika elektrycznego w wykonaniu ATEX.

Abstract:

Three variants of the closed circuit cooling unit concept are presented. The cooling unit with water cooling system is designed for cooling the electric motors in anti-explosion enclosures. Due to the need to reduce water consumption, a closed circuit system was used, where the pump pushes the coolant from the tank through the cooled objects and radiator and then back to the tank. The pump and the radiator fan is powered by an electric motor in ATEX manufacture.

Słowa kluczowe: górnictwo, zespół napędowo-pompowy, agregat chłodniczy, pompa hydrauliczna

Keywords: mining industry, driving-and-pump unit, cooling unit, hydraulic pump

1. Wprowadzenie

W krajowym górnictwie węgla kamiennego od dziesięcioleci stosowane są napędy wyposażone w silniki elektryczne o mocach sięgających kilkuset kilowatów. Ze względu na warunki pracy (atmosfera z zagrożeniem wybuchem metanu i/lub pyłu węglowego) silniki te wykonywane są w obudowach ognioszczelnych [3, 4]. Stosowany jest w nich wodny układ chłodzenia, zasilany zazwyczaj z górniczej magistrali przeciwpożarowej. Woda pochodząca z instalacji ppoż., poza zanieczyszczeniami stałymi wymagającymi ciągłej filtracji, posiada rozpuszczone minerały (jonów wodorowęglanowych), które po jej podgrzaniu wytrącają się na ściankach układu chłodniczego w postaci kamienia kotłowego. Powoduje to zmniejszenie przekroju poprzecznego przewodów, co przekłada się na obniżenie sprawności procesu chłodzenia. W skrajnych przypadkach może to prowadzić do uszkodzenia silnika elektrycznego. W związku z powyższym, silniki elektryczne wymagają okresowej konserwacji, polegającej na odkamienianiu układu chłodniczego poprzez przetaczanie właściwej cieczy. W tym celu silnik należy zdemontować i przewieźć do najbliższego warsztatu oddziałowego lub zastosować mobilny agregat czyszczący. Powoduje to przerwy technologiczne, narażające kopalnie na straty ekonomiczne.

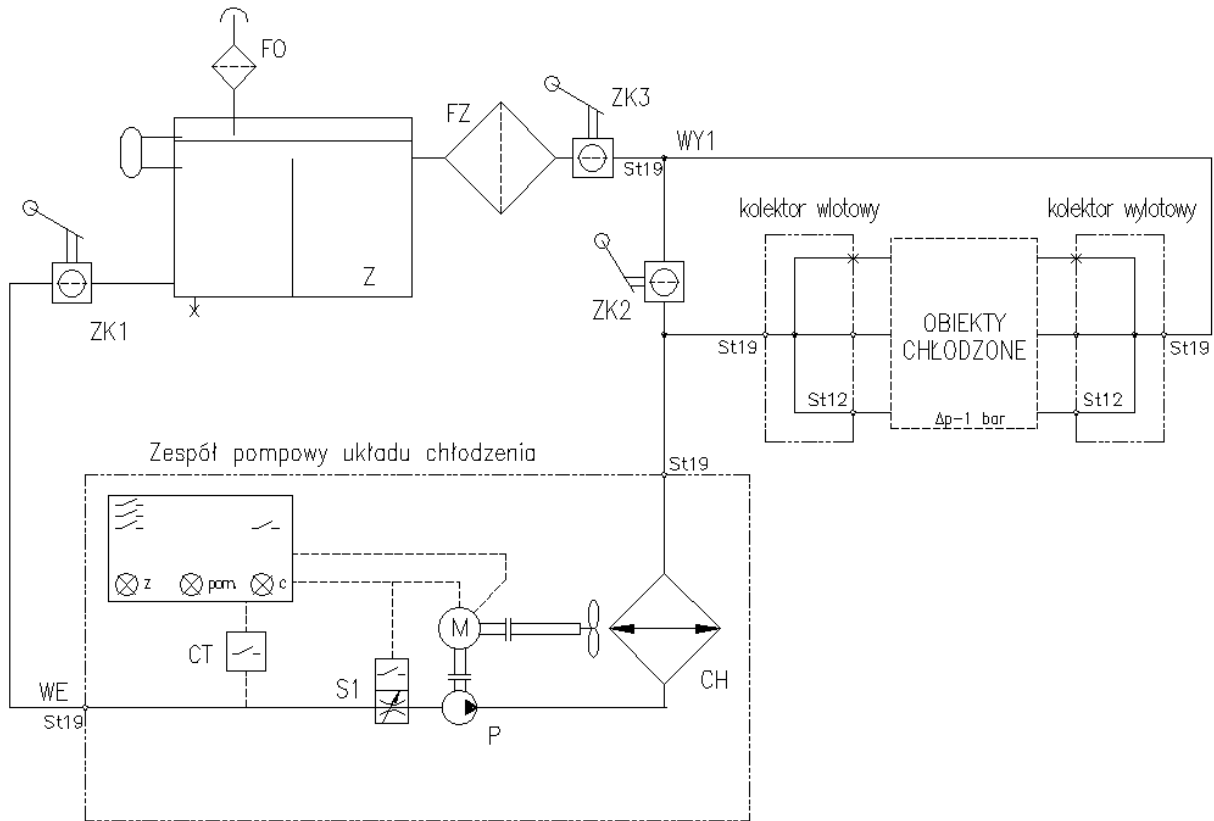
Rozwiązaniem powyższego problemu może być zastosowanie hydraulicznego agregatu chłodniczego, pracującego w układzie zamkniętym. Jego zaletą jest możliwość stosowania specjalistycznych cieczy chłodniczych o uszlachetnionym składzie, nie powodujących osadzania kamienia kotłowego na ściankach układu chłodniczego, przy jednoczesnym zachowaniu właściwości konserwujących.

W niniejszym artykule przedstawiono koncepcję układu hydraulicznego (w trzech wersjach) zbudowanego z agregatu chłodniczego pracującego w obiegu zamkniętym, przeznaczonego do współpracy z układami chłodniczymi silników elektrycznych dużych mocy, z możliwością stosowania go w podziemnych wyrobiskach węglowych ze stopniem zagrożenia wybuchem metanu „a”, „b” lub „c” i/lub „A”, „B” zagrożenia wybuchem pyłu węglowego.

2. Wariant pierwszy

W wariantcie pierwszym rozwiązania (rys. 1), w układzie zastosowano pompę hydrauliczną zamontowaną na zbiorniku. Napęd pompy stanowi silnik elektryczny w wykonaniu ATEX [6] o mocy 1,5 kW, o napięciu znamionowym 500 V lub 1000 V. Zastosowany silnik posiada dwustronny wał napędowy. Jedna strona wału połączona jest z pompą, natomiast druga z wentylatorem chłodnicy powietrzno-wodnej. Ciecz chłodnicza zasysana przez pompę kierowana jest do chłodnicy (w wykonaniu ATEX), a następnie do kolektora wlotowego, obiektów chłodzonych, kolektora wylotowego i do zbiornika. Ze względu na niskie ciśnienie w układzie hydraulicznym (około 0,6 MPa), chłodnicę umieszczono w linii tłocznej. Wstępnie w kolektorze wlotowym przewidziano trzy gniazda – dwa robocze oraz jedno rezerwowe. Układy chłodnicze obiektów chłodzonych połączono z kolektorem giętkimi przewodami, z zakończeniami w postaci szybkozłączy typu Stecko.

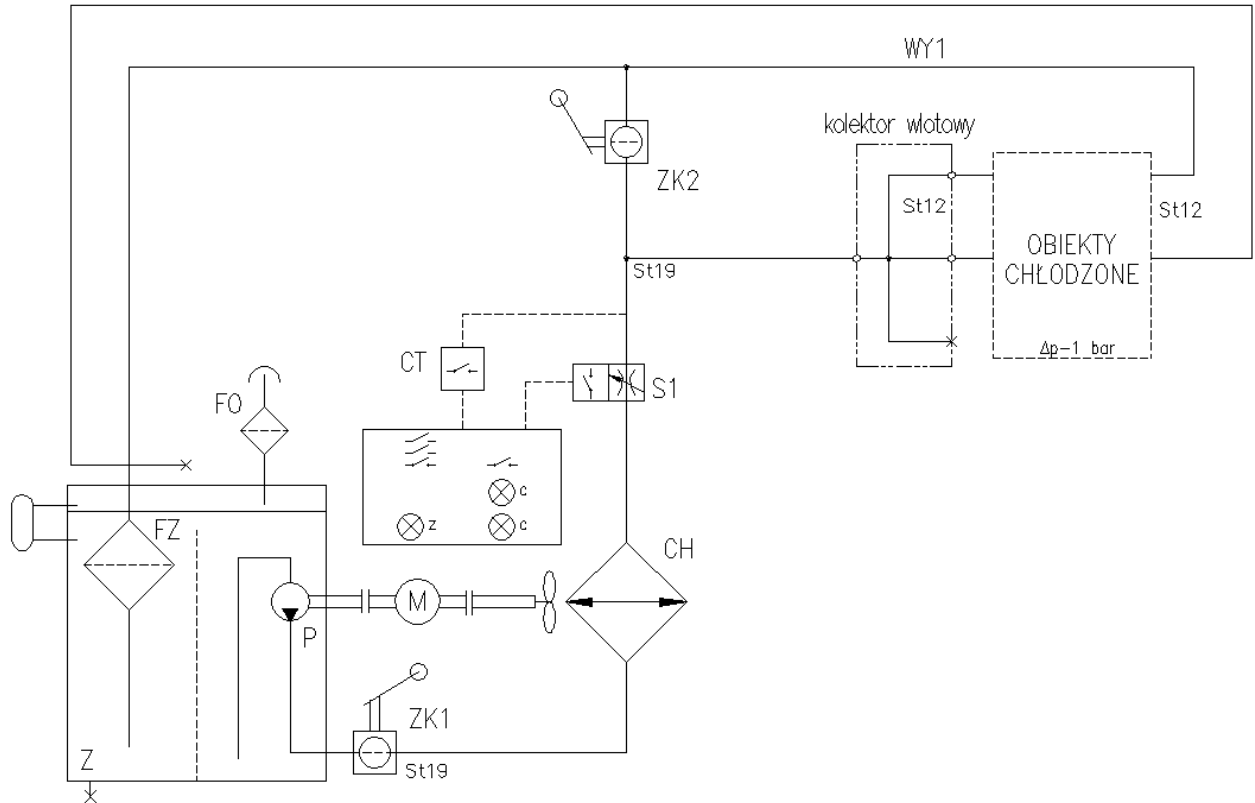
W miejscu doprowadzenia medium chłodzącego do zbiornika zabudowano dwa zawory odcinające. Pierwszy połączono równolegle do układów chłodzonych w celu uzyskania maksymalnego przepływu bez powodowania dławienia na pompie. Drugi przeznaczony jest do odcinania zbiornika medium od reszty układu, na przykład w czasie wykonywania prac konserwacyjnych lub serwisowych. Dodatkowo, zbiornik wyposażono w niezbędne akcesoria w postaci: filtra odpowietrzającego, zaworu kulowego odcinającego dopływ cieczy do pompy, korka spustowego oraz poziomowskazu. Ponadto, układ hydrauliczny wyposażono w filtr zanieczyszczeń na linii sphywowej oraz czujnik ciśnienia na gałęzi ssawnej. Zabudowany w układzie sygnalizator przepływu (elektrycznie połączony z układem sterującym, będącym integralnym modułem zespołu pompowego) pozwala na monitorowanie obiegu cieczy w układzie.



Rys. 1. Schemat hydrauliczny pierwszej wersji koncepcji zespołu zamkniętego układu chłodzenia [5]:
 Z - zbiornik, ZK - zawór kulowy, P - pompa hydrauliczna, M - silnik elektryczny,
 CH - chłodnica powietrzno-wodna, S1 - sygnalizator przepływu, CT - przetwornik temperatury,
 FZ - filtr zlewowy, FO - filtr oddechowy, St - przyłącze Stecco

3. Wariant drugi

Schemat hydrauliczny wariantu drugiego przedstawiono na rysunku 2. Najważniejszą zmianą w drugim wariantcie było zastosowanie pompy wewnątrz zbiornika. Dodatkowo, zdecydowano się na przeniesienie kolektora zlewowego z otoczenia obiektów chłodzonych na zbiornik.

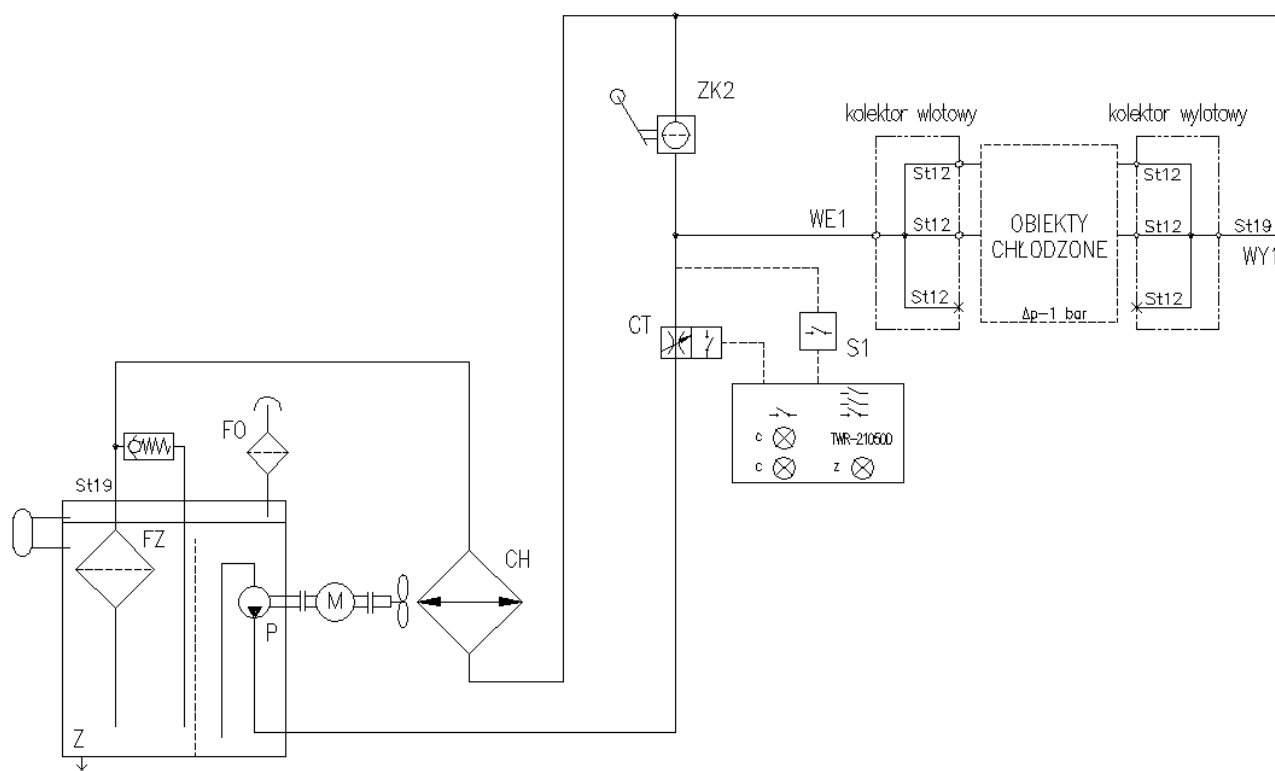


Rys. 2. Schemat hydrauliczny drugiej wersji koncepcji zespołu zamkniętego układu chłodzenia [5]:

Z - zbiornik, ZK - zawór kulowy, P - pompa hydrauliczna, M - silnik elektryczny,
 CH - chłodnica powietrzno-wodna, S1 - sygnalizator przepływu, CT - czujnik temperatury,
 FZ - filtr zlewowy, FO - filtr oddechowy, St - przyłącze Stecko

4. Wariant trzeci

Wersję trzeciego wariantu układu hydraulicznego przedstawiono na rysunku 3. Obydwa kolektory, wlotowy i wylotowy, przeniesiono bezpośrednio na ramę agregatu chłodzącego, co może usprawnić proces podłączania i odłączania obiektów chłodzonych. Same kolektory powinny być konstruowane pod wstępnie określone warunki.

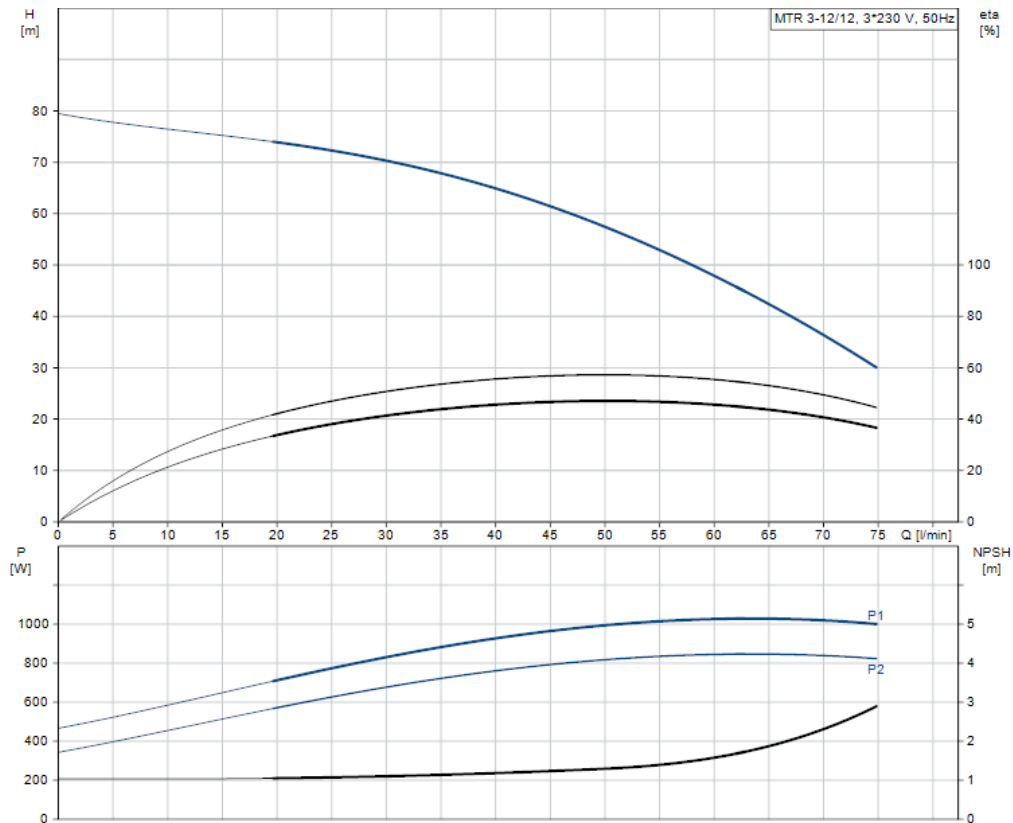


Rys. 3. Schemat hydrauliczny trzeciej wersji koncepcji zespołu zamkniętego układu chłodzenia [5]:

Z - zbiornik, ZK - zawór kulowy, P - pompa hydrauliczna, M - silnik elektryczny,
 CH - chłodnica powietrzno-wodna, S1 - sygnalizator przepływu, CT - przetwornik temperatury,
 FZ - filtr zlewowy, FO - filtr oddechowy, St - przyłącze Stecko

5. Budowa agregatu chłodniczego

Zbiornik hydrauliczny zaprojektowano jako konstrukcję giętą i spawaną ze stali nierdzewnej, ze względu na występowanie w atmosferze kopalnianej substancji przyspieszających korozję. Za pośrednictwem kołnierza wspawanego w boczną ścianę zbiornika, zamontowano zespół silnikowo-pompowy. Zastosowano odśrodkową pompę wirową o wydatku $167 \text{ dm}^3/\text{min}$, przy prędkości obrotowej wału wynoszącej 2900 min^{-1} . Pompa ta charakteryzuje się możliwością pracy w środowisku wodnym oraz wykonaniem z materiałów dopuszczających ją do pracy w strefach zagrożonych wybuchem. Wybór pompy wirowej podyktowany był stosunkowo niskimi wymaganiami co do ciśnienia medium oraz korzystnymi warunkami zakupu i możliwością pominięcia w układzie zaworu bezpieczeństwa (pompy wirowe po przekroczeniu ciśnienia granicznego działają w obiegu wewnętrznym). Charakterystykę pracy pompy oraz zdjęcie zespołu pompowego przedstawiono na rysunkach 4 i 5.



Rys. 4. Charakterystyka pracy zastosowanej pompy [2]



Rys. 5. Zespół pompy Grundfos [2]

Ze względu na wymagania dyrektywy ATEX niemożliwym było skompletowanie całego zestawu pompowego w jednej firmie. Tak więc silnik zastąpiono konstrukcją, która mogła być zastosowana w wyrobiskach zagrożonych wybuchem metanu i/lub pyłu węglowego. Dodatkowo, zgodnie z założeniami układu, silnik powinien posiadać dwustronne wyprowadzenia wału napędowego (jedna strona do napędu pompy, a druga do napędu wentylatora chłodnicy). W związku z powyższymi wymaganiami, wytypowano silnik Ex o mocy znamionowej 1,5 kW i prędkości synchronicznej 3000 min^{-1} . Zdjęcie przykładowego silnika przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Silnik elektryczny zespołu pompowego [8]

Na zbiorniku hydraulicznym przewidziano zainstalowanie szeregu niezbędnych akcesoriów. Filtr odpowietrzający na pokrywie zapewni utrzymanie wewnątrz zbiornika stałego poziomu ciśnienia, zapobiegając przy tym jego odkształceniom, mogącym powstawać przy zmiennym poziomie medium chłodzącego. Ponadto, na pokrywie zamontowano filtr zlewowy do utrzymania odpowiedniego stopnia czystości medium chłodniczego. Filtr ten będzie wykonany jako szczelinowy oraz dodatkowo zabezpieczony zaworem typu by-pass. Zbiornik planuje się wyposażyć w korek spustowy oraz zawiesia transportowe.

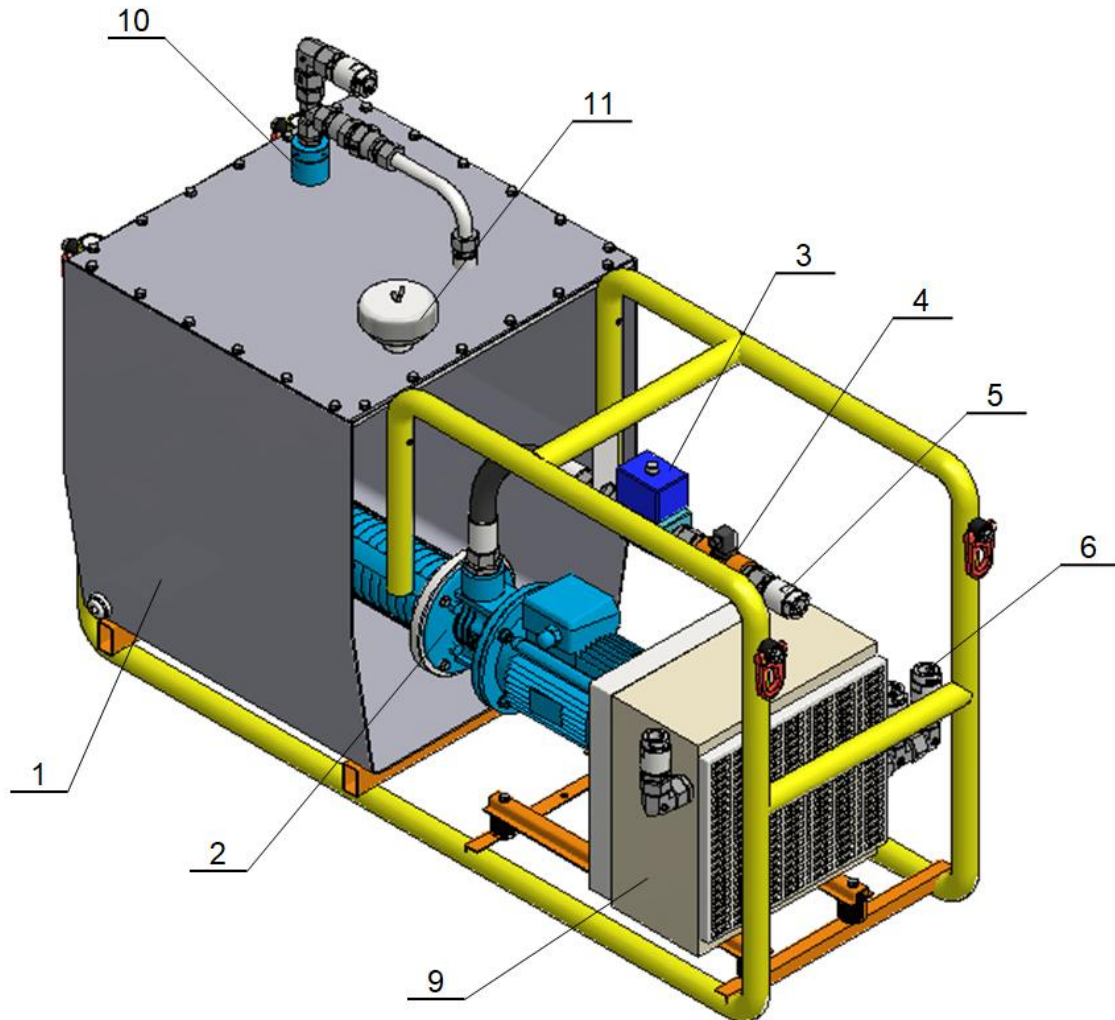
W przypadku chłodnicy zdecydowano się na wykorzystanie konstrukcji miedzianej (chłodnice wykonane z aluminium nie posiadają dopuszczenia do pracy w kopalniach węgla kamiennego). Przykładową chłodnicę zaprezentowano na rysunku 7.



Rys. 7. Chłodnica firmy Hennlich [7]

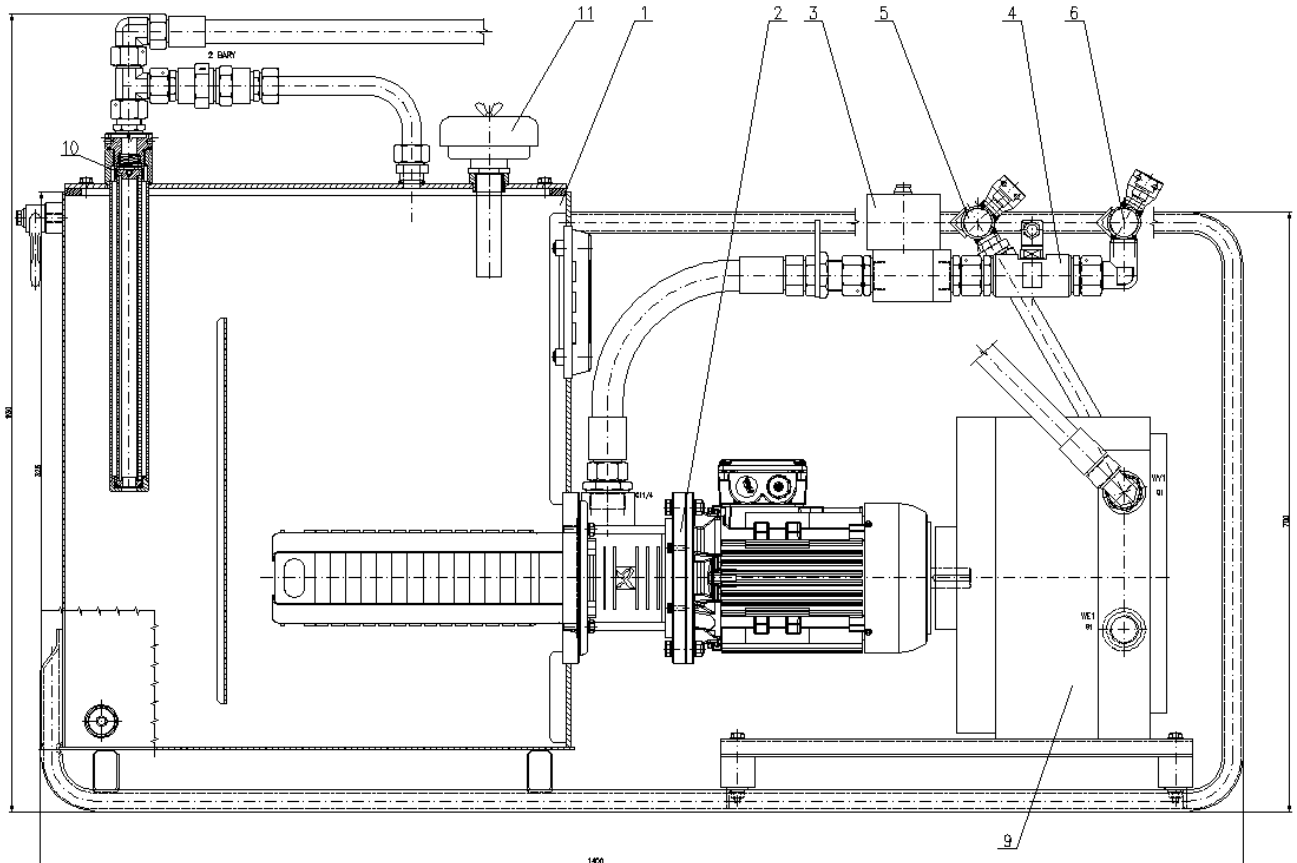
Chłodnicę oraz zbiornik z zainstalowanym osprzętem umieszczono na ramie wykonanej w postaci spawanych rur stalowych.

Cyrkulację cieczy chłodniczej przedstawiono na rysunkach 3, 8 i 9. Medium chłodnicze zasysane ze zbiornika tłoczone jest za pośrednictwem pompy (napędzanej silnikiem elektrycznym) poprzez sygnalizator przepływu i czujnik temperatury do kolektora wlotowego. W kolektorze wlotowym ciecz rozgałęzia się i jest kierowana do wszystkich obiektów chłodzonych. Po odebraniu energii cieplnej, medium kierowane jest do kolektora wylotowego, a następnie na chłodnicę olejowo-powietrzną, skąd po wychłodzeniu kierowane jest przez filtr zlewowy z powrotem do zbiornika.



Rys. 8. Zespół zamkniętego układu chłodzenia – model 3D [5]:

- 1 - podzespół zbiornika, 2 - podzespół pompowo-silnikowy, 3 - sygnalizator przepływu,
 4 - przetwornik temperatury, 5 - podzespół kolektora wlotowego, 6 - podzespół kolektora wylotowego,
 9 - podzespół chłodnicy, 10 - podzespół filtra zlewowego, 11 - filtr oddechowy



Rys. 9. Zespół zamkniętego układu chłodzenia – rysunek zestawieniowy
 1 - podzespół zbiornika, 2 - podzespół pompowo-silnikowy, 3 - sygnalizator przepływu,
 4 - przetwornik temperatury, 5 - podzespół kolektora wlotowego, 6 - podzespół kolektora wylotowego,
 9 - podzespół chłodnicy, 10 - podzespół filtra zlewowego, 11 - filtr oddechowy [1]

6. Podsumowanie

Analiza stanu techniki w zakresie chłodzenia silników elektrycznych dużych mocy, pracujących w podziemnych zakładach górniczych, wykazała brak stosowania agregatów chłodzących pracujących w obiegu zamkniętym. Powszechnie stosowana woda krążąca w rurociągach ppoż., pobierana w celu chłodzenia silników, mimo wykorzystania w układach zraszających jest bezpowrotnie tracona. Dodatkowo, wytrącające się z niej minerały powodują osadzanie się kamienia kotłowego w kanałach chłodniczych i stanowią potencjalne zagrożenie dla poprawnej pracy układu chłodzenia silnika. Wymusza to okresowe czyszczenie kanałów chłodniczych, co wiąże się z przestojami w pracy silników.

W artykule przedstawiono koncepcje układu hydraulicznego zbudowanego z agregatu chłodniczego pracującego w obiegu zamkniętym, przeznaczonego do współpracy z układami chłodniczymi silników elektrycznych dużych mocy. Cechy konstrukcyjne agregatu umożliwiają zastosowanie go w podziemnych wyrobiskach górniczych ze stopniem zagrożenia wybuchem metanu „a”, „b” lub „c” i/lub „A”, „B” zagrożenia wybuchem pyłu węglowego.

Zastosowanie agregatu chłodniczego pracującego w obiegu zamkniętym, umożliwia niezależność od zasilania z magistrali ppoż., a tym samym duże oszczędności wody oraz

likwiduje problem osadzania się kamienia kotłowego w kanałach chłodniczych. Ponadto, w cieczy chłodzącej będzie można zastosować dodatki uszlachetniające, konserwujące kanały układu chłodniczego silników elektrycznych. Takie podejście wydłuży okres eksploatacji silników elektrycznych dużej mocy, chłodzonych cieczą, bez konieczności serwisowania ich chłodniczych układów przepływowych.

Literatura

- [1] Dokumentacja techniczna nr: W68.026 Zamknięty układ chłodzenia silników elektrycznych. ITG KOMAG, 2018 (materiały niepublikowane)
- [2] pl.grundfos.com (24-05-2018)
- [3] PN-EN 60079-0:2013-03 Atmosfery wybuchowe – Część 0: Urządzenia – Podstawowe wymagania
- [4] PN-EN 60079-1:2014-12 Atmosfery wybuchowe – Część 1: Zabezpieczenie urządzeń za pomocą osłon ognioszczelnych „d”
- [5] Rawicki N. i inni: Opracowanie koncepcji zamkniętego układu chłodzenia silników elektrycznych. ITG KOMAG, 2018 (materiały niepublikowane)
- [6] Rozporządzenie Ministra Rozwoju z dnia 6 czerwca 2016 r. w sprawie wymagań dla urządzeń i systemów ochronnych przeznaczonych do użytku w atmosferze potencjalnie wybuchowej (Dz. U. poz. 817)
- [7] www.hennlich.pl (21.05.2018)
- [8] www.motors.celma.pl (21.05.2018)

Koncepcja przekładni cykloidalnej przeznaczonych dla zakrętarek elektrycznych

dr inż. Marek Kalita
Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Concept of a cycloidal gear intended for electric impact wrenches

Streszczenie:

W artykule zaprezentowano aktualny stan wiedzy w zakresie obiegowych przekładni cykloidalnych. Na podstawie jego analizy opracowano koncepcję obiegowej przekładni cykloidalnej przeznaczonej do zabudowy w układzie napędowym zakrętarek śrub i nakrętek. Przeprowadzone obliczenia analityczne w zakresie geometrii uzębienia oraz sił działających na poszczególne podzespoły przekładni umożliwiły opracowanie jej modelu przestrzennego. W artykule przedstawiono założenia projektowe oraz tok obliczeniowy pozwalający na wygenerowanie ekwidystanty epicykloidy zasadniczej skróconej.

Słowa kluczowe: przekładnia cykloidalna, przekładnia obiegowa, epicykloida

Keywords: cycloidal gear, planetary gear, epicycloid

Abstract:

State of the art in the field of planetary cycloidal gears is presented. Basing on this knowledge, the concept of cycloidal gear intended for installation in driving units of impact wrenches for screws and nuts was developed. Analytical calculations on teeth geometry and forces acting on each gear subassembly enabled preparation of its 3D model. Design assumptions as well as calculations procedure enabling generation of main epicycloid equidistant are presented.

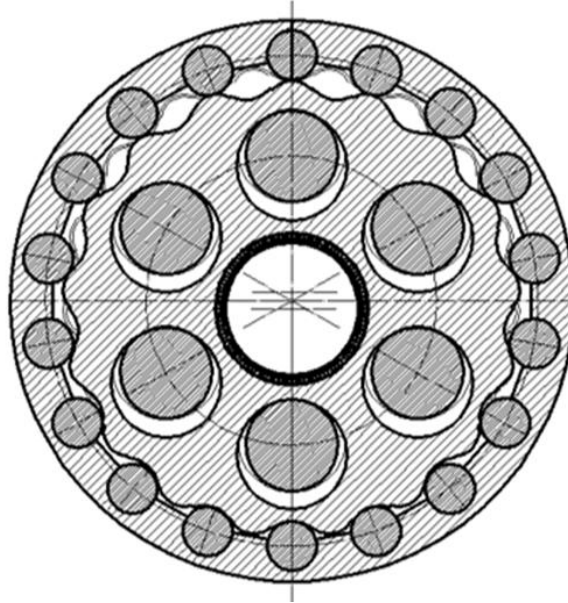
1. Wprowadzenie

Obiegowe przekładnie cykloidalne (trochoidalne) charakteryzują się dużymi przełożeniami i dużą obciążalnością, przy zwartej budowie. Wysokie wartości przełożeń są uzyskiwane na jednym stopniu, poprzez stosowane wewnętrznych, pozaśrodkowych zazębień cykloidalnych. Koła zębate przekładni cykloidalnych podczas ruchu nie wywołują dużych sił masowych, przez co możliwy jest ich łagodny rozruch i szybka zmiana kierunków obrotu [3]. Przekładnie cykloidalne, zaliczane do obiegowych przekładni mimośrodkowych, jak już wspomniano, mogą być znacznie przeciążane. Charakteryzują się cichobieżnością, równomiernością ruchu oraz mniejszą liczbą elementów w porównaniu z przekładniami klasycznymi [6].

Cechą wyróżniającą obiegowe przekładnie cykloidalne od innych są dwa obiegowe koła zębate o cykloidalnym zarysie zębów (rys. 1). Koła są zabudowane mimośrodkowo na wale napędowym i współpracują z elementami tocznymi umieszczonymi w korpusie przekładni. Do przekazywania ruchu obrotowego z wału napędowego na wał zdawczy (lub jarzmo) służy mechanizm równowodowy, składający się ze sworzni osadzonych w otworach obu obiegowych kół cykloidalnych [1, 6].

Przekładnie cykloidalne, w porównaniu do przekładni o zazębieniu ewolwentowym, nie były szeroko stosowane ze względu na złożoną geometrię uzębienia i trudności związane z technologią produkcji krzywoliniowych uzębień kół obiegowych [3]. Rozwój komputerowego wspomaganie projektowania, a także precyzyjnych technologii obróbki między innymi takich jak elektrodrążenie i obróbka CNC umożliwiły rozwój przekładni cykloidalnych. Obecnie obiegowe przekładnie cykloidalne znajdują zastosowanie w wielu

gałęziach przemysłu. Są stosowane w obrabiarkach, maszynach tekstylnych i szklarskich, w przegubach robotów, stołach obrotowych, a także we wciągnikach [1, 2].



Rys. 1. Schemat konstrukcyjny obiegowej przekładni cykloidalnej [opracowanie własne]

W niniejszym artykule przedstawiono koncepcję obiegowej przekładni cykloidalnej przeznaczonej do zabudowy w układzie napędowym zakrętarek elektrycznych. Zakrętarke elektryczne, z regulowanym momentem obrotowym, przeznaczone są do zakręcania oraz odkręcania śrub i nakrętek. Urządzenie umożliwia wykonywanie połączeń śrubowych z jednakowym i powtarzalnym momentem obrotowym. Układ sterowania zakrętarke automatycznie wyłącza napęd po osiągnięciu nastawianego, wymaganego momentu obrotowego. Dokładność powtarzalności momentu obrotowego, wg producenta, wynosi 3%. Koncepcję przekładni dedykowanej do zakrętarek elektrycznych opracowano na podstawie założeń technicznych zdefiniowanych przez Zakład Budowy Maszyn OSSA.

2. Stan wiedzy

Przegląd literaturowy dotyczący empirycznych równań epicykloidy, obliczeń strat mocy i sprawności został przedstawiony w publikacjach [5, 7]. W publikacji [3] zawarto obszerny przegląd stanu wiedzy z zakresu obiegowych przekładni cykloidalnych, podsumowany, między innymi, następującymi stwierdzeniami:

- w obiegowych przekładniach cykloidalnych stosuje się niekorygowane zazębienie wewnętrzne, charakteryzujące się brakiem luzów oraz rozkładem sił na połowie obwodu koła obiegowego,
- metoda analityczna wyznaczania obciążeń uwzględnia szereg założeń upraszczających, niezgodnych z rzeczywistą konstrukcją przekładni,
- metoda analityczna umożliwia wyznaczenie wartości siły działającej na łożysko centralne oraz rozkład obciążeń w zazębieniu i mechanizmie równowodowym,
- najbardziej wyteżonym węzłem przekładni jest łożysko zabudowane na mimośrodkie wału napędowego,

- stan wiedzy jest dość fragmentaryczny i tylko nieliczne publikacje [3, 5] uwzględniają zarówno obliczenia analityczne jak i wyniki badań doświadczalnych przeprowadzonych na obiekcie rzeczywistym.

W publikacji [3] zawarto szeroki opis zagadnień związanych z geometrią i konstruowaniem obiegowych przekładni cykloidalnych, metod analitycznych i numerycznych wyznaczania obciążeń, zasad modyfikacji uzębienia, prognozowania trwałości powierzchni roboczych kół oraz opis doświadczalnej weryfikacji przekładni ze zmodyfikowanym zazębieniem cykloidalnym. Powyższe informacje mogą być niezwykle przydatne podczas projektowania przekładni, szczególnie z uwagi na fakt, że powyższa wiedza została zweryfikowana doświadczalnie.

Kolejną publikacją, w której opisano metody projektowania oraz geometria kół cykloidalnych jest pozycja literaturowa [7]. Autor zebrał wieloletnią wiedzę praktyczną wynikającą ze współpracy z wieloma producentami maszyn hydraulicznych. Poza opisem procesu projektowania kół cykloidalnych w publikacji ujęto również istotne informacje odnośnie technologii ich wykonywania. Zaproponowane przez autora równania parametryczne krzywej cykloidalnej oraz krzywej korygowanej (ekwidystanty epicykloidy skróconej) zastosowano między innymi do wyznaczenia geometrii kół obiegowych przekładni będącej przedmiotem niniejszego artykułu.

Metodę obliczania geometrii kół obiegowych przekładni cykloidalnych w bardzo syntetyczny sposób zaprezentowano w publikacji [1]. Zaproponowany przez autora sposób obliczania cech geometrycznych zespołu kół cykloidalnych został użyty do obliczeń na potrzeby opracowywanej koncepcji przekładni do zakrętarek.

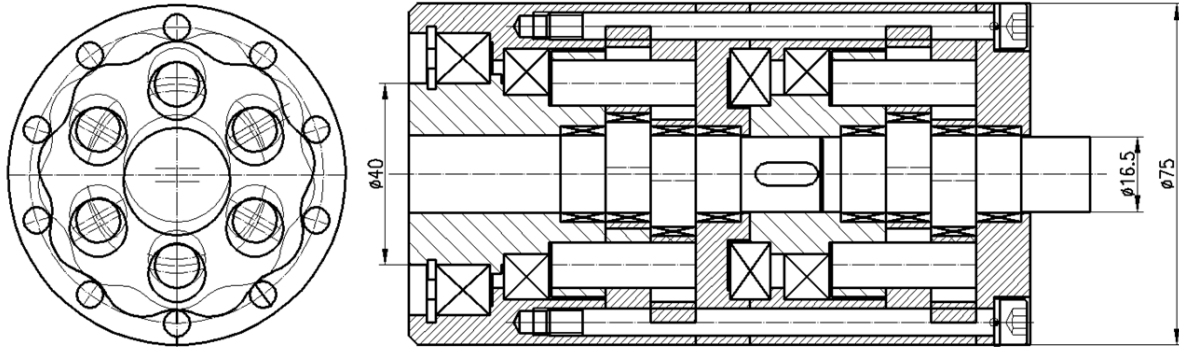
Z kolei w publikacji [5] zawarto opis procedury obliczeniowej w zakresie sprawności teoretycznej jednostopniowej przekładni cykloidalnej oraz zamieszczono wyniki badań stanowiskowych sprawności w warunkach ustalonej temperatury oraz pracy ustalonej i cyklicznej. Zdefiniowane przez autorów wnioski dotyczące środków smarnych oraz prędkości obrotowych przekładni mogą stanowić wytyczne do projektowania obiegowych przekładni cykloidalnych. Potwierdzeniem tego są przedstawione w pracy wyniki sprawności teoretycznej i eksperymentalnej.

3. Założenia projektowe

Jak już wspomniano, przekładnia cykloidalna prezentowana w niniejszym artykule przeznaczona jest do zastosowania w układzie napędowym zakrętarek śrub i nakrętek. Cechami wyróżniającymi tego typu urządzenia są małe wymiary gabarytowe oraz zdolność przenoszenia bardzo dużych momentów obrotowych. Podczas prac koncepcyjnych przeanalizowano możliwości zaprojektowania przekładni cykloidalnej o wskazanych przez producenta przełożeniach i wymiarach gabarytowych. Ostatecznie przyjęto następujące założenia projektowe:

- maksymalny moment wyjściowy – 1600 Nm,
- prędkość wejściowa ~600 obr/min,
- przełożenie ~80,
- maksymalna średnica zewnętrzna – 75 mm.

Opracowano postać konstrukcyjną dwustopniowej obiegowej przekładni cykloidalnej o przełożeniu $i=81$ oraz średnicy zewnętrznej $\phi 75$ mm (rys. 2). Każdy stopień przekładni charakteryzuje się przełożeniem $i=9$. Jednakowe wartości przełożeń pozwoliły na zastosowanie tych samych, zewnętrznych elementów tocznych w postaci szpilek, pełniących funkcję koła centralnego oraz łączących obydwie stopnie przekładni.



Rys. 2. Postać konstrukcyjna obiegowej przekładni cykloidalnej o przełożeniu $i=81$ [4]

4. Obliczenia i koncepcja przekładni cykloidalnej

Pierwszym etapem projektowania przekładni było określenie geometrii koła zębatego oraz analityczne wyznaczenie obciążenia działającego na uzębienie. W przekładniach cykloidalnych obiegowe koła zębate mają epicykloidalny zarys zębów, współpracujący z rolkami koła centralnego. Utworzony jest on przez ekwidystantę epicykloidy zasadniczej skróconej, opisaną za pomocą równań parametrycznych [2]:

$$x_{eke} = \rho \times (z_1 + 1) \times \cos \eta - \lambda \times \rho \times \cos(z_1 + 1) \times \eta + g \times \frac{\cos \eta - \lambda \times \cos(z_1 + 1) \times \eta}{\sqrt{1 - 2 \times \lambda \times \cos z_1 \times \eta + \lambda^2}} \quad (1)$$

$$y_{eke} = \rho \times (z_1 + 1) \times \sin \eta - \lambda \times \rho \times \sin(z_1 + 1) \times \eta + g \times \frac{\sin \eta - \lambda \times \sin(z_1 + 1) \times \eta}{\sqrt{1 - 2 \times \lambda \times \sin z_1 \times \eta + \lambda^2}} \quad (2)$$

gdzie:

z_1 – liczba zębów obiegowego koła zębatego,

ρ – promień koła toczącego się po kole zasadniczym,

λ – współczynnik wysokości zęba lub współczynnik skrócenia epicykloidy,

g – odległość przesunięcia ekwidystanty,

η – kąt epicykloidy.

Powyższe równania wyznaczają zarys uzębienia obiegowego koła zębatego dla różnych wartości parametrów uzębienia, a więc dla liczby zębów z_1 , promienia koła obtaczanego ρ , współczynnika skrócenia epicykloidy λ oraz odległości przesunięcia ekwidystanty g .

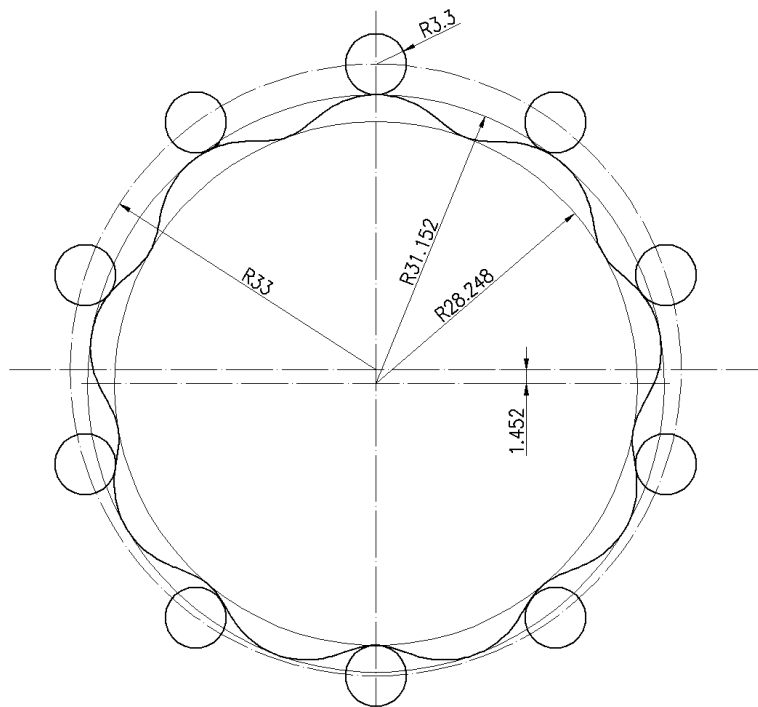
Dla projektowanej obiegowej przekładni cykloidalnej założono liczbę zębów $z_1=9$, wartość promienia $\rho=3,3$ mm i odległość przesunięcia ekwidystanty $g=3,3$ mm. Pozwoliło to na obliczenie cech geometrycznych kół zębatych oraz wykreślenie ekwidystanty epicykloidy

zasadniczej skróconej za pomocą oprogramowania Autodesk Inventor. W tabeli 1 zestawiono cechy geometryczne kół cykloidalnych (obiegowego i centralnego), a na rysunku 3 pokazano geometrię zazębienia.

Cechy geometryczne zespołu kół zębatych obiegowej przekładni cykloidalnej [4]

Tabela 1

	Koło obiegowe (z_1)		Koło centralne (z_2)	
	Zależność	Wartość [mm]	Zależność	Wartość [mm]
Promień koła wierzchołkowego	$r_{a1}=\rho\cdot(z_1+1+\lambda)-g$	31,152	$r_{a2}=\rho\cdot(z_1+1)-g$	29,7
Promień koła stóp	$r_{f1}=\rho\cdot(z_1+1-\lambda)-g$	28,248	$r_{f2}=\rho\cdot(z_1+1+2\cdot\lambda)-g$	32,604
Promień koła tocznego	$r_{w1}=e\cdot z_1=\rho\cdot\lambda\cdot z_1$	13,068	$r_{w2}=e\cdot(z_1+1)=\rho\cdot\lambda\cdot(z_1+1)$	14,52
Promień koła zasadniczego	$r_b=\rho\cdot z_1$	29,7	-	-
Promień rozmieszczenia rolki	-	-	$r_r=\rho\cdot(z_1+1)$	33
Mimośród	Zależność	$e=\lambda\cdot\rho$ lub $e=h/2$		
	Wartość [mm]	1,452		
Wysokość zęba	Zależność	$h=2\cdot e$		
	Wartość [mm]	2,904		



Rys. 3. Parametry geometrii uzębienia przekładni cykloidalnej [4]

Jednym z czynników weryfikujących poprawność zarysu zębów jest właściwa współpraca koła obiegowego i centralnego. W związku z powyższym konieczne było sprawdzenie warunków współpracy kół w zespole. Podstawowe warunki poprawnej współpracy kół to [2]:

1. Warunek powstawania promienia krzywizny w obiegowym kole zębatym:

$$\frac{z-1}{2 \times z + 1} \leq \lambda \leq 1 \quad (3)$$

2. Warunek niepodcinania zębów z_1 obiegowego koła zębatego:

$$e \geq \frac{\lambda \times g \times (1 - \lambda \times (z_1 + 2) \times \cos(z_1 \times \eta_e) + \lambda^2 \times (z_1 + 1))}{(z_1 + 1) \times (1 - 2 \times \lambda \times \cos(z_1 \times \eta_e) + \lambda^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (4)$$

dla

$$\eta_{emin2} = \frac{1}{z_1} \times \arccos \frac{\lambda^2 \times (2 \times z_1 + 1) - (z_1 - 1)}{\lambda \times (z_1 + 2)} \quad (5)$$

gdzie:

$$\frac{z_1 - 1}{2 \times z_1 + 1} \leq \lambda \leq 1 \quad (6)$$

3. Warunek sąsiedztwa rolek z_2 koła centralnego:

$$e > g \times \frac{\lambda}{z_2 \times \sin \frac{\pi}{z_2}} \quad (7)$$

Na podstawie obliczeń otrzymano:

$$\begin{aligned} 0,42105 \leq \lambda \leq 1, \text{ gdzie } \lambda = 0,44, \\ e \geq 0,11966, \text{ gdzie } e = 1,452, \\ e > 0,044869, \text{ gdzie } e = 1,452. \end{aligned}$$

Pomiędzy zarysem zębów, a otworem, w którym osadzone jest łożysko, rozmieszczone są obiegowym kole zębatym otwory mechanizmu równowodowego o średnicy d_o . W otworach przetaczają się sworznie opisane średnicą d_s . Średnicę otworu d_o wyznaczono z zależności [2]:

$$d_o = d_s + 2e \quad (8)$$

Po dokonaniu obliczeń otrzymano średnicę otworu $d_o = 10,904$ mm.

Podczas pracy obiegowej przekładni cykloidalnej na wszystkie pary toczne oddziałują siły wynikające z momentów przenoszonych przez przekładnię (rys. 4). Obiegowa przekładnia cykloidalna pracuje prawidłowo, gdy suma momentów działających na wały przekładni spełnia równanie równowagi [2]:

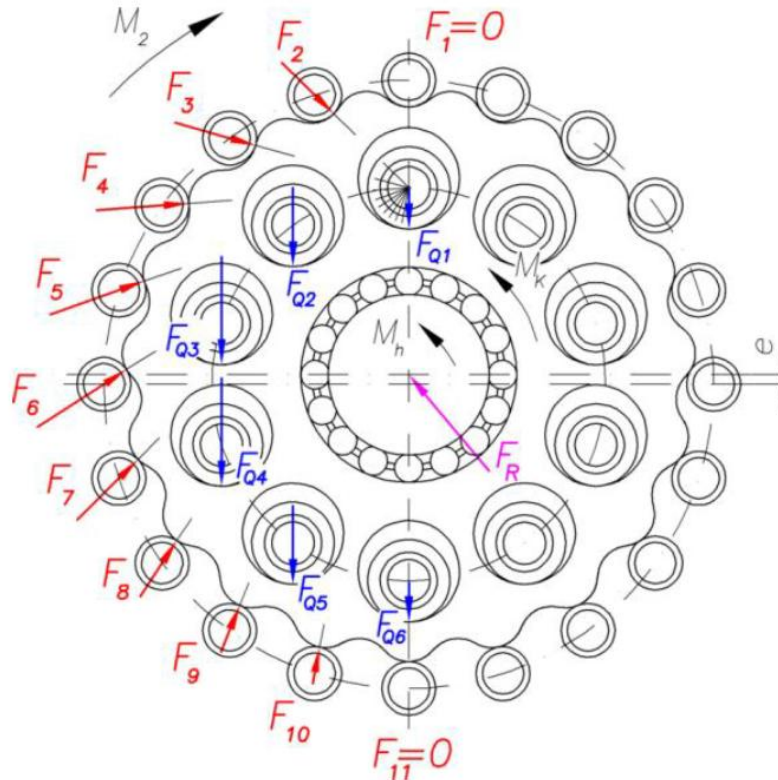
$$M_1 + M_2 + M_h = 0 \quad (9)$$

gdzie:

M_1 – moment wyjściowy na obiegowych kołach zębatych oraz na wale biernym,

M_2 – moment obciążający współpracujące koło centralne z rolkami,

M_h – moment wejściowy, powstający na wale czynnym.



Rys. 4. Rozkład obciążeń obiegowej przekładni cykloidalnej [3]

Moment wyjściowy M_1 wyznaczono na podstawie zależności [2]:

$$M_1 = M_h \cdot z_1 \quad (10)$$

Po dokonaniu podstawień $M_1 = 1620 \text{ Nm}$.

Natomiast moment M_K , działający na pojedyncze obiegowe koło zębate w przekładni z K obiegowymi kołami zębatymi, wynosi [2]:

$$M_K = M_1 / K \quad (11)$$

W przekładni założono zastosowanie dwóch kół obiegowych stąd M_K wynosi 810 Nm .

Siłę międzyzębną F_i wyznaczono na podstawie zależności [2]:

$$F_i = \frac{4 \times M_K}{r_{w1} \times z_2} \times \cos \alpha_{si} \quad (12)$$

gdzie:

M_K – moment działający na pojedyncze koło obiegowe,

z_2 – liczba zębów koła centralnego, $z_2 = z_1 = 1$,

r_{w1} – promień toczny obiegowego koła zębatego,

α_{si} – kąt działania siły F_i względem układu XOY .

Siła międzyzębna F_i przyjmuje wartość maksymalną wówczas, gdy jej kąt działania względem układu X0Y wynosi 0° . Po dokonaniu obliczeń wyznaczono maksymalną siłę międzyzębną, która wyniosła $F_{i\max}=24793,39$ N.

Siły występujące w mechanizmie równowodowym F_{Qj} również obciążają obiegowe koło zębate oraz sworznie mechanizmu. Siły F_{Qj} równoważą moment obciążający obiegowe koło zębate M_K i można je wyznaczyć z zależności [2]:

$$F_{Qj} = \frac{4 \times M_K}{R_w \times z_w} \times \sin \alpha \quad (13)$$

gdzie:

R_w – promień rozmieszczenia otworów mechanizmu równowodowego,

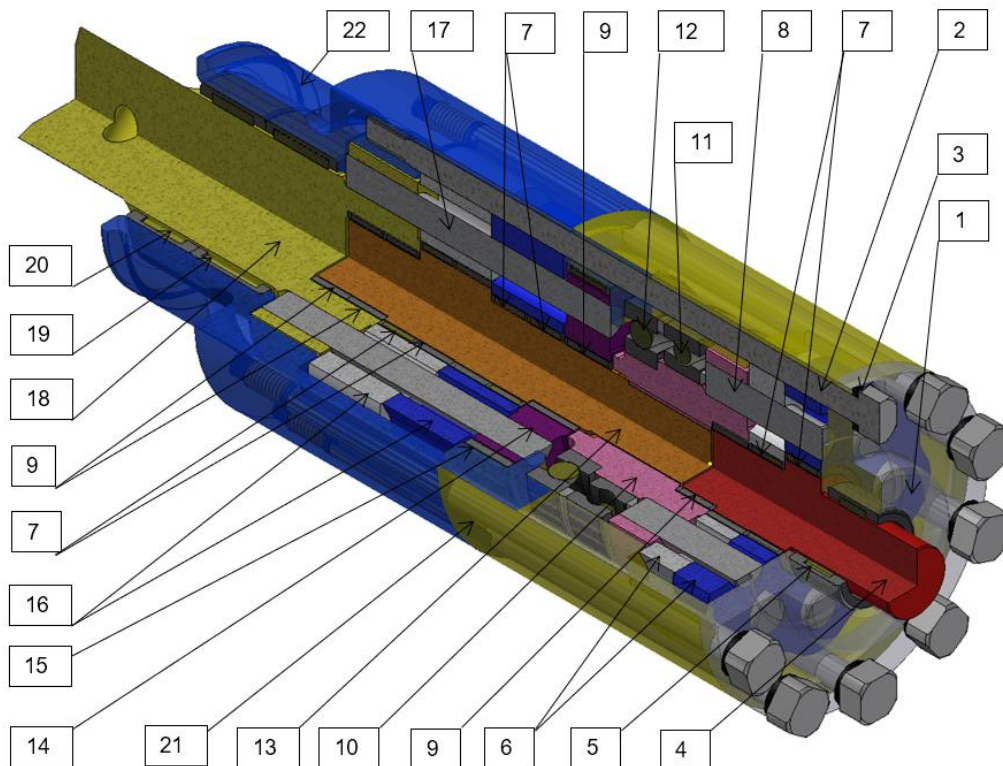
z_w – liczba sworzni,

α – kąt obrotu obiegowego koła zębatego.

Podczas obrotu koła obiegowego wartość siły w mechanizmie równowodowym zmienia się od wartości 0 N dla kąta obrotu 0° , poprzez maksimum dla kąta 90° , do wartości 0 N dla kąta 180° . Po dokonaniu podstawień obliczono maksymalną siłę w mechanizmie równowodowym, która wyniosła $F_{Q\max}=18103,43$ N.

Jak już wspomniano, opracowana dwustopniowa przekładnia cykloidalna cechuje się przełożeniem całkowitym $i=81$. Przełożenie pierwszego i drugiego stopnia jest takie samo i wynosi $i=9$. Powyższy tok obliczeniowy dotyczy drugiego stopnia przekładni, który jest obciążony maksymalnym momentem. Stopień pierwszy przekładni przenosi siły dziewięciokrotnie niższe.

Na podstawie ww. obliczeń możliwym było opracowanie modelu 3D obiegowej przekładni cykloidalnej o przełożeniu $i=81$ (rys. 5).



Rys. 5. Model przestrzenny koncepcyjnej obiegowej przekładni cykloidalnej [4]

Elementami przekładni są (rys. 5):

- pokrywa (1),
- rolka - uzębie centralne z_2 (2),
- podkładka uszczelniająca (3),
- wał mimośrodowy I (4),
- łożysko igiełkowe cienkościenne jednostronnie uszczelnione (5),
- koło obiegowe I - z_2 (6),
- złozenie igiełkowe z koszykiem (7),
- sworznie mechanizmu równowodowego I (8),
- złozenie igiełkowe (9),
- jarzmo I (10),
- łożysko kulkowe zwykłe (11),
- łożysko kulkowe zwykłe (12),
- wał mimośrodowy II (13),
- tarcza podporowa sworzni (14),
- złozenie igiełkowe (15),
- koło obiegowe II – z_2 (16),
- sworznie mechanizmu równowodowego II (17),
- jarzmo II (18),
- łożysko igiełkowe cienkościenne (19),
- łożysko igiełkowe cienkościenne jednostronnie uszczelnione (20),
- korpus I (21),
- korpus II (22).

5. Podsumowanie

Przeprowadzona analiza stanu techniki wykazała, że dostępne narzędzia projektowe oraz technologie obróbki wpływają na wzmożony rozwój przekładni cykloidalnych. Przekłada się to również na poszerzanie stanu wiedzy na temat konstruowania i eksploatacji tego typu przekładni. Zagadnienia projektowania i wykonawstwa skomplikowanych, krzywoliniowych uzębień, które dawniej dyskwalifikowały możliwość stosowania tego typu reduktorów, obecnie nie stanowią problemu. Przykładem są oferowane przez wiodących producentów reduktory cykloidalne o wysokich przełożeniach, obciążalności i trwałości. Dostępne pozycje literaturowe dotyczące metod projektowania zazębień cykloidalnych pozwoliły na opracowanie koncepcji obiegowej przekładni cykloidalnej oraz jej modelu przestrzennego.

Koncepcję przekładni wykonano pod kątem możliwości jej zabudowy w układzie napędowym zakrętarek elektrycznych z regulowanym momentem dokręcania. Wymagało to przeprowadzenia obliczeń cech geometrycznych zazębienia cykloidalnego oraz wyznaczenia obciążeń koła obiegowego. Opracowany model 3D przekładni posłużył do przeprowadzenia numerycznej analizy dynamicznej i wytrzymałościowej najbardziej wyęzonych elementów przekładni. Wyniki obliczeń posłużyły również do optymalizacji poszczególnych elementów modelu, pod kątem zwiększenia ich wytrzymałości.

Literatura

- [1] Bednarczyk S.: Określenie geometrii koła zębatego w obiegowej przekładni cykloidalnej. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria Transport z.82, Gliwice: Pol. Śl., 2014. z. 1903
- [2] Bednarczyk S.: Rozwój obiegowych przekładni cykloidalnych ukierunkowany na podniesienie efektywności maszyn. W: Idzikowski A. (red.): Efektywność wykorzystania maszyn roboczych i urządzeń w przemyśle. Eksploatacja - Niezawodność - Bezpieczeństwo, Wyd. WZ Politechnika Częstochowska, Częstochowa 2013, s. 117-125
- [3] Chmurawa M.: Obiegowe przekładnie cykloidalne z modyfikacją zazębienia. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej Gliwice: Pol. Śl., 2002. z. 140
- [4] Koncepcja przekładni cykloidalnej wraz z weryfikacją wytrzymałościową. ITG KOMAG, Gliwice 2015 (praca niepublikowana)
- [5] Olejarczyk K., Wikło M., Król K., Kołodziejczyk K.: Obliczenia teoretyczne oraz pomiary stanowiskowe sprawności przekładni cykloidalnej. Modelowanie Inżynierskie 2017 nr 64, ISSN 1896-771X
- [6] Idzikowski A. (red.): Efektywność wykorzystania maszyn roboczych i urządzeń w przemyśle. Eksploatacja - Niezawodność - Bezpieczeństwo, Wyd. Politechnika Częstochowska, Częstochowa 2013, ISBN: 978-83-63500-30-6
- [7] Stryczek J.: Koła zębate maszyn hydraulicznych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2007, ISBN 978-83-7493-308-7

Czy wiesz, że

...od stycznia 2019 roku Siemens PLM Software udostępni swoje produkty z rodziny oprogramowania NX w formule Continuous Release (w trybie stałego wydania). Jest to nowy model udostępniania, który zapewni klientom firmy szybszy dostęp do nowych udoskonaleń i ulepszeń jakościowych, ułatwiając jednocześnie proces skutecznego wdrożenia NX. Siemens stanie się pierwszym dużym dostawcą CAD/CAM/CAE, który będzie dostarczał produkty w taki sposób. NX jest zbudowany w oparciu powszechną nowoczesną architekturę oprogramowania i zaprojektowany z naciskiem na dostarczanie nowych funkcjonalności dla biznesu oraz ochronę danych klienta. To nowe podejście pozwoli użytkownikom NX między innymi na szybsze reagowanie na nowe trendy, redukcję kosztów wdrożenia, otrzymywanie szybszych i bardziej spójnych odpowiedzi z działu rozwoju NX oraz czerpanie korzyści z kontynuacji pełnej integracji i interoperacyjności NX – Simcenter 3D.

Napędy i Sterowanie 2018 nr 7/8 s.7

Chłodzenie spalin w górnich napędach spalinowych dla kopalń węgla kamiennego

mgr inż. Hubert Suffner
Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Cooling systems for exhaust gases of mine diesel drives intended for hard coal mines

Streszczenie:

Wymóg ograniczenia temperatury zespołów napędu spalinowego wynika zarówno z zaleceń producenta napędu, jak i przepisów górniczych. W artykule przedstawiono rozwój układów chłodzenia spalin w napędach podziemnych maszyn górniczych wykorzystywanych w kopalniach węgla kamiennego. Omówiono aktualne tendencje w tym zakresie oraz działania ITG KOMAG.

Słowa kluczowe: górnictwo, napęd spalinowy, chłodzenie

Keywords: mining industry, diesel drive, cooling systems

Abstract:

The requirement of limiting temperature in diesel drive unit results both from the manufacturer recommendations as well as from mining regulations. Progress in development of exhaust gases cooling systems for drives of underground mining machines operated in hard coal mines is presented. The present development trends in this area as well as KOMAG's actions are discussed.

1. Wprowadzenie

Wykorzystanie napędów spalinowych w transporcie kopalnianym jest szeroko rozpowszechnione zarówno w kopalniach węgla kamiennego, jak i rud metali oraz innych kopalni. Istotą pracy maszyny cieplnej, jakim jest tłokowy silnik spalinowy, jest zamiana energii cieplnej w energię mechaniczną. Niestety tylko część dostarczonej energii cieplnej zostaje zamieniona w pracę, natomiast znaczna część jest przekazywana do otoczenia. W napędach spalinowych pracujących w ograniczonej przestrzeni, jaką jest podziemne wyrobisko górnicze, sposób przekazywania ciepła do otoczenia ma zasadnicze znaczenie. Z jednej strony zespoły napędu spalinowego muszą być chłodzone tak, aby ich temperatura nie przekroczyła granicznych wartości założonych przez ich producenta i jednocześnie nie osiągnęła granicznych wartości narzuconych przepisami górniczymi. Z drugiej strony temperatura panująca w wyrobiskach kopalnianych jest z reguły dosyć wysoka dochodząc niejednokrotnie do 28°C i dalsze jej podwyższanie jest niewskazane, albowiem pogarsza komfort pracy załogi. Jednocześnie, wysoka temperatura otoczenia stwarza problemy techniczne z przekazywaniem ciepła z napędu spalinowego do otaczającej go atmosfery.

Wymóg stosowania maszyn z napędami spalinowymi budowy przeciwybuchowej z ograniczoną temperaturą powierzchni, do których dostęp ma atmosfera kopalniana zawierająca palny pył, zawarty jest w obowiązujących przepisach między innymi w normie [7] i rozporządzeniu [9].

W niniejszym artykule przedstawiono rozwój układów schładzania spalin napędów spalinowych oraz aktualne kierunki działań w tym zakresie. W rozważaniach tych pominięto wpływ substancji toksycznych wytwarzanych w trakcie pracy napędu spalinowego na skład atmosfery kopalnianej.

2. Bilans cieplny silnika spalinowego

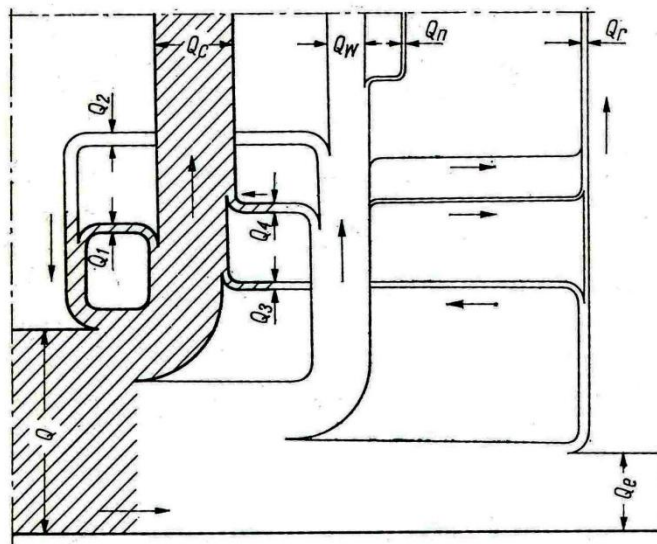
Zagadnienie bilansu cieplnego silników spalinowych omówiono w wielu publikacjach fachowych, między innymi w pozycji literaturowej [6], gdzie zobrazowano rozpływ energii cieplnej w silniku tzw. wykres Sankeya pokazany na rysunku 1.

Jeżeli, przez $Q = 100\%$ oznaczona zostanie cała ilość energii dostarczonej do silnika wraz z paliwem i powietrzem, to bilans wewnętrzny silnika przedstawia się następująco:

$$Q = Q_e + Q_c + (Q_w + Q_n) + Q_r$$

gdzie:

- Q_e - energia zamieniona na pracę efektywną [%]
- Q_c - energia odprowadzona z układem chłodzenia przez chłodziwo i olej smarujący [%]
- $Q_w + Q_n$ - strata wylotowa i niepełnego spalania [%]
- Q_r - straty promieniowania [%]



Rys. 1. Bilans cieplny silnika spalinowego [6]

Na rysunku 1 pokazano wewnętrzny przepływ ciepła w silniku, gdzie:

- Q_1, Q_2 - podgrzewanie świeżej mieszanki przez chłodziwo i spaliny,
- Q_3, Q_4 - podgrzewanie chłodziwa (wody lub oleju), wskutek działania sił tarcia i przepływu wokół kanału wylotowego.

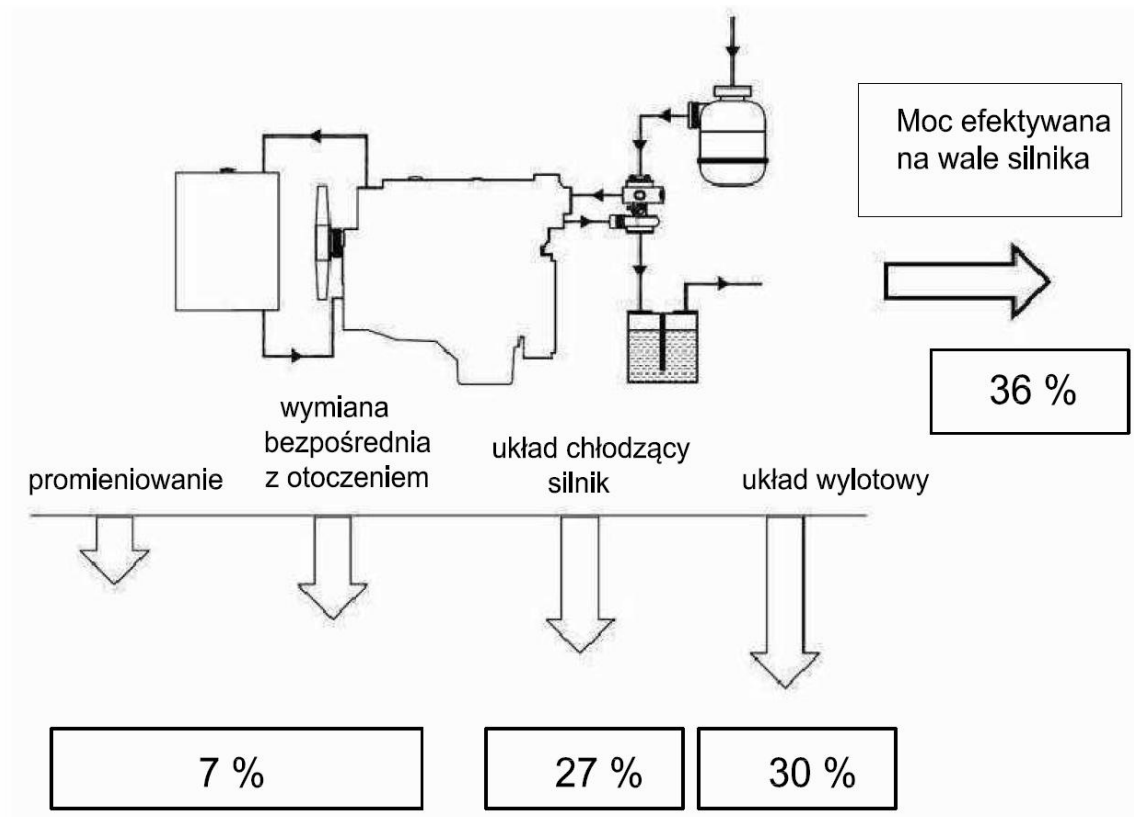
Przybliżone dane liczbowe bilansu zewnętrznego zawarte w [6] podano w tabeli 1.

PrzybliŹony bilans wewnętrzny silnika z zapłonem iskrowym ZI i samoczynnym ZS [6]

Tabela 1

Pozycja	Silniki ZI	Silniki	
		ZS bez doładowania	ZS z doładowaniem
Q_e [%]	21÷28	30÷42	30÷46
Q_w [%]	30÷40	26÷42	26÷36
Q_c [%]	18÷30	20÷35	18÷32

Na rysunku 2 zobrazowano przybliŹony rozkład mocy w silniku spalinowym.



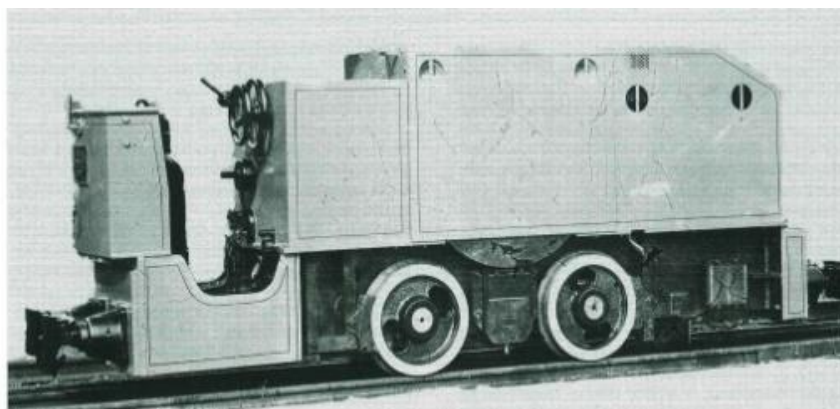
Rys. 2. Rozkład mocy silnika spalinowego [1, 11]

Jak wynika z tabeli 1 i rysunków 1 i 2, iloř energii (mocy) odprowadzanej przez układowy wylotowy jest zbliŹona do iloř energii (mocy) uŹytecznej silnika.

Rozwiązanie konstrukcyjne oraz wielkoř mocy pobieranej przez układowy chładowczy spalin jest zatem porównywalny z układowym chładowczy silnika. ZaleŹnořci te uwzględniane są przy projektowaniu układowy wylotu spalin, zwłascza w aspekcie ich chładowczy. Sprawne odprowadzanie ciepła spalin do otoczenia ma szczególne znaczenie zwłascza w napędach spalinowych pracujących w kopalniach węgla kamiennego, gdzie z uwagi na moŹliwoř zapalenia pyłu węgłowego ograniczona jest przepisami temperatura nagrzewających się powierzchni [7, 9].

3. Rozwój napędów spalinowych przeznaczonych do pracy w kopalniach węgla

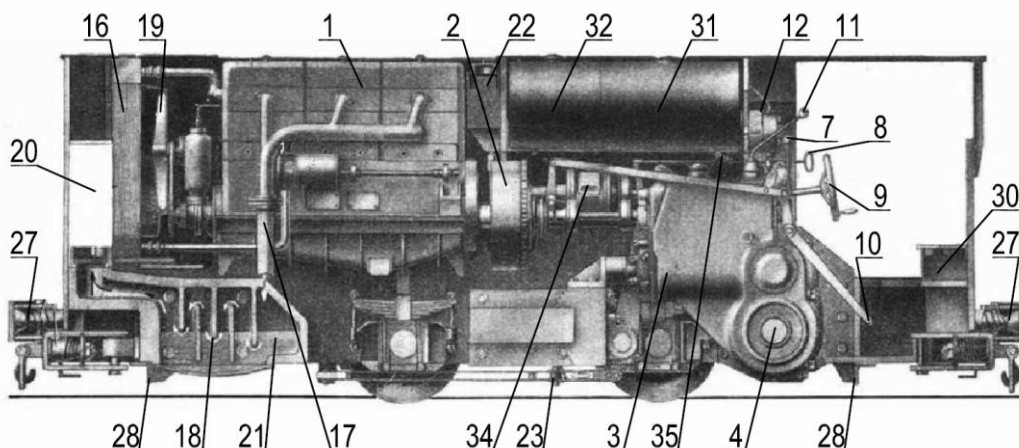
W pierwszej połowie XIX wieku w Anglii podjęto pierwsze próby zastosowania lokomotyw z silnikami cieplnymi w transporcie kopalnianym [3]. Lokomotywy te, wyposażone w zwykłe palenisko węglowe, nie dawały jednak zadowalających rezultatów – duże ilości wydzielanej pary i dymu utrudniały wentylację wyrobisk. Dodatkowo, ze względu na osadzanie się tłustej sadzy na szynach, powszechnie występowało zjawisko poślizgu kół. Rozwijający się przemysł pojazdów samochodowych z silnikami benzynowymi umożliwił zastosowanie ich w lokomotywach kopalnianych. Lokomotywy benzolowe od początku XX wieku były wdrażane w kopalniach węgla kamiennego m.in. w kopalniach wałbrzyskich i śląskich. Na rysunku 3 przedstawiono przykładowe rozwiązanie polskiej lokomotywy kopalnianej z napędem benzolowym, typu 2DK zbudowanej w 1932 roku dla KWK Brzeszcze [8].



Rys. 3. Lokomotywa spalinowa typu 2DK zasilana benzolem [8]

Wadą tego rozwiązania było wydzielanie toksycznych spalin do atmosfery kopalnianej oraz zagrożenie wybuchem benzolu, co zdecydowało o zaprzestaniu prac nad tego typu rozwiązaniem.

Przełomem w rozwoju górniczych napędów spalinowych było skonstruowanie w 1897 roku silnika z zapłonem samoczynnym, zwanego silnikiem wysokoprężnym lub silnikiem Diesla. Opracowanie układu wylotu spalin z tzw. płuczką wodną umożliwiło uruchomienie w Wielkiej Brytanii produkcji pierwszych lokomotyw dołowych z silnikiem o mocy 22 kW [3]. Przykładowe rozwiązanie lokomotywy z silnikiem wysokoprężnym (z okresu międzywojennego) przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Lokomotywa spalinowa z silnikiem wysokoprężnym firmy Klöckner-Humboldt-Deutz [4]

1 - silnik, 2 – koło zamachowe z wbudowanym sprzęgłem ciernym, 3 - przekładnia, 4 – wał pośredni z korbą napędową, 7 – dźwignia wyboru kierunku jazdy, 8 – dźwignia rozruchu pneumatycznego, 9 - koło hamulca ręcznego, 10 - odłącznik sprzęgła, 11 – dźwignia przełączania biegów, 12 – zbiornik powietrza sprężonego - sprężarka, 16 – chłodnica, 17 – przewód wylotowy spalin, 18 – tłumik, 19 – wentylator, 20 – rozrzedzacz spalin (powietrzem z wentylatora), 21 – płuczka wodna spalin, 22 – piasecznica, 23 – rura wylotowa piasku, 27 – urządzenie zderzakowo-pociągowe, 28 - zgarniacz, 30 – fotel operatora, 31 – zbiornik paliwa, 32 – zbiornik wody chłodzącej spaliny, 34 – rozrusznik pneumatyczny, 35 – zawór odcinający spaliny

W lokomotywie tej zastosowano układ chłodzenia spalin z płuczka wodną w formie skrzyni wypełnionej wodą. Spaliny z silnika kierowane były do płuczki wodnej zespołem rur, a stamtąd, po przejściu przez kąpiel wodną, dalej rurami do tłumika hałasu i na zewnątrz do atmosfery. Płuczka wodna spełniała dwie role: chłodnicy spalin i przerywacza płomienia (iskrochronu).

Dalszy rozwój napędów spalinowych bazował na powyższym rozwiązaniu, zmieniano jedynie komponenty i szczegóły rozwiązań konstrukcyjnych tak, aby spełnić wymagania obowiązujących przepisów.

4. Układy chłodzenia spalin opracowane w ITG KOMAG

Pierwsze prace dotyczące zastosowania silnika spalinowego do dołowej maszyny mobilnej, prowadzono w KOMAG-u (w byłych Zakładach Konstrukcyjno-Mechanizacyjnych Przemysłu Węglowego), zaowocowały opracowaniem w latach sześćdziesiątych XX wieku, kopalnianego ciągnika spalinowego KCS KOCUR pokazanego na rysunku 5 [2], przeznaczonego do eksploatacji w kopalniach niegazowych. Następnie opracowano rozwiązanie przeciwwybuchowe, o symbolu KOCUR BM, z przystosowanym do pracy w wyrobiskach potencjalnie zagrożonych wybuchem. Układ wylotowy ciągnika wyposażono w chłodzony wodą kolektor wylotowy spalin silnika.

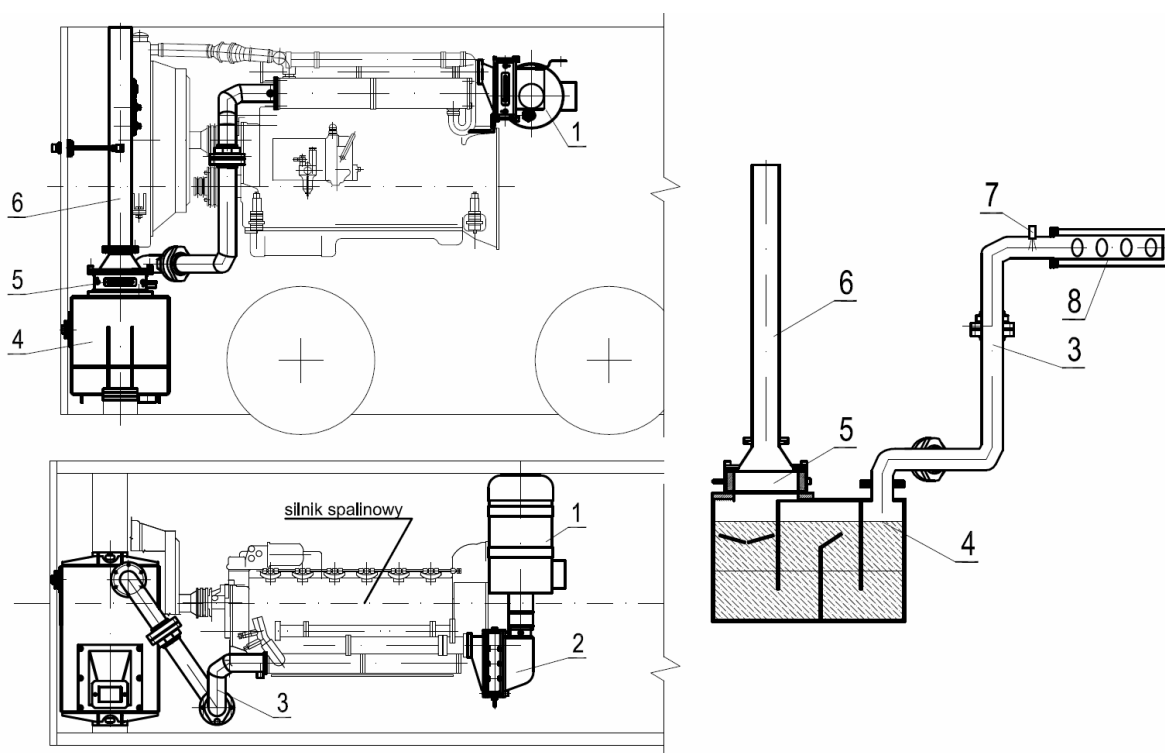
Z uwagi na problem z poruszaniem się ciągnika w wyrobiskach z zabudowanym torowiskiem szynowym oraz zdolność pokonywania tylko niewielkich nachyleń, zaniechano dalszych prac.



Rys. 5. Widok kopalnianego ciągnika spalinowego KCS KOCUR [1]

Doświadczenia uzyskane w trakcie projektowania, budowy i eksploatacji ciągnika KOCUR oraz analiza techniczna rozwiązań opracowanych za granicą głównie w CSRS i RFN, wykorzystano przy prowadzonych w latach 70-tych XX wieku pracach nad lokomotywą Lds-70 i Lds-100. Obowiązujące wówczas przepisy wymagały zabudowy przeciwwybuchowego układu wylotowego, w którym jednocześnie prowadzone byłoby schładzanie spalin.

Na potrzeby lokomotywy Lds-100 opracowano innowacyjne rozwiązanie układu dolotowo-wylotowego (dolotu powietrza do silnika i wylotu spalin), wyposażonego w przerywacze płomienia. Szkic tego układu pokazano na rysunku 6.



Rys. 6. Układ dolotowo-wylotowy lokomotywy Lds-100 [opracowanie własne]

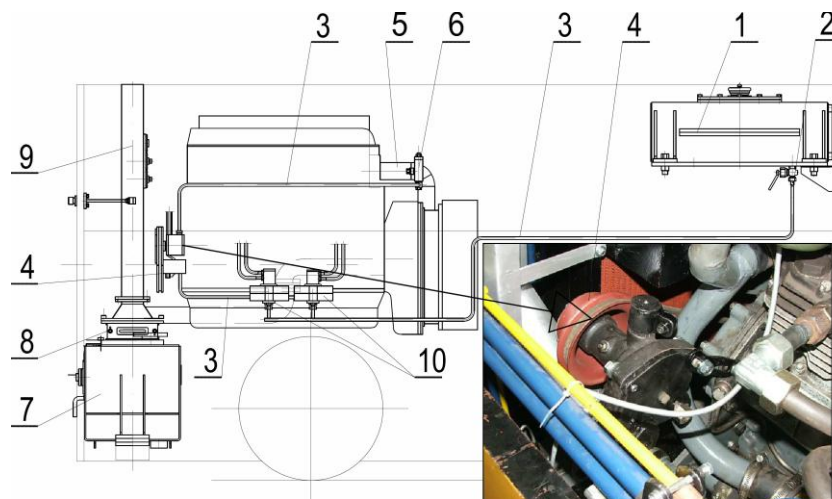
- 1 – filtr powietrza, 2- dolotowy przerywacz płomienia, 3 – przewód wylotu spalin,
 4 – płuczka wodna spalin, 5 – wylotowy przerywacz płomienia, 6 – kominek wylotowy,
 7 – układ wtrysku wody, 8- kolektor wylotowy silnika

Do napędu lokomotywy zastosowano silnik SW 400 produkcji WSW Andoria. W wersji handlowej nie spełniał on jednak wymogów pracy w warunkach zagrożenia wybuchem gazu lub/i pyłu. Dotyczyło to między innymi jakości spalin oraz wymogu utrzymania granicznej temperatury wszystkich jego powierzchni. Przekroczenie temperatury granicznej występowało głównie na powierzchni kolektora wylotowego silnika, przez który przepływały gorące spaliny wprost z jego komór spalania. Obniżenie temperatury tego zespołu osiągnięto przez zastosowanie specjalnie opracowanego kolektora wylotowego silnika z układem chłodzącym, zabudowanym na kadłubie silnika, w miejscu kolektora standardowego, co pokazano na rysunku 7. Przez podwójne ścianki kolektora przepływała ciecz (płyn chłodzący), która chłodziła zespoły silnika oraz spaliny w kolektorze wylotowym. Ciecz ta była następnie kierowana do chłodnicy powietrzno-wodnej silnika.



Rys. 7. Kolektor wylotowy chłodzony wodą [5]

Dalszy proces schładzania spalin prowadzono w przewodzie wylotowym, poprzez wtryskiwanie do strumienia spalin wody chłodzącej. Ostateczny i końcowy proces chłodzenia realizowano w płuczce wodnej spalin. Szkic układu wtrysku wody pokazano na rysunku 8.



Rys. 8. Układ wtrysku wody chłodzącej spalinę [opracowanie własne]

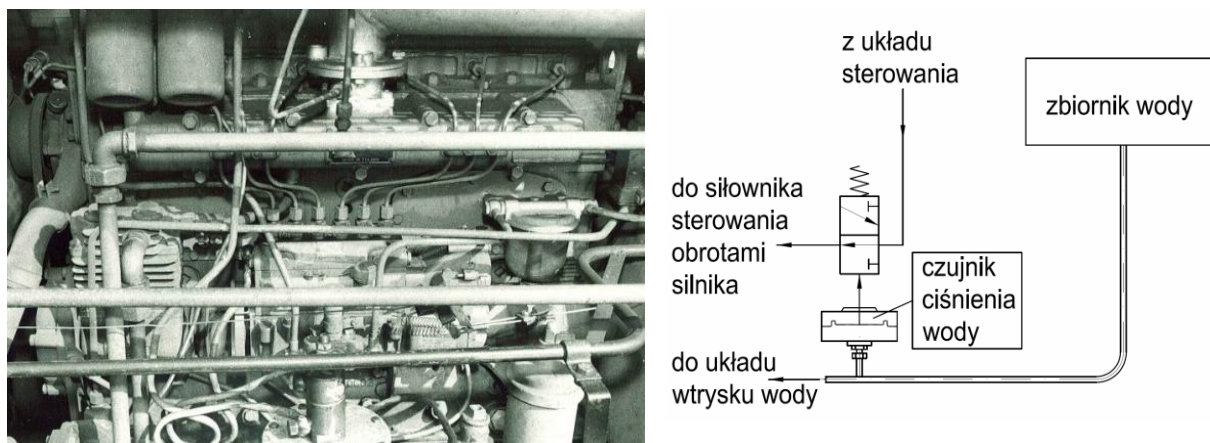
- 1 - zbiornik wody, 2- zawór odcinający wodę, 3 - przewód doprowadzający wodę, 4 - pompa wody,
- 5 - przewód wylotowy spalin, 6 - wtrysk wody, 7 - płuczka wodna, 8 - przerywacz płomieni,
- 9 - wylot spalin, 10 - zespół zabezpieczający w przypadku braku wody

Z uwagi na fakt, że w procesie schładzania spalin wykorzystywano zjawisko zmiany stanu skupienia wody tj. przejścia ze stanu płynnego w gazowy, w trakcie jej ogrzewania (pobierania ciepła ze spalin) i uchodzenia powstałej pary wraz ze spalinami, koniecznym było okresowe uzupełnianie wody w zbiorniku i płuczce wodnej spalin. Brak wody w układzie schładzania spalin mógłby doprowadzić do nadmiernego wzrostu temperatury elementów układu wylotowego. Aby temu zapobiec, lokomotywę Lds-100 wyposażono w układ kontroli obecności (dostępności) wody chłodzącej spaliny, będący częścią układu zabezpieczającego.

W układzie tym zastosowano autorskie rozwiązanie, powodujące wyłączenia silnika w przypadku braku wody chłodzącej spaliny. Schemat układu wtrysku wody wraz z układem zabezpieczającym pokazano na rysunku 8.

Strumień wody płynącej ze zbiornika (1) do pompy (4), przepływał przez czujnik ciśnienia zespołu zabezpieczającego (10). W czujniku tym zabudowane były elastyczne membrany, z zamocowanymi zderzakami sterującymi przepływem powietrza, w specjalnych zaworach odcinających. Wytworzony w przewodach (3) słup wody powodował otwarcie przepływu powietrza sterującego w zaworach odcinających. Brak wody powodował zamknięcie dopływu powietrza do cylindra sterującego prędkością obrotową silnika spalinowego oraz odpowietrzenie jego części wykonawczej, co w efekcie prowadziło do zatrzymania pracy silnika spalinowego.

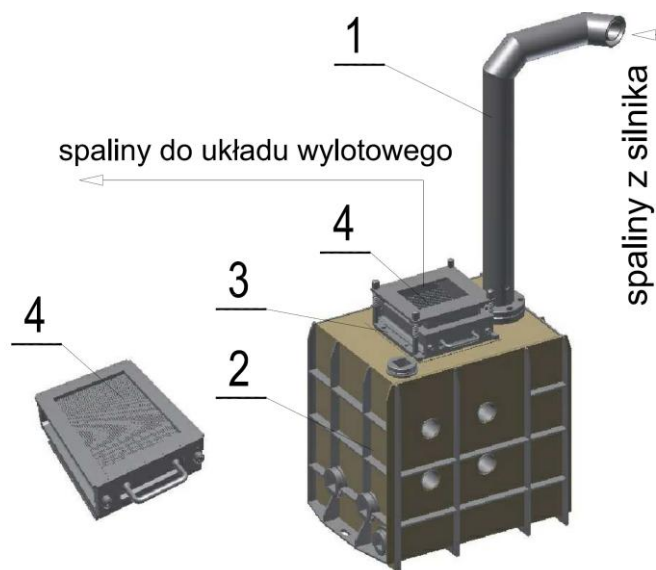
Na rysunku 9 pokazano fragment zabudowy ww. układu w lokomotywie Lds-100, jest to wersja pierwotna z jednym czujnikiem kontroli poziomu wody w układzie zabezpieczającym. Zadziałanie tego układu powodowało odcięcie dopływu powietrza jedynie do części siłownika sterowania obrotami silnika, która jest odpowiedzialna za roboczą prędkość obrotową (manewrową) silnika. Ostatecznie zabudowano dwa układy: jeden dla części układu sterowania odpowiedzialnej za obroty robocze silnika i drugi do części sterującej prędkością obrotową biegu jałowego i zatrzymującą pracę silnika.



Rys. 9. Zabudowa czujnika kontroli poziomu wody chłodzącej spaliny [opracowanie własne]

Do obniżenia temperatury spalin, oprócz układu wtrysku wody, przeznaczona była również płuczka wodna spalin, pełniąca też funkcję pierwotnego przerywacza płomienia. Szkic płuczki wodnej spalin i przerywacza pokazano na rysunku 10. Osobny, wylotowy przerywacz płomienia zabudowany był na korpusie płuczki. Jego funkcją, oprócz zapobiegania wydostaniu się do strefy zagrożonej płomienia lub iskry zdolnej wywołać

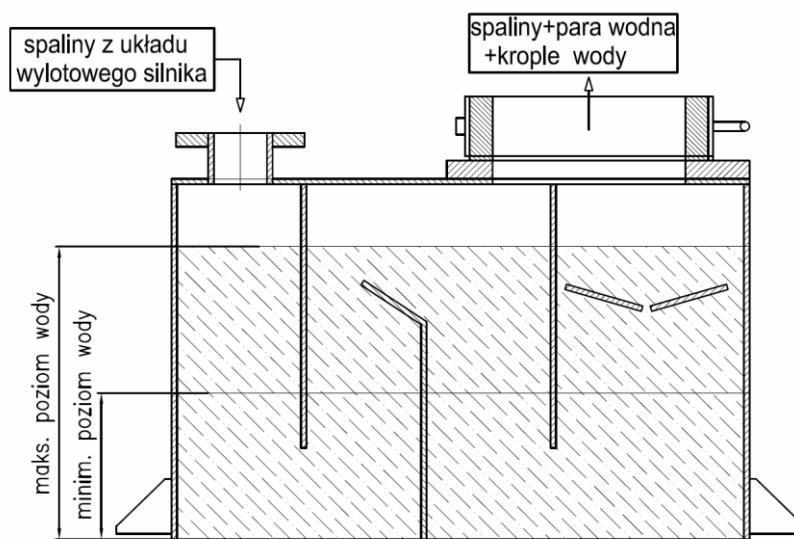
zapłon, było również ograniczenie wydmuchiwania wody z płuczki przez wypływające spaliny. W zależności od intensywności eksploatacji lokomotywy konieczne było jedno lub dwukrotne uzupełnianie wody w płuczce spalin w trakcie jednej zmiany.



Rys. 10. Płuczka wodna spalin z przerywaczem [opracowanie własne]

1 – przewód wylotu spalin z silnika, 2- płuczka spalin, 3 – obudowa przerywacza, 4 – przerywacz wylotowy

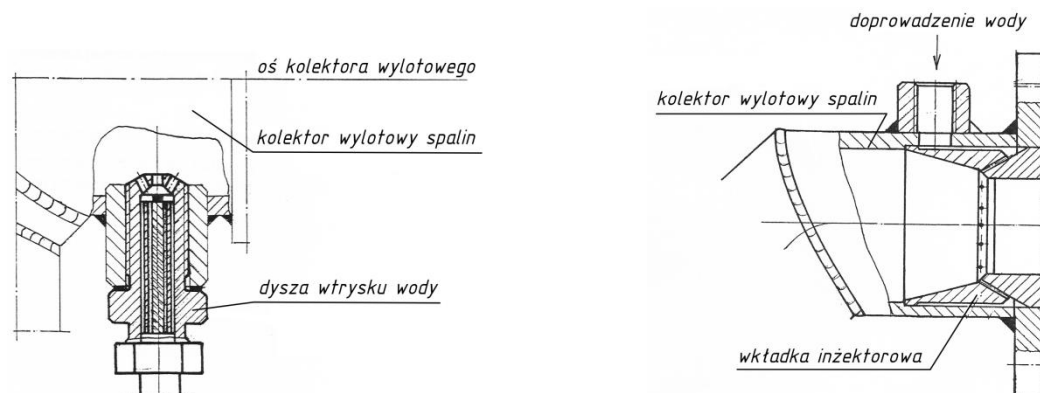
Prosta konstrukcja skrzyni płuczki powodowała, że spaliny, zwłaszcza przy intensywnej pracy silnika, pomimo zabudowanego przerywacza, powodowały nadmierne wyrzucanie wody z płuczki. Aby temu zapobiec wprowadzono w skrzyni płuczki układ przegród (labirynt), którego zadaniem było odbijanie zwrotne traconej wody. Na rysunku 11 pokazano przykład takiego rozwiązania.



Rys. 11. Płuczka wodna – przekrój [opracowanie własne]

W latach 90-tych XX wieku, w trakcie opracowywania kolei podwieszanej z lokomotywą (ciągnikiem) Lps-90, wykorzystano układ schładzania spalin wzorowany na rozwiązaniu z lokomotywy Lds-100, z wtryskiem wody do przewodu wylotu spalin.

Awaryjność tego układu, zwłaszcza pompy wody, spowodowała wprowadzenie do przewodu wylotu spalin wkładki inżektorowej (kryzy), wywołującej podciśnienie zasysające wodę chłodzącą. Rozwiązanie z dyszą wtryskową i wkładką (kryzą) zasysającą przedstawiono na rysunku 12.



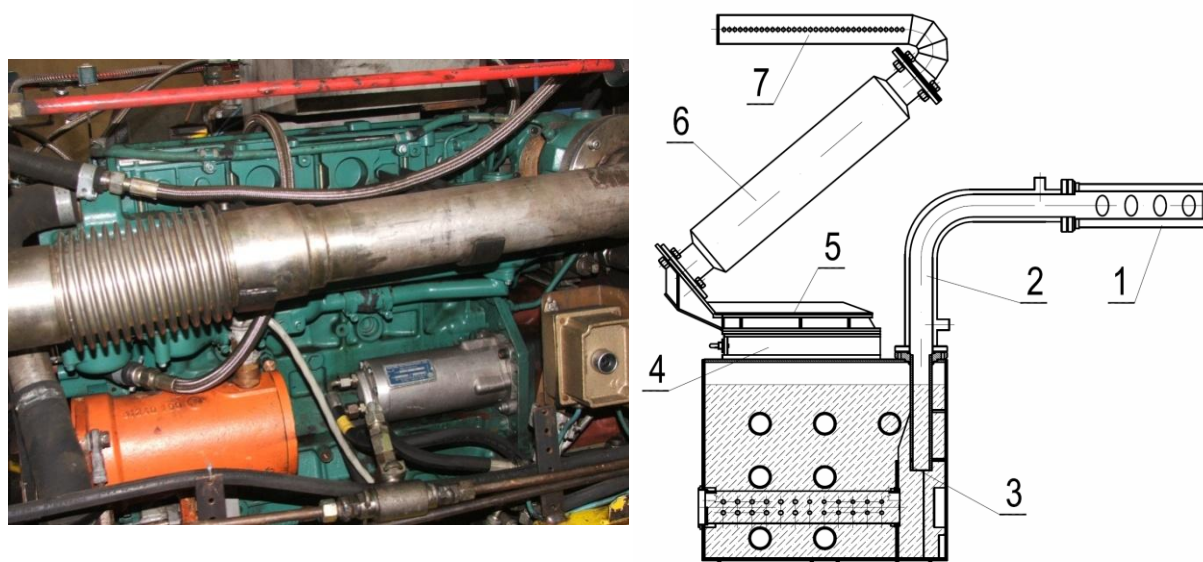
a) Wtrysk wody do przewodu wylotowego spalin za pomocą dyszy jednopunktowej [10]

b) Wtrysk wody do przewodu wylotowego spalin za pomocą wkładki inżektorowej [10]

Rys. 12. Układ wtrysku i zasysania wody chłodzącej [10]

Dalszy rozwój układów schładzania spalin nastąpił po wejściu Polski do Unii Europejskiej, gdy zaczęło obowiązywać prawodawstwo europejskie, w tym Dyrektywa Atex.

W celu spełnienia obowiązujących wymagań wynikających z tej dyrektywy, najpierw na potrzeby ciągnika Lps-90, a później lokomotywy Lds-100KEM A, opracowano nowy ognioszczelny układ dolotowo-wylotowy. Zrezygnowano z wtrysku wody do układu wylotowego, na rzecz chłodzenia przewodu wylotu spalin. Rozwiązanie to pokazano na rysunku 13.

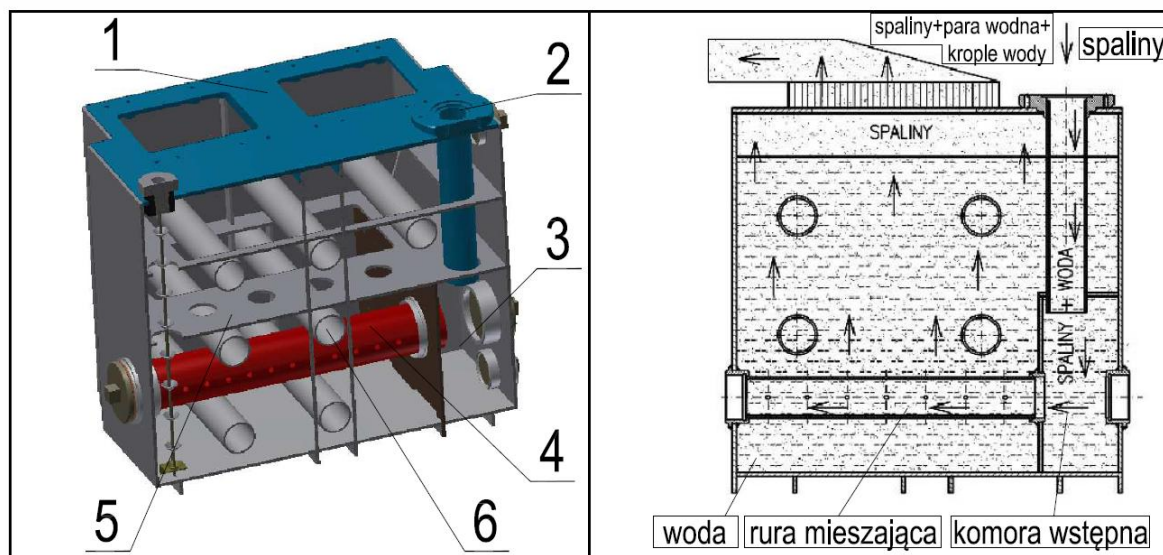


Rys. 13. Przewód wylotu spalin z płaszczem wodnym [opracowanie własne]

- 1 – kolektor wylotowy silnika, 2- dwupłaszczowy przewód wylotu spalin, 3 – płuczka wodna spalin, 4 – wylotowy przerywacz płomienia, 5 – kolektor zbiorczy, 6 – iskrochron, 7 – rozrzedzacz spalin

Zespoły kolektora wylotowego, turbosprężarki oraz przewodu wylotowego, łączącego silnik z płuczką wodną, są chłodzone wodą z układu chłodzenia silnika.

W celu ograniczenia zjawiska wyrzucania wody z płuczki wprowadzono do jej konstrukcji rurę mieszającą, której zadaniem było podzielenie strumienia spalin na mniejsze fragmenty w formie pęcherzyków (bąbelków). Rozwiązanie to pokazano na rysunkach 13 i 14.

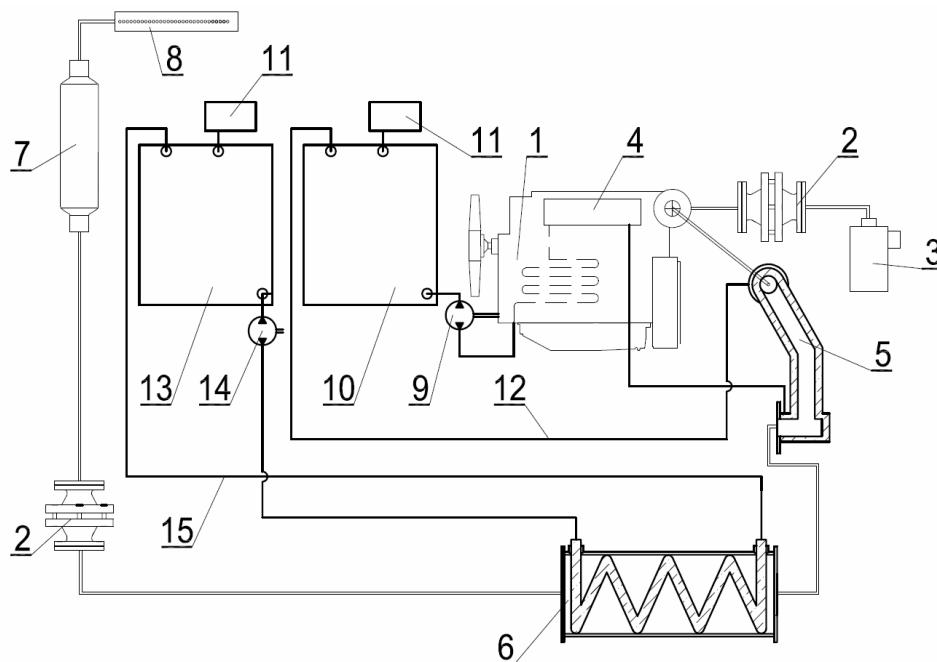


Rys. 14. Płuczka wodna z rurą mieszającą [11]

1 – korpus płuczki, 2 – wlot spalin, 3 – komora wstępna, 4 – rura mieszająca,
5 – blacha odbijająca, 6 – rura wzmacniająca

Firmy produkujące napędy spalinowe dla górnictwa zaczęły wprowadzać do swoich konstrukcji również „suche” wymienniki ciepła. Zasada ich działania opiera się na przekazywaniu ciepła spalin do wody chłodzącej, krążącej w zespole rur wypełniających komorę wymiennika. Woda chłodząca spalinę kierowana jest do osobnego układu chłodzącego, w którym przekazywane jest ciepło do otoczenia. Schemat ww. układu pokazano na rysunku 15. W ITG KOMAG opracowano wersję suchego wymiennika ciepła, który można zabudować w miejsce płuczki mokrej. Wersję doświadczalną powyższego wymiennika poddano badaniom, uzyskując zadawalające wyniki. Model wymiennika pokazano na rysunku 16.

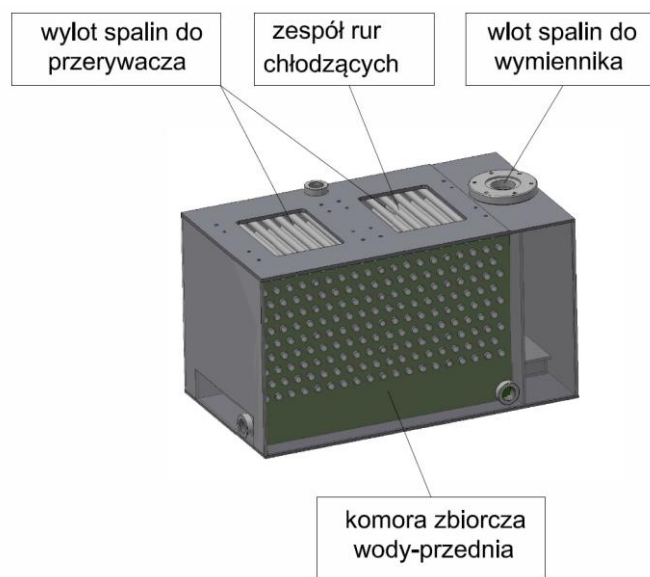
Zaletą suchego wymiennika ciepła spalin jest brak konieczności uzupełniania wody chłodzącej w płuczce. Zachodzi jednak konieczność zabudowy dodatkowego układu chłodzenia wody, która schładza spalinę w wymienniku. W układzie zabudowana jest pompa i wentylator, które muszą być napędzane, a więc koniecznym jest przeznaczenie części mocy silnika do obsługi tego układu. Układ wymiany ciepła spalin z otoczeniem, poprzez jego przenikanie przez ścianki rur do wody chłodzącej, a następnie przez płytki chłodnicy do atmosfery, nie był jednak tak sprawny, jak w płuczce mokrej, gdzie ciepło spalin jest przekazywane bezpośrednio wodzie chłodzącej, z pominięciem oporów związanych z przenikaniem przez elementy pośrednie. Woda paruje, a para miesza się ze spalinami, odbierając im ciepło.



Rys. 15. Zespół silnikowy z suchym wymiennikiem ciepła [opracowanie własne]

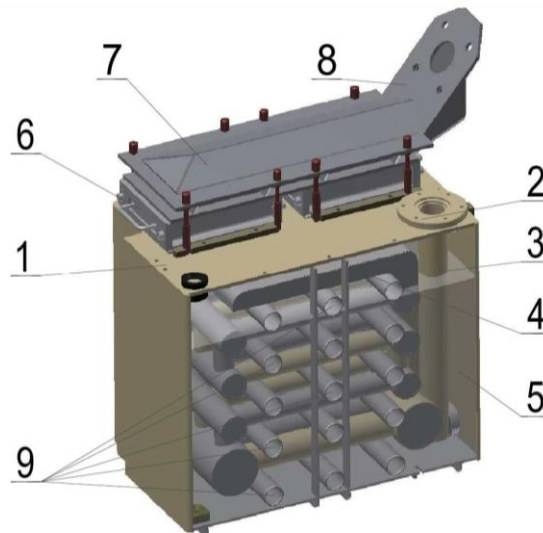
1 – silnik spalinowy, 2 – przerywacz płomienia, 3 – filtr powietrza, 4 – kolektor wylotowy silnika, 5 – przewód wylotu spalin, 6 – suchy wymiennik ciepła, 7 – łapacz iskier, 8 – rozrzedzacz, 9 – pompa wody silnika, 10 – chłodnica wody silnika, 11 – zbiornik wyrównawczy, 12 – zespół przewodów, 13 – chłodnica układu chłodzenia spalin, 14 – pompa wody układu schładzania spalin, 15 – zespół przewodów układu schładzania spalin

W ITG KOMAG opracowano również rozwiązanie łączące zalety płuczki mokrej i „suchego” wymiennika ciepła. W urządzeniu o nazwie bezcisnieniowy wymiennik ciepła, spaliny prowadzone są w układzie rur zanurzonych w kąpielii wodnej, oddając część ciepła wodzie i wywołując jej parowanie. Wylot spalin z układu rur umieszczony jest nad powierzchnią wody, gdzie spaliny łączą się z parą wodną i uchodzą do przewodu wylotowego. W trakcie przepływu przez przewód wylotowy następuje schładzanie spalin. Intensywność chłodzenia spalin jest porównywalna z intensywnością chłodzenia wodnej płuczki spalin, ale w tym przypadku unika się zjawiska wyrzucania kropeł wody z płuczki.



Rys. 16. Suchy wymiennik ciepła opracowany przez KOMAG [opracowanie własne]

Na rysunku 17 przedstawiono szkic bezciśnieniowego wymiennika ciepła.



Rys. 17. Bezciśnieniowy wymiennik ciepła [opracowanie własne]

1 – skrzynia wymiennika, 2 – przyłącze rury wylotu spali z silnika, 3 - rura wlotu spalin,
4 – labirynt rur chłodzących, 5 – woda, 6- przerywacz płomienia, 7 – kolektor zbiorczy,
8 – łącznik iskrochronu, 9 – rury wzmacniające

5. Podsumowanie

Aktualnie w ITG KOMAG prowadzone są badania porównawcze sprawności odprowadzania ciepła spalin do atmosfery przez bezciśnieniowy wymiennik ciepła. Jego sprawność porównywana jest ze sprawnością płuczki wodnej spalin i suchego wymiennika ciepła. Uzyskane wyniki wskazują, że udało się osiągnąć jeden z postulatów użytkowników napędów spalinowych z mokrą płuczka spalin, dotyczący zmniejszenia zużycia wody przez ograniczenie zjawiska wyrzucania jej kropeł przez wylatujące spaliny.

Przewiduje się, że w przyszłości bezciśnieniowy wymiennik ciepła zastąpi tradycyjne płuczki mokre, a w niektórych przypadkach również suche wymienniki ciepła. Konstrukcja bezciśnieniowego wymiennika ciepła, który obecnie poddawany jest badaniom, umożliwia pełną jego wymienialność z konstrukcjami płuczek mokrych, opracowanych w ITG KOMAG. Ta właściwość stwarza możliwość zastosowania tego rozwiązania w trakcie przeprowadzania napraw lub remontów maszyn z napędem spalinowym, a także wprowadzenia do nowo budowanych maszyn.

Literatura

- [1] Dobrzaniecki P.: Rozeznanie stanu techniki w zakresie układów wylotowych z wymiennikiem ciepła (suchą płuczka spalin). ITG KOMAG Gliwice 2007 (materiały niepublikowane)
- [2] Dobrzaniecki P., Kaczmarczyk K., Suffner H., Pieczora E.: Rozwój dołowych napędów spalinowych w ITG KOMAG. Maszyny Górnicze 2016 nr 2 s. 20-33
- [3] Gierlotka S.: Rozwój napędu trakcji elektrycznej w kopalniach. Przegląd Górniczy 2005 nr 2

- [4] Lehrbuch der Bergbaukunde mit besonderer Berücksichtigung des Steinkohlenbergbaues. Springer Verlag. Berlin Heidelberg 1943
- [5] Dokumentacja fotograficzna ITG KOMAG
- [6] Ogrodzki A.: Chłodzenie trakcyjnych silników spalinowych. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności Warszawa 1974
- [7] PN-EN 1834-2:2002 Silniki spalinowe tłokowe - Wymagania bezpieczeństwa dotyczące projektowania i budowy silników przeznaczonych do stosowania w przestrzeniach zagrożonych wybuchem - Część 2: Silniki grupy I przeznaczone do stosowania w pracach podziemnych zagrożonych występowaniem metanu i/lub palnego pyłu
- [8] Pokropiński B.: Lokomotywy spalinowe produkcji polskiej. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności. Warszawa 2009. ISBN 978-83-206-1731-3
- [9] Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych (Dz. U. 2017 poz. 1118)
- [10] Sprawozdanie z badań stanowiskowo-atestacyjnych i prób ruchowych lokomotywy podwieszanej spalinowej Lps-90. ITG KOMAG, Gliwice 1996 (materiały niepublikowane)
- [11] Suffner H. i in.: Koncepcja bezciśnieniowego wymiennika ciepła. ITG KOMAG, Gliwice 2017 (materiały niepublikowane)

Czy wiesz, że

...naukowcy z College of Engineering Carnegie Mellon University i Uniwersytetu Missouri, badając możliwości zwiększenia pojemności i trwałości akumulatorów litowo-jonowych zwrócili uwagę na ich wewnętrzną architekturę. Okazuje się, że stosuje się zaledwie kilka jej rodzajów. W każdym z nich porowatość jest bardzo ograniczona. Wykorzystano więc możliwości systemu drukowania Aerosol Jet 3D, łącząc miniaturowe kropki materiału w dowolne, przestrzenne, porowate struktury. Dotąd wykorzystywano pojedynczy strumień materiału. Nowy sposób znacznie poprawił przenikanie litu przez strukturę, zwiększając wydajność i podnosząc pojemność akumulatora. – Często wystarczy w umiejętny sposób wykorzystać istniejące już rozwiązania, aby uzyskać całkiem nową jakość – stwierdził profesor Rahul Panat.

Projektowanie i Konstrukcje Inżynierskie 2018 nr 7/8 s.10

Zasady prowadzenia napraw i remontów urządzeń przeznaczonych do stosowania w atmosferach wybuchowych w aspekcie bezpieczeństwa

dr inż. Andrzej Figiel
Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Procedures for repairing and overhauling the devices intended to be used in explosive atmospheres regarding the safety aspect

Streszczenie:

W artykule zaprezentowano zasady prowadzenia napraw i remontów urządzeń przeznaczonych do stosowania w atmosferach wybuchowych. Na podstawie analizy aktów prawnych i dokumentów normalizacyjnych wskazano na kluczowe zagadnienia dotyczące napraw i remontów w aspekcie zapewnienia bezpieczeństwa i zgodności naprawianych i remontowanych urządzeń z dokumentacją producenta lub wymaganiami norm. Dokonano przeglądu wymagań, jakie muszą spełnić zakłady naprawcze, zwracając w szczególności uwagę na konieczność wdrożenia i stosowania systemu zarządzania jakością ISO 9001. Omówiono również zasady przeprowadzania oceny zdolności remontowej przez Zakład Badań Atestacyjnych Jednostkę Certyfikującą, w tym kryteria uzyskiwania prawa do posługiwania się zastrzeżonym znakiem KOMAG „Potwierdzona zdolność remontowa”.

Abstract:

The article presents the procedures for repairing and overhauling the devices intended to be used in a potentially explosive atmosphere. Based on the analysis of legal acts and standardization documents, key issues related to repairs and repairs were identified in the aspect of ensuring safety and compliance of the repaired and overhauled devices with producer's documentation or requirements of standards. The requirements to be met by repair shops are reviewed, paying a special attention to the necessity of implementation and applying the ISO 9001 quality management system. The principles of assessing the repair capacity conducted by the Division of Attestation Tests, Certifying Body is also discussed, including the criteria for getting the right to use the KOMAG trademark "Confirmed overhaul ability".

Słowa kluczowe: remont, naprawa, atmosfery wybuchowe, urządzenia górnicze, zakład naprawczy

Keywords: repair, overhaul, explosive atmospheres, mining equipment, repair shop

1. Wprowadzenie

Producent ponosi odpowiedzialność za bezpieczeństwo zaprojektowanych, wytworzonych i udostępnianych wyrobów. Wprowadzając do obrotu handlowego urządzenie przeznaczone do stosowania w atmosferach potencjalnie wybuchowych producent powinien zapewnić, że konstrukcja urządzenia spełnia zasadnicze wymagania bezpieczeństwa określone w dyrektywie 2014/34/UE [1]. Do każdego urządzenia producent powinien również dołączyć instrukcje wraz z rysunkami i schematami niezbędnymi do oddania go do użytku, konserwacji, kontroli, sprawdzania prawidłowości działania, a także do naprawy oraz wszystkie informacje odnoszące się do zapewnienia bezpieczeństwa jego użytkowania. Z kolei użytkownik jest zobowiązany do wykorzystania urządzenia zgodnie z jego przeznaczeniem oraz do jego obsługi technicznej, zgodnie z instrukcjami. Mając na uwadze ewentualne skutki utraty zabezpieczenia przeciwwybuchowego, urządzenia przeznaczone do stosowania w atmosferach potencjalnie wybuchowych wymagają specjalnego podejścia podczas instalowania, wykonywania prób odbiorczych, eksploatacji oraz podczas wykonywania napraw i remontów. Doświadczenia Zakładu Badań Atestacyjnych Jednostki Certyfikującej w zakresie oceny zdolności zakładów do wykonywania remontów urządzeń przeznaczonych do stosowania w atmosferach potencjalnie wybuchowych wskazują, że ich poziom techniczny i organizacyjny nie jest wysoki i wymaga poprawy. Jednym z powodów

takiej sytuacji jest brak jednoznacznych wymagań, jakie zakłady remontowe powinny spełniać. W niniejszym artykule przedstawiono wymagania, których spełnienie jest gwarancją prawidłowego wykonywania napraw i remontów urządzeń budowy przeciwwybuchowej przez kompetentne, posiadające odpowiednią wiedzę i uprawnienia osoby, przy zastosowaniu właściwych środków i technik naprawczych.

2. Wymagania prawne dotyczące wykonywania napraw i remontów urządzeń w zakładach górniczych

Aktualne przepisy górnicze nie regulują zasad wykonywania remontów urządzeń przeznaczonych do stosowania w zakładach górniczych, w tym urządzeń przeznaczonych do użytku w atmosferze potencjalnie wybuchowej. W obecnie obowiązującym rozporządzeniu Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych [2] znajdują się jedynie wymagania dotyczące podmiotu gospodarczego, który jest uprawniony do wykonywania remontów sekcji obudowy zmechanizowanej. Zgodnie z obowiązującym rozporządzeniem wykonawcą remontu sekcji obudowy zmechanizowanej oraz jej elementu może być:

- producent sekcji obudowy zmechanizowanej lub jej elementu,
- podmiot mający upoważnienie producenta sekcji obudowy zmechanizowanej lub jej elementu,
- podmiot mający ocenę zdolności do wykonywania remontu sekcji obudowy zmechanizowanej oraz jej elementu, wydaną przez jednostkę certyfikującą wyroby w zakresie obudów zmechanizowanych.

Rozporządzenie nie określa kto i na jakich zasadach może naprawiać i remontować inne rodzaje maszyn i urządzeń, w szczególności urządzenia przeznaczone do użytku w atmosferach potencjalnie wybuchowych. Należy podkreślić, że takie zasady były zawarte w poprzednio obowiązujących przepisach górniczych [3].

Przy braku wymagań wynikających z przepisów prawa należy zatem stosować zasady techniki określone w normach. Do remontów urządzeń przeznaczonych do użytku w atmosferach potencjalnie wybuchowych należy zastosować wymagania zawarte w normie PN-EN 60079-19:2011 [4]. Norma ta zawiera wymagania dotyczące napraw, remontów, regeneracji urządzeń elektrycznych, zabezpieczonych jednym z „normowych” rodzajów zabezpieczenia przeciwwybuchowego, a także wprowadzania w nich zmian i modyfikacji. Określono w niej procedury zapewnienia zgodności tych urządzeń po naprawie, remoncie lub regeneracji, z postanowieniami certyfikatu zgodności lub postanowieniami właściwej normy dotyczącej zabezpieczenia przeciwwybuchowego w sytuacji, gdy certyfikat nie jest dostępny [4]. W normie założono, że zawsze stosowana jest dobra praktyka inżynierska, zgodnie z którą użytkownicy wykorzystują właściwe środki i metody naprawy wszystkich elementów urządzeń, a zakład naprawczy posiada odpowiedni poziom kompetencji i wyposażenia.

Ze względu na, zaprezentowane w normie, bardzo restrykcyjne podejście do napraw i remontów urządzeń elektrycznych w wykonaniu przeciwwybuchowym, stosowanie ich podczas napraw i remontów innych rodzajów maszyn i urządzeń przeznaczonych do

stosowania w atmosferach wybuchowych daje gwarancję, że proces odtworzenia ich konstrukcji będzie zrealizowany z należytą starannością.

Z zapisów normy PN-EN 60079-19:2011 oraz innych dokumentów normatywnych, czy przepisów prawnych nie wynika konieczność przeprowadzania oceny kompetencji, procedur i wyposażenia zakładów naprawczych przez „trzecią stronę”. Ocenę najczęściej przeprowadza się na życzenie użytkownika, kierującego się odpowiedzialnością za bezpieczeństwo techniczne związane z eksploatacją wyremontowanych urządzeń. Zakład Badań Atestacyjnych Jednostka Certyfikująca dokonuje takich ocen stosując ściśle określone kryteria.

3. Wymagania dotyczące remontów

3.1. Definicje

Przez remont należy rozumieć działania mające na celu całkowite przywrócenie urządzenia, które przez pewien czas było eksploatowane lub przechowywane, do stanu zdatności do użytku. Stan ten pozwala na stosowanie wymienionej lub zregenerowanej części składowej bez pogorszenia działania lub przeciwwybuchowego zabezpieczenia urządzenia, w którym dana część składowa została zabudowana, z odniesieniem do dokumentacji certyfikacyjnej, jeśli ma zastosowanie. Różnica pomiędzy remontem a naprawą polega na tym, że remontowi podlega urządzenie, które nie jest uszkodzone, natomiast naprawie - urządzenie uszkodzone. Cel remontu i naprawy jest jednak ten sam - przywrócenie urządzenia do stanu, który pozwala na bezpieczne jego stosowanie w warunkach, do których urządzenie to zostało zaprojektowane. Jeżeli naprawa obejmuje usunięcie lub dodanie materiału w celu regeneracji uszkodzonych części składowych i przywrócenia ich stanu zdatności do użytku zgodnie z odpowiednią normą mówimy o regeneracji.

Naprawę, remont lub regenerację urządzeń przeciwwybuchowych może przeprowadzać producent, użytkownik lub zakład naprawczy. Każdy z podmiotów gospodarczych przeprowadzających naprawę, remont lub regenerację urządzenia (podzespołu lub części) przeznaczonego do stosowania w atmosferze potencjalnie wybuchowej, swoje działania powinien realizować stosując zasady określone w normie PN-EN 60079-19:2011. Norma ta dotyczy, co prawda, napraw i remontów urządzeń elektrycznych, niemniej na jej podstawie można opracować szczegółowe instrukcje realizacji poszczególnych procesów w odniesieniu do każdego wyrobu przeznaczonego do stosowania w atmosferach potencjalnie wybuchowych.

3.2. Zasady ogólne

Urządzenia przeznaczone do pracy w przestrzeniach potencjalnie wybuchowych mogą posiadać kilka rodzajów zabezpieczeń np. silnik może być zabezpieczony za pomocą osłony ognioszczelnej „d” (korpus silnika) oraz za pomocą budowy wzmocnionej „e” (skrzynka przyłączowa). Jeżeli naprawa i remont wpływa na każdy rodzaj zabezpieczenia, to należy spełnić wymagania określone w PN-EN 60079-19: 2011 dotyczące każdego z nich.

W większości przypadków remont polega na doprowadzeniu urządzenia do zgodności z zatwierdzonym przez jednostkę notyfikowaną wzorcem konstrukcyjnym

(zidentyfikowanym w certyfikacie i związanej z nim dokumentacji). Zakłada się, że jeżeli remont został przeprowadzony przez kompetentnych pracowników, zgodnie z dobrą praktyką inżynierską, z zastosowaniem właściwych części zamiennych (określonych przez producenta, zgodnych z normę dotyczącą urządzenia lub odpowiednią dokumentację certyfikacyjną), to urządzenie po remoncie będzie zgodne z urządzeniem certyfikowanym. Nie zaleca się wprowadzania zmian i modyfikacji, chyba, że zezwala na to dokumentacja certyfikacyjna, a producent potwierdzi proponowaną zmianę. Jeżeli wprowadzenie zmian skutkuje powstaniem urządzenia o konstrukcji odbiegającej od opisanej w dokumentacji certyfikacyjnej, urządzenie to należy poddać ponownej certyfikacji.

W przypadku, gdy podczas naprawy, czy remontu zastosowano metody inne od tych, które ustanowiono w instrukcji obsługi lub normie PN-EN 60079-19:2011, należy ustalić, w porozumieniu z producentem i/lub jednostką notyfikowaną, możliwość zastosowania urządzenia w przestrzeni zagrożonej wybuchem. Każdy podmiot gospodarczy, który ingeruje w konstrukcję zabezpieczenia przeciwwybuchowego urządzenia musi mieć świadomość, jaka odpowiedzialność z tą ingerencją się wiąże.

Użytkownicy urządzeń pracujących w przestrzeniach zagrożonych wybuchem powinni dysponować certyfikatem oraz dokumentami zawierającymi informacje niezbędne dla przeprowadzenia naprawy i/lub remontu. Dostarczenie tych dokumentów, wraz z urządzeniem, powinno wynikać z umowy dotyczącej zakupu urządzenia (z przepisów dotyczących oceny zgodności nie wynika konieczność dostarczenia użytkownikowi certyfikatu).

Dokumentacja, wraz z zapisami wszystkich napraw, remontów, zmian lub modyfikacji, powinna być przechowywana przez użytkownika i udostępniana wykonawcy naprawy lub remontu.

3.3. Zakład naprawczy

Wymagania stawiane zakładom naprawczym są wysokie. Realizowane przez nie procesy, w tym specjalne, muszą być wykonywane według ściśle określonych procedur, a ich wyniki podlegać wnikliwej kontroli. Głównie z tych powodów wymaga się, aby zakład naprawczy stosował system zarządzania jakością. Zwykle jest to system wg modelu PN-EN ISO 9001:2015-10 [4].

W ramach systemu zarządzania jakością stosowanego przez zakład naprawczy, należy:

- podać udokumentowane informacje, które pozwalają na wykonanie remontu/ regeneracji wg ustalonych zasad (instrukcji),
- wyznaczyć osobę odpowiedzialną za ocenę zgodności wyremontowanego/ naprawionego urządzenia z certyfikatem,
- dysponować odpowiednimi zasobami kadrowymi (kompetentny personel) oraz technicznymi (park maszynowy, przyrządy pomiarowo-kontrolne, miejsca przechowywania),
- dokonywać oceny stanu urządzenia poddawanego remontowi/naprawie, uzgadniać zakres prac oraz oczekiwany status certyfikacyjny urządzenia po przeprowadzeniu remontu,

- po zakończeniu prac sporządzić sprawozdanie, które należy przekazać użytkownikowi, zawierające co najmniej następujące informacje:
 - szczegóły dotyczące wykrytych uszkodzeń,
 - wszystkie szczegóły dotyczące naprawy i remontu,
 - wykaz wymienionych lub zregenerowanych części,
 - wyniki wszystkich prób i badań,
 - porównanie wyników z kryteriami użytymi do określenia zgodności,
 - kopię umowy lub zamówienia użytkownika,
 - potwierdzenie lub zmianę oznakowania,
 - w przypadku napraw podejmowanych bez dokumentacji przekazanej przez producenta do sprawozdania z naprawy należy również dołączyć:
 - oświadczenie, że naprawa została wykonywana zgodnie z instrukcjami producenta lub wymaganiami normy dotyczącymi konkretnego rodzaju zabezpieczenia, według których urządzenie było pierwotnie wyprodukowane,
 - oświadczenie naprawiającego, że nie posiadał dostatecznego potwierdzenia pełnej zgodności z dokumentami certyfikacyjnymi,
 - oświadczenie, że jakiegokolwiek szczególne warunki stosowania nie zostały określone lub uwzględnione podczas naprawy lub remontu.

Ponadto cały personel zatrudniony bezpośrednio przy naprawie, remoncie urządzenia oraz osoba nadzorująca prace powinny być kompetentne. W zakładzie naprawczym powinny być wyznaczone osoby:

- odpowiedzialne za procesy związane z remontem, naprawą i regeneracją, do każdego rodzaju zabezpieczenia i/lub typów urządzeń (w ramach prowadzonej działalności),
- biorące udział w remontach i naprawach.

Osoby te powinny spełniać zdefiniowane kryteria kompetencyjne, które powinny być okresowo przeglądane i oceniane.

3.4. Dokumenty i zapisy

Wymaga się, aby w ramach systemu zarządzania jakością były sporządzane, dostępne oraz przechowywane:

- normy techniczne, w szczególności dotyczące zabezpieczeń przeciwwybuchowych,
- informacje o certyfikacji systemu zarządzania jakością zakładu (zapisy dotyczące: oceny systemu, wzorcowania przyrządów badawczych, kompetencji i szkolenia personelu, kontroli zakupów, opis systemu reklamacji klienta, dokumentacja z auditów /wewnętrznych i zewnętrznych/ i przeglądu zarządzania, procedury sterowania procesem, rysunki producentów urządzeń),
- zapisy dotyczące czynności podejmowanych w celu uzyskania dokumentów certyfikacyjnych, kontroli w celu potwierdzenia zgodności z odpowiednimi normami, rozpoznania usterki, badań elektrycznych przed i po naprawie (łącznie z identyfikowalnością przyrządów stosowanych w badaniach oraz kryteriami

przyjęcia – odrzucenia), ocen przeprowadzonych przez osobę odpowiedzialną, wraz z uzasadnieniem podjętych decyzji, kontroli aspektów mechanicznych prowadzonych podczas montażu i po jego zakończeniu oraz prac podjętych przez zakład naprawczy, wszelkich części zastępczych wyprodukowanych przez naprawiającego oraz certyfikaty zgodności dla komponentów zastępczych i opis procedury odzyskiwania naprawianych części i podzespołów.

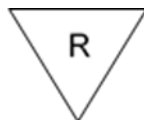
3.5. Identyfikacja

Naprawione i wyremontowane urządzenie powinno być odpowiednio oznakowane w celu identyfikacji danej naprawy lub remontu oraz jego/jej wykonawcy i powinno zawierać:

- odpowiedni symbol:
 - a) w przypadku, gdy naprawa, remont lub regeneracja została przeprowadzona zgodnie z normą PN-EN 60079-19:2011 oraz zakład posiada wystarczające dowody pełnej zgodności z dokumentacją certyfikacyjną i/lub specyfikacją producenta:



- b) w przypadku, gdy urządzenie zostało podczas naprawy lub regeneracji zmienione tak, że w dalszym ciągu spełnia ograniczenia narzucone przez normę PN-EN 60079-19:2011 oraz normy dotyczące zabezpieczenia przeciwwybuchowego, zgodnie z którymi urządzenie to zostało wykonane, a zakład nie posiada wystarczających dowodów jego pełnej zgodności z dokumentacją certyfikacyjną, lub gdy
- c) normy, zgodnie z którymi urządzenie zostało wykonane nie są znane, lecz zastosowane zostały wymagania normy PN-EN 60079-19:2011 oraz wymagania aktualnego wydania odpowiedniej normy dotyczącej zabezpieczenia przeciwwybuchowego, a naprawiający nie posiada wystarczających dowodów pełnej zgodności urządzenia z dokumentacją certyfikacyjną, a ponadto osoba kompetentna w ocenie urządzeń przeciwwybuchowych zweryfikowała dane urządzenie pod względem zgodności z odpowiednim poziomem bezpieczeństwa, zanim urządzenie to zostało wydane przez naprawiającego:



- numer normy „IEC 60079-19” lub jej krajowego odpowiednika,
- nazwę zakładu naprawczego lub jego znak towarowy oraz certyfikat uzyskany przez zakład naprawczy, jeśli certyfikacja miała miejsce,
- numer identyfikacyjny naprawy, nadany przez naprawiającego,
- datę remontu/naprawy.

Oznakowanie powinno być umieszczone na tabliczce, trwale przymocowanej do naprawionego urządzenia. W przypadku kolejnych napraw, tabliczka dotycząca wcześniejszych napraw/remontów powinna być zdjęta, a wszystkie oznaczenia na niej zawarte powinny zostać zapisane.

4. Ocena zakładu naprawczego przez Zakład Badań Atestacyjnych Jednostkę Certyfikującą

Zakład Badań Atestacyjnych Jednostka Certyfikująca dokonuje oceny zdolności zakładów remontowych i naprawczych do wykonywania remontów wszystkich maszyn i urządzeń przeznaczonych do użytku w atmosferze potencjalnie wybuchowej (elektrycznych i nieelektrycznych), zgodnie z ustalonymi kryteriami [6], odwołującymi się do wymagań normy PN-EN 60079-19:2011. W celu dokonania oceny przeprowadza się przegląd dokumentacji zakładu naprawczego oraz audit systemu zarządzania jakością (zakłady stosujące system zarządzania jakością ISO 9001) lub kontrole warunków organizacyjno-technicznych (zakłady stosujące własny system zarządzania jakością). Jeżeli system jakości zakładu przeprowadzającego remont spełnia wymagania, wydawany jest dokument potwierdzający jego zdolność do wykonywania remontów, w zakresie zgłoszonym do oceny. W celu zachęcenia klientów do pełnego wdrożenia wymagań normy PN-EN 60079-19:2011, zakład naprawczy, który stosuje system zarządzania jakością ISO 9001 oraz uzyskał pozytywną ocenę zdolności remontowej może się posługiwać zastrzeżonym znakiem „KOMAG Potwierdzona zdolność remontowa” (rys. 1).



Potwierdzona zdolność remontowa

Rys. 1. Zastrzeżony znak nadawany zakładom naprawczym [opracowanie ITG KOMAG]

5. Podsumowanie

W niniejszym artykule dokonano przeglądu wymagań prawnych i normatywnych, które są stawiane zakładom przeprowadzającym remonty i/lub naprawy urządzeń przeznaczonych do użytku w atmosferach potencjalnie wybuchowych. Na podstawie analizy normy PN-EN 60079-19:2011 wskazano na główne wymagania, jakie muszą spełnić producenci, użytkownicy oraz zakłady naprawcze w celu poprawnego przeprowadzania napraw i remontów urządzeń. Ze względu na zakres obowiązków jakim powinien sprostać zakład naprawczy, trudno wyobrazić sobie sytuację prowadzenia działalności remontowej bez wdrożonego systemu zarządzania jakością ISO 9001. System zarządzania jakością wspomaga bowiem nadzorowanie procesów oraz zarządzanie dokumentacją, a więc tymi obszarami, które są niezmiernie ważne przy doprowadzaniu urządzeń do zgodności z zatwierdzonym wzorcem konstrukcyjnym. Kryteria oceny zakładu naprawczego przyjęte przez Zakład Badań Atestacyjnych Jednostkę Certyfikującą, uwzględniające wymagania normy PN-EN 60079-19:2011, umożliwiają rzetelne i obiektywne przeprowadzanie procesu oceny ich zdolności remontowej.

Literatura

- [1] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/34/UE z dnia 26 lutego 2014 r. w sprawie harmonizacji ustawodawstw państw członkowskich odnoszących się do urządzeń i systemów ochronnych przeznaczonych do użytku w atmosferze potencjalnie wybuchowej. OJ Nr 96 z dnia 29.03.2014 r.
- [2] Rozporządzeniu Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych (Dz. U. 2017 r. poz. 1118)
- [3] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych (Dz. U. 2002 nr 139 poz. 1169 wraz z późn. zm.)
- [4] Norma PN-EN 60079-19:2011 Atmosfery wybuchowe - Część 19: Naprawa, remont i regeneracja urządzeń
- [5] Norma PN-EN ISO 9001:2015-10 Systemy zarządzania jakością - Wymagania
- [6] Figiel A., Lodwich A.: Opracowanie wytycznych/procedury określających(-ej) warunki wydania oceny zdolności do wykonywania remontów maszyn i urządzeń przeznaczonych do stosowania w zakładach górniczych ze szczególnym uwzględnieniem urządzeń przeciwybuchowych (opracowanie własne), 2018 r.