

MASZYNY GÓRNICZE

3/2019

KWARTALNIK NAUKOWO-TECHNICZNY



MASZYNY GÓRNICZE

MINING MACHINES

3(159)2019

Kwartalnik naukowo-techniczny
Rok XXXVII, wrzesień 2019

Zespół Redakcyjny:

Redaktor Naczelny:

dr hab. inż. Dariusz Prostański
prof. ITG KOMAG

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 Gryniewicz-Bylina
prof. ITG KOMAG

prof. dr hab. inż. Aleksander Lutyński

dr hab. inż. Stanisław Szveda

prof. ITG KOMAG

dr hab. inż. Stanisław Trenczek

prof. ITG KOMAG

dr inż. Krzysztof Stankiewicz

dr inż. Jarosław Tokarczyk

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

Prezentując w kolejnym numerze kwartalnika wyniki prac badawczych i rozwojowych z obszaru maszyn górniczych, nasza Redakcja konsekwentnie stara się podkreślać potrzebę długofalowego inwestowania w innowacyjne rozwiązania.

Zwiększające się wymagania związane z ochroną środowiska, wzrost cen energii oraz regulacje prawne obowiązujące w krajach Unii Europejskiej będą powodowały konieczność podejmowania radykalnych działań związanych z modernizacją procesów wydobywczych oraz przeróbczych. Coraz mocniej rośnie świadomość przeobrażeń jakie następują w globalnej gospodarce, w tym w gospodarce Unii Europejskiej, co związane jest przede wszystkim z zawartymi traktatami.

Jednostki zaplecza naukowego i badawczego reagują na zmiany dokonywane w ich otoczeniu, dbając o to, aby sprostać wymaganiom i potrzebom stawianym przez przemysł. Prowadzone są prace badawcze wyprzedzające i oferowane propozycje nowych, udoskonalonych innowacyjnych produktów.

Zaprezentowane w niniejszym wydaniu efekty prac badawczych i rozwojowych przedstawiają wyniki procesów projektowania, badania, wytwarzania i eksploatacji innowacyjnych rozwiązań technicznych, jak również możliwości wdrożenia ich bezpośrednio w działalności gospodarczej.

Zachęcamy także do zapoznania się z wcześniejszymi publikacjami naszego kwartalnika. Przyjęta przez nas polityka Open Access opiera się na przekonaniu, że podstawą rozwoju nauki jest otwartość, dlatego też wszystkich zainteresowanych zachęcamy do korzystania z archiwum Maszyn Górniczych, obejmującego lata 2005-2019 (<http://komag.eu/wydawnictwa/maszyny-gornicze/archiwum>). Mamy nadzieję, że dostępne informacje wpłyną na poszerzenie wiedzy, jak również przyniosą korzyści odbiorcom naszego czasopisma.

Życząc Państwu przyjemnej lektury tradycyjnie zapraszamy do współpracy z naszą Redakcją.

Redakcja Naukowa
Kwartalnika „Maszyny Górnicze”

PROJEKTOWANIE I BADANIA

Figiel A.: Badanie i ocena przewodów i kabli elektrycznych	3
Jagiela-Zajac A., Cheluszka P.: Pomiar ustawienia uchwytów nożowych na pobocznicę głowicy urabiającej kombajnu górniczego z wykorzystaniem widzenia stereoskopowego	10

MASZYNY ŁADUJĄCE

Szkudlarek Z., Janas S.: Wygarniacz portalowy	24
---	----

SYSTEMY STEROWANIA, MONITORINGU I DIAGNOSTYKI

Nieśpiałowski K.: Elektropneumatyczne sterowanie filtra samoczyszczącego	30
--	----

NAPĘDY I UKŁADY NAPĘDOWE

Okrent K., Deja P., Polnik B.: Zastosowanie ogniw litowych do zasilania urządzeń technologicznych w górniczych wozach strzelniczych	42
Nieśpiałowski K.: Agregat hydrauliczny przeznaczony do zasilania napędu taśmowego urządzenia czyszczącego	50

DESIGNING AND TESTING

Figiel A.: Testing and assessment of electric cables	3
Jagiela-Zajac A., Cheluszka P.: Measurement of the pick holders position on the side surface of the cutting head of a mining machine with the use of stereoscopic vision	10

LOADING MACHINES

Szkudlarek Z., Janas S.: Portal stacker-reclaimer	24
---	----

SYSTEMS FOR CONTROL, MONITORING AND DIAGNOSTICS

Nieśpiałowski K.: Electropneumatic control system for self-cleaning filter	30
--	----

DRIVERS AND DRIVE SYSTEMS

Okrent K., Deja P., Polnik B.: The use of lithium batteries to power technological equipment in blasting utility vehicles	42
Nieśpiałowski K.: Hydraulic power pack for supplying the drive of belt cleaning device ..	50

Badanie i ocena przewodów i kabli elektrycznych

Andrzej Figiel

Testing and assessment of electric cables

Streszczenie:

Przewody i kable elektryczne, optyczne i telekomunikacyjne, zanim zostaną wprowadzone do obrotu handlowego, podlegają ocenie za którą odpowiada ich producent. Użytkownik instalacji kablowych jest z kolei odpowiedzialny za prawidłowy dobór kabli i przewodów, ze względu na bezpieczeństwo osób użytkujących instalację. W artykule zaprezentowano wymagania dotyczące kabli i przewodów elektrycznych przeznaczonych do stosowania w podziemnych zakładach górniczych oraz zakres badań wymaganych podczas oceny dokonywanej przez ITG KOMAG.

Słowa kluczowe: kable elektryczne, instalacje kablowe, badania kabli

Keywords: electrical cables, cable installations, cable tests

Abstract:

Before being placed on the market, electrical, optical and telecommunication cables shall undergo an assessment under the responsibility of their manufacturer. The user of the cable systems is responsible for the correct selection of cables for the safety of the persons using the system. The article presents the requirements for electrical cables intended for use in underground mines and the scope of tests required during the assessment carried out by ITG KOMAG.

1. Wprowadzenie

Przydatność kabli i przewodów elektrycznych do wykorzystania w instalacjach elektrycznych wykonywanych w podziemnych wyrobiskach zakładów górniczych powinna być oceniona z uwzględnieniem wymagań ogólnych dla tego typu wyrobów oraz wymagań dodatkowych, wynikających ze specyficznych warunków środowiskowych występujących w miejscu ich docelowej pracy. Wymagania są zawarte w odpowiednich normach europejskich oraz normach i przepisach górniczych.

Laboratoria badawcze oraz jednostka certyfikująca Instytutu Techniki Górniczej KOMAG zapewniają kompleksową ocenę przewodów i kabli górniczych przed ich wprowadzeniem do obrotu handlowego oraz przez zastosowaniem w podziemnym zakładzie górniczym.

2. Wymagania dla kabli i przewodów przeznaczonych do stosowania w wyrobiskach zakładów górniczych

2.1. Wymagania podstawowe

Kable i przewody przeznaczone do pracy w wyrobiskach zakładów górniczych powinny charakteryzować się dużą odpornością na narażenia występujące w miejscu zainstalowania. Powinny zapewniać przede wszystkim bezawaryjną pracę, gwarantując w ten sposób wymaganą ciągłość zasilania, przy jednoczesnym ograniczeniu zagrożeń związanych z ich eksploatacją (porażenie elektryczne, wybuch, pożar).

Ze względu na coraz trudniejsze warunki występujące w eksploatowanych pokładach i związany z tym wzrost poziomu zagrożeń, a także coraz większe wymagania w zakresie niezawodności zasilania urządzeń i maszyn, kable górnicze powinny charakteryzować się następującymi cechami:

- odpornością na typowe narażenia mechaniczne,
- ograniczeniem możliwości wydostania się na zewnątrz łuku elektrycznego w przypadku zwarcia w kablu,
- ograniczeniem zagrożenia porażeniem powodowanego przez uszkodzenie izolacji i dostęp do części przewodzących będących pod napięciem,
- łatwością wykonywania połączeń i zakończeń kabli,
- ograniczeniem zagrożenia pożarowego związanego ze stosowaniem kabli,
- możliwie dużą giętkością i masą własną.

Osiągnięcie powyższych cech jest możliwe poprzez zastosowanie:

- żył miedzianych wielodrutowych,
- izolacji z polietylenu usieciowanego, ewentualnie z polwinitu,
- ekranów indywidualnych na izolacji każdej żyły roboczej,
- pancerza z drutów stalowych ocynkowanych lub taśmy stalowe,
- zewnętrznej osłony antykorozyjnej z polwinitu o zwiększonej odporności na rozprzestrzenianie płomienia.

Osobną grupę stanowią górnicze przewody oponowe przeznaczone do zasilania odbiorników ruchomych i ręcznych, dla których wymaga się, aby zapewniały wysoką odporność mechaniczną, przy jednoczesnym zachowaniu odpowiedniej giętkości. Przewody oponowe należą do elementów sieci elektroenergetycznej o największym narażeniu na uszkodzenia mechaniczne, jednocześnie ograniczona jest możliwość stosowania w ich konstrukcji elementów zwiększających wytrzymałość. Tak jak wszystkie przewody górnicze, dodatkowo powinny mieć konstrukcję ograniczającą ryzyko porażenia i wybuchu.

2.2 Wymagania techniczne dotyczące kabli i przewodów górniczych zawarte w przepisach i normach

Wymagania techniczne dotyczące kabli i przewodów, wynikające ze specyfiki warunków środowiskowych występujących w podziemnych zakładach górniczych, są określone w krajowych przepisach górniczych [1].

Zgodnie z nimi:

- w sieciach i instalacjach elektroenergetycznych eksploatowanych w wyrobiskach zaliczonych do stopnia „b” lub „c” niebezpieczeństwa wybuchu metanu stosuje się kable i przewody ekranowane (§ 738 rozporządzenia [1]),
- w instalacjach elektrycznych stosuje się kable lub przewody oponowe, których osłony ochronne i opony zewnętrzne są trudno zapalne i samogasnące oraz mają żyły miedziane (pkt 5.1.3 Załącznika 4 rozporządzenia [1]),

- w instalacjach średniego napięcia w przypadku, gdy stosowane kable lub przewody nie mają żyły ochronnej, przewód ochronny prowadzi się jako zewnętrzny (pkt 5.1.4 Załącznika 4 rozporządzenia [1]),
- do zasilania maszyn ręcznych, ruchomych lub innych podlegających wstrząsom lub wibracjom stosuje się przewody oponowe ekranowane (pkt 5.3.5 Załącznika 4 rozporządzenia [1]),
- przekrój żył kabli i przewodów, stosowanych w instalacjach elektroenergetycznych o napięciu znamionowym 127 V i większym, nie powinien być mniejszy od $2,5 \text{ mm}^2$ (pkt 5.3.8 Załącznika 4 rozporządzenia [1]),
- w instalacjach maszyn ręcznych i ruchomych stosuje się kable i przewody oponowe ekranowane oraz automatyczną kontrolę ciągłości przewodów ochronnych, powodującą przerwanie obwodów sterowania tych maszyn (pkt 5.7.1 Załącznika 4 rozporządzenia [1]).

Wymagania dotyczące przewodów i kabli zawarto również w normach górniczych, dotyczących wyposażenia elektrycznego maszyn (PN-G-50001:2002 [2]), obciążalności prądowej długotrwałej (PN-G-42060:1997 [3]), osłon ochronnych i pancerzy kabli elektrycznych (PN-E-90163:1990 [4], traktowana jako zasady techniki), opony zewnętrznej przewodów oponowych do górniczych odbiorników ruchomych i przenośnych (PN-E-90140:1989 [5], traktowana jako zasady techniki).

Wymagania ujęte w ww. normach górniczych, ze względu na brak ich aktualizacji, odnoszą się do stanu wiedzy technicznej sprzed kilkunastu, a nawet kilkudziesięciu lat.

Z tego powodu, kable i przewody górnicze, oprócz wymagań przepisów górniczych, powinny spełniać wymagania:

- rozporządzenia Ministra Rozwoju i Finansów z dnia 21 grudnia 2016 r. [6], które implementuje postanowienia Dyrektywy RoHS 2011/65/UE (tzw. RoHS III), która obowiązuje producentów sprzętu elektrycznego i elektronicznego do ograniczania wykorzystania substancji, mogących negatywnie oddziaływać na środowisko w okresie jego użytkowania oraz po jego zużyciu, do których należą: ołów, rtęć, kadm, sześciowartościowy chrom polibromowane bifenyle PBB i polibromowane etery difenylowe PBDE, ftalan di(2-etyloheksylu) (DEHP), ftalan benzylu butylu (BBP), ftalan dibutylu (DBP), ftalan diizobutylu (DIBP), heksabromocyklododekan HBCD,
- norm:
 - PN-EN 60204-1:2018-12 [7] - dotyczącej wytrzymałości mechanicznej, izolacji, obciążalności prądowej długotrwałej, elastyczności (giętkości),
 - PN-EN 60332-1-2:2010/A1:2016-02 [8] - zawierającej opis badania palności kabli i przewodów elektrycznych oraz światłowodowych, polegającego na sprawdzeniu odporności na pionowe rozprzestrzenianie się płomienia pojedynczego izolowanego przewodu lub kabla,
 - PN-EN ISO 4589-2:2017-06 [9] - określającej zdolność do podtrzymywania płomienia na podstawie wskaźnika tlenowego zewnętrznej osłony ochronnej przewodu (wskaźnik tlenowy WT jest to najmniejsza wyrażona w procentach objętościowych zawartość tlenu w mieszaninie tlenu i azotu, która

w warunkach metody badań podtrzymuje stałe palenie się badanej próbki tworzywa). W zależności od wartości wskaźnika tlenowego, tworzywo sztuczne z którego jest wykonana zewnętrzna osłona ochronna przewodu (opona) uważa się za:

- palne, gdy wskaźnik tlenowy $WT < 21 \%$,
- samogasnące gdy wskaźnik tlenowy $21 \% < WT < 28 \%$,
- niepalne, gdy wskaźnik tlenowy $28 \% < WT < 100 \%$.

2.3. Wymagania dotyczące kabli stosowanych w systemach iskrobezpiecznych

Kable i przewody przeznaczone do stosowania w obwodach iskrobezpiecznych powinny spełniać wymagania normy:

- PN-EN 50303:2004 [10], dotyczącej kabli i przewodów mających więcej niż jeden obwód iskrobezpieczny kategorii „ia”,
- PN-EN 60079-25:2011 [11], dotyczącej budowy, izolacji, parametrów elektrycznych, sposobu ochrony przed uszkodzeniami mechanicznymi, w tym kabli i przewodów wielożyłowych.

Zgodnie z normą PN-EN 60079-25:2011 średnice pojedynczych drutów lub drutów przewodów linkowych w przestrzeniach zagrożonych nie powinny być mniejsze niż 0,1 mm.

W obwodach iskrobezpiecznych mogą być stosowane tylko izolowane kable lub przewody o izolacji zdolnej wytrzymać próbę wytrzymałości elektrycznej napięciem przemiennym co najmniej 500 V lub napięciem stałym 750 V.

W przypadku stosowania kabli lub przewodów wielożyłowych promieniowa grubość izolacji każdej żyły powinna być odpowiednia do średnicy żyły oraz właściwości fizycznych izolacji i wynosić minimum 0,2 mm. Kable lub przewody wielożyłowe powinny uzyskać pozytywny wynik próby wytrzymałości elektrycznej napięciem co najmniej:

- 500 V wartości skutecznej napięcia przemiennego lub 750 V napięcia stałego między pancerzem i/lub ekranem (ekranami) połączonymi razem a wszystkimi żyłami również połączonymi razem,
- 1000 V wartości skutecznej napięcia przemiennego lub 1500 V napięcia stałego między wiązką obejmującą połowę żył kabla lub przewodu połączonych razem a wiązką obejmującą drugą połowę żył połączonych razem. Próba ta nie ma zastosowania do kabli lub przewodów wielożyłowych z przewodzącymi ekranami poszczególnych obwodów.

Próba wytrzymałości elektrycznej powinna być wykonana zgodnie z odpowiednią normą dotyczącą kabli lub przewodów lub zgodnie z PN-EN 60079-11:2012 [11].

Wielożyłowe kable lub przewody zawierające obwody zaliczone do poziomu zabezpieczenia „ia”, „ib” lub „ic” nie powinny zawierać obwodów nieiskrobezpiecznych. W normie PN-EN 60079-25:2011 rozróżnia się trzy rodzaje kabli/przewodów wielożyłowych (rodzaju A, B i C). Wymagania dla poszczególnych rodzajów kabli/przewodów wielożyłowych przedstawiono w tabeli 1 [12].

**Wymagania dla poszczególnych rodzajów kabli/przewodów wielożyłowych
(opracowano na podstawie PN-EN 60079-25:2011)[12]**

Tabela 1

Rodzaj kabla wielożyłowego	Budowa żył	Izolacja	Ekran przewodzący	Dodatkowe wymagania	Analiza uszkodzeń
A	Średnice pojedynczych drutów lub drutów przewodów linkowych $\geq 0,1$ mm	Grubość izolacji $\geq 0,2$ mm Próba wytrzymałości elektr. izolacji: ekran/pancerz – wiązka żył	ekrany przewodzące indywidualne każdego obwodu (pokrycie $\geq 60\%$ powierzchni)		Nie uwzględnia się
B		≥ 500 V AC ≥ 750 V DC pomiędzy dwoma wiązkami żył		Instalacja stała, skutecznie ochroniona przed uszkodzeniami mechanicznymi	Nie uwzględnia się jeżeli brak obwodu o $U_0 > 60$ V
C		≥ 1000 V AC ≥ 1500 V DC			dwa zwarcia żył, cztery przerwy

3. Możliwości badawcze laboratoriów Instytutu Techniki Górniczej KOMAG

Możliwości badawcze Zakładu Badań Atestacyjnych Jednostki Certyfikującej w pełni umożliwiają przeprowadzenie badań zgodnie z normami, które należy stosować przy ocenie przydatności kabli i przewodów elektrycznych do stosowania w zakładach górniczych. Większość badań wykonują akredytowane laboratoria badawcze, wchodzące w skład instytutu KOMAG: Laboratorium Badań Stosowanych (certyfikat akredytacji AB 665) oraz Laboratorium Inżynierii Materiałowej i Środowiska (certyfikat akredytacji AB 910)

Akredytowane laboratoria instytutu posiadają kompetencje i odpowiednie wyposażenie do przeprowadzenia badań w następującym zakresie:

- sprawdzenie konstrukcji i wymiarów geometrycznych (grubość izolacji, przekrój żył),
- badanie wytrzymałości elektrycznej izolacji,
- pomiar parametrów elektrycznych kabli i przewodów (pojemność, indukcyjność, rezystancja),
- badanie palności kabli i przewodów,
- określenia zawartości niebezpiecznych substancji określonych w rozporządzeniu Ministra Rozwoju i Finansów z dnia 21 grudnia 2016 r. [6], które implementuje postanowienia Dyrektywy RoHS 2011/65/UE (tzw. RoHS III).

Wyznaczenie wskaźnika tlenowego realizuje laboratorium, będące podwykonawcą Zakładu Badań Atestacyjnych Jednostki Certyfikującej.

3. Podsumowanie

W artykule przedstawiono wymagania techniczne, jakie powinny spełniać kable i przewody przeznaczone do stosowania w zakładach górniczych. Zakład Badań Atestacyjnych Jednostka Certyfikująca na podstawie wyników badań dokonuje oceny i potwierdza możliwość stosowania kabli i przewodów w podziemnych wyrobiskach zakładów górniczych. Zakres wymaganych badań, w zależności od przeznaczenia kabli i przewodów elektrycznych, jest różny. Większość badań należy jednak przeprowadzić dla każdego rodzaju i typu kabli i przewodów (badania dotyczące budowy, izolacji, trudnopalności, zawartości substancji niebezpiecznych). Możliwości badawcze Instytutu KOMAG są wystarczające do przeprowadzenia kompleksowych badań i oceny kabli i przewodów górniczych.

Producenci kabli i przewodów mogą poddać produkowane przez siebie wyroby badaniom i ocenie w jednym miejscu, w odniesieniu do norm krajowych i europejskich, przepisów górniczych oraz przepisów dotyczących niebezpiecznych substancji.

Literatura

- [1] Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych (Dz. U. z 2017 r., poz. 1118).
- [2] PN-G-50001:2002 Ochrona pracy w górnictwie. Wyposażenie elektryczne maszyn górniczych. Wymagania ogólne.
- [3] PN-G-42060:1997 Elektroenergetyka kopalniana. Obciążalność przewodów oponowych i kabli stosowanych w podziemnych wyrobiskach zakładów górniczych.
- [4] PN-E-90163:1990 Osłony ochronne i pancerze kabli elektrycznych
- [5] PN-E-90140:1989 Przewody elektroenergetyczne o izolacji i oponie gumowej do górniczych odbiorników ruchomych i przenośnych. Wymagania i badania
- [6] Rozporządzenie Ministra Rozwoju i Finansów z dnia 21 grudnia 2016 r. w sprawie zasadniczych wymagań dotyczących ograniczenia stosowania niektórych niebezpiecznych substancji w sprzęcie elektrycznym i elektronicznym (Dz. U. 2017 r., poz. 7 z późn. zmianami).
- [7] PN-EN 60204-1:2018-12 Bezpieczeństwo maszyn. Wyposażenie elektryczne maszyn. Część 1: Wymagania ogólne.
- [8] PN-EN 60332-1-2:2010 Badania palności kabli i przewodów elektrycznych oraz światłowodowych. Część 1-2: Sprawdzanie odporności pojedynczego izolowanego przewodu lub kabla na pionowe rozprzestrzenianie się płomienia. Metoda badania płomieniem mieszkankowym 1 kW
- [9] PN-EN ISO 4589-2:2017-06 Tworzywa sztuczne. Oznaczanie zapalności metodą wskaźnika tlenowego. Część 2: Badanie w temperaturze pokojowej
- [10] PN-EN 50303:2004 Urządzenia grupy I kategorii M1 przeznaczone do pracy ciągłej w atmosferach zagrożonych metanem i/lub pyłem węglowym
- [11] PN-EN 60079-25:2011 Atmosfery wybuchowe. Część 25: Systemy iskrobezpieczne

- [12] Figiel A. Wymagania dotyczące zapewnienia iskrobezpieczeństwa systemów sterowania. Maszyny Górnicze 2016 nr 3 (147), str. 45-53

dr inż. Andrzej Figiel
afigiel@komag.eu

Instytut Techniki Górniczej KOMAG
ul. Pszczyńska 37, 44-101 Gliwice

Czy wiesz, że

... firma JÖST GmbH posiada w swej ofercie szeroką gamę nowoczesnych przesiewaczy. Do najnowszych należy przesiewacz OSCILLA o konstrukcji typu flip-flow. Urządzenie znajduje zastosowanie przede wszystkim przy przesiewaniu materiałów łatwo sklejających się, które wykazują skłonność do szybkiego zapychania oczek pokładów sitowych, a więc przy materiałach trudno przesiewalnych, materiałach niejednorodnych, takich jak odpady komunalne, odpady przemysłowe i paliwa alternatywne oraz szczególnie tam, gdzie mają być przesiewane materiały o wysokiej zawartości wilgoci. Przesiewacze OSCILLA stosuje się również w przesiewaniu m.in. żużli oraz odpadów uprzednio rozdrobnionych mechanicznie. Bardzo dobre efekty uzyskuje się także przy przesiewaniu węgla, koksu oraz piasków trudno przesiewalnych, wykazujących skłonności do sklejanie się. Przesiewacze OSCILLA są rezonansowymi systemami dwumasowymi. Jeden element stanowi korpus przesiewacza, a drugi rama znajdująca się wewnątrz przesiewacza. Zasada ich działania bazuje na drganiach o ruchu kołowym korpusu, wywołanych wirowaniem mas niewyważonych. Ruch ten jest zamieniany na względny ruch prostoliniowy ramy wewnętrznej. Zaletą systemu OSCILLA jest możliwość szerokiego spektrum stosowania. W przypadku konieczności przesiewania na tej samej maszynie materiałów znacznie różniących się własnościami, możliwa jest prosta i łatwa regulacja systemu sprężyn. Kolejną zaletą jest stosunkowo niewielka wysokość zabudowy, z uwagi na relatywnie płaską konstrukcję maszyny.

AT Mineral Processing 2019 nr 7-8 s.6-7

Pomiary ustawienia uchwytów nożowych na pobocznicy głowicy urabiającej kombajnu górniczego z wykorzystaniem widzenia stereoskopowego

Amadeus Jagieła-Zajac
Piotr Cheluszka

Measurement of the pick holders position on the side surface of the cutting head of a mining machine with the use of stereoscopic vision

Streszczenie:

O efektywności urabiania skał kombajnami górniczymi decyduje w dużym stopniu układ noży, a więc liczba i sposób ich rozmieszczenia na organie roboczym maszyny urabiającej. Istotne znaczenie ma nie tylko prawidłowy dobór układu noży do danych warunków na etapie projektowania, lecz również zapewnienie zgodności z projektem gotowego wyrobu. Dąży się m.in. dlatego do robotyzacji procesu wytwarzania głowic/organów urabiających kombajnów górniczych. Z punktu widzenia możliwości robotyzacji procesu spawania uchwytów nożowych niezbędna jest ocena w czasie rzeczywistym ustawienia uchwytów nożowych względem powierzchni pobocznic kadłuba głowicy urabiającej. Dogodnym sposobem jest tu wykorzystanie bezstykowych metod pomiaru, opartych na systemach wizyjnych. W artykule przedstawiono metodę wyznaczania ustawienia uchwytów nożowych względem pobocznic kadłuba głowicy urabiającej kombajnu chodnikowego, w trakcie ich pozycjonowania, z wykorzystaniem systemu wizyjnego 3D. Przetwarzanie danych zrealizowane zostało w środowisku Matlab z wykorzystaniem bibliotek pakietu Computer Vision Toolbox. Przetworzono model matematyczny opisujący transformację obrazów zarejestrowanych przez kamery, w oparciu o którą wyznaczono rozkład odległości pomiędzy punktami podstawy uchwytu nożowego i pobocznic kadłuba głowicy urabiającej, dla zadanego ustawienia uchwytu nożowego. Opracowaną metodę pomiaru przetestowano na stanowisku doświadczalnym zbudowanym w Laboratorium robotyki Katedry Mechanizacji i Robotyzacji Górnictwa Politechniki Śląskiej

Abstract:

The efficiency of rock cutting with mining machines is largely determined by the arrangement of picks, i.e. the number and their arrangement on the working unit of the mining machine. Not only the correct selection of the pick system for given conditions at the design stage is important, but also ensuring compliance with the design of the finished product. Strives, among others therefore, for robotisation of the process of manufacturing cutting heads/drums. From the point of view of the robotisation of the pick holders welding process, it is necessary to assess in real time the position of the pick holders relative to the side surface of the cutting head body. A convenient way is to use contactless measurement methods based on vision systems. The article presents a method of determining the position of pick holders relative to the side surface of the cutting head body of a roadheader, during their positioning, using a 3D vision system. Data processing was carried out in the Matlab software using the libraries of the Computer Vision Toolbox. A mathematical model describing the transformation of images recorded by cameras has been presented. On the basis of this model, the distribution of distances between the pick holder base points and the side surface of the cutting head was determined for a given pick holder setting. The developed measurement method was tested on an experimental stand built in the Laboratory of robotics of the Department of Mining Mechanization and Robotisation at the Silesian University of Technology.

Słowa kluczowe: głowica urabiająca, uchwyty nożowe, widzenie stereoskopowe, pomiary stereometrii

Keywords: cutter head, pick holders, stereoscopic vision, stereometry measurements

1. Wprowadzenie

Dla zapewnienia wysokiej dokładności i powtarzalności produkcji głowic/organów urabiających kombajnów górniczych dąży się do robotyzacji tego procesu [1, 2].

Głowice/organy urabiające składają się z korpusu i uchwytów nożowych przyspawanych do pobocznicy głowicy, w których umieszczone są noże. Pozycję przestrzenną układu nóż–uchwyt nożowy determinują wartości sześciu parametrów, ustalane na etapie projektowania. Korpusy głowic urabiających kombajnów chodnikowych i organów urabiających kombajnów ścianowych, powszechnie są odzyskiwane w procesie remontowym i ich wymiary często nie są zgodne z wymiarami nominalnymi. Kontrola procesu pozycjonowania uchwytów nożowych w technologii zrobotyzowanej determinuje potrzebę opracowania metody pozwalającej na monitorowanie on-line i pomiar odległości pomiędzy podstawą uchwytu nożowego i pobocznica głowicy urabiającej w miejscu jego montażu, w trakcie dojazdu ramienia robota do pozycji docelowej wynikającej z zadanego ustawienia danego uchwytu nożowego.

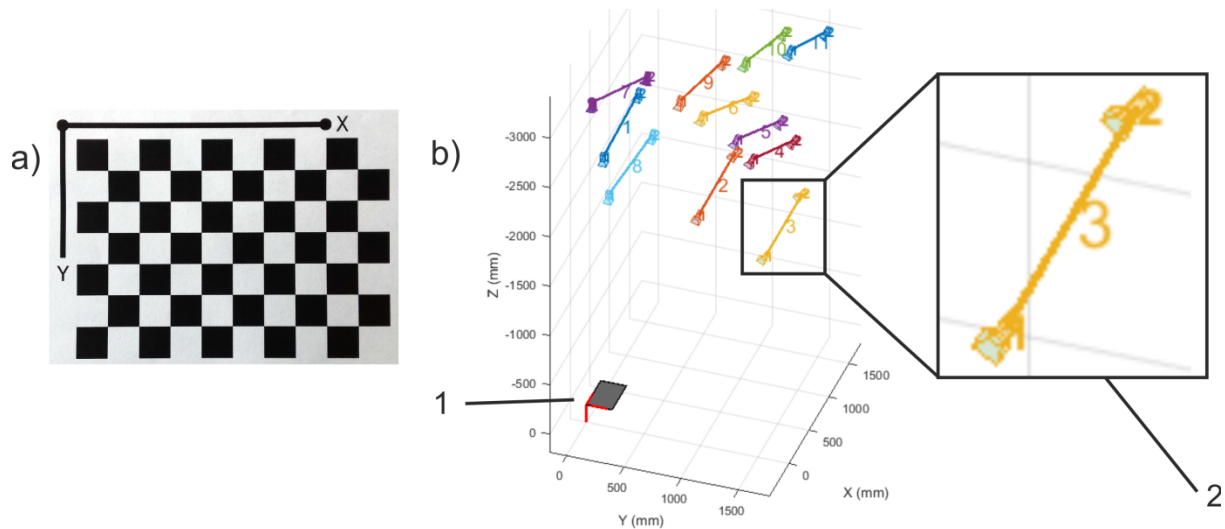
Posiadając informacje o przestrzennym położeniu punktów pobocznicy głowicy urabiającej i punktów podstawy uchwytu nożowego, możliwe jest wyznaczenie pozycji uchwytu nożowego względem korpusu głowicy urabiającej (organu urabiającego). Gdy rzeczywisty kształt tego korpusu odbiega od nominalnego możliwe będzie w ten sposób skorygowanie pozycji uchwytu nożowego, aby wyeliminować ryzyko kolizji uchwytu nożowego z kadłubem głowicy urabiającej oraz zapewnić możliwość jego przyspawania.

Prezentowana w niniejszym artykule metoda umożliwia pomiar odległości pomiędzy podstawą uchwytu nożowego i pobocznica głowicy urabiającej w dowolnym punkcie podstawy uchwytu nożowego. Oparta jest ona na analizie zdjęć pomiarowych uzyskanych z kamer systemu wizyjnego KUKA VisionTech. Zdjęcia te przetwarzane są przez pakiet Computer Vision Toolbox w programie MatLab. Możliwe jest przy tym również wykorzystanie innych narzędzi, takich jak biblioteka OpenCV [3] czy środowisko LabView.

2. Metoda wyznaczania odległości pomiędzy podstawą uchwytu nożowego i pobocznica głowicy urabiającej z wykorzystaniem widzenia stereoskopowego

Istnieje wiele możliwości uzyskania efektu stereoskopowego [4]. To na nim opiera się widzenie przestrzenne. Jeżeli jakiś punkt jest bowiem zarejestrowany na przynajmniej dwóch zdjęciach wykonanych z różnych stanowisk to możliwe jest jednoznaczne określenie jego współrzędnych w przestrzeni [5]. W zależności od posiadanych danych wejściowych istnieją różne możliwości określenia tych współrzędnych [6].

Punktem wyjścia procesu pomiarowego jest kalibracja kamery lub kamer. Dokonuje się jej po to, aby uzyskać macierz wartości parametrów wewnętrznych kamery [7]. Parametry wewnętrzne kamery określają właściwości optyczne obiektywu, jego zniekształcenia radialne i styczne. Wyznacza się również współrzędne środka obrazu (środku rzutu). Istnieje kilka sposobów kalibracji kamer, np. przy użyciu wzorca kalibracyjnego. Stosuje się takie metody, jak: Direct Linear Transform, Tsai, Zhang, Heikkilä, Bouguet oraz wiele innych [8]. Kalibracji kamer można dokonać na podstawie jednego zdjęcia lub wielu zdjęć. Niektóre metody uwzględniają radialne i styczne dystorsje, a niektóre nie. Niezależnie od użytej metody wyniki są dość podobne. W opracowanej metodzie pomiarowej użyto metody Zhenga. Jest to domyślna metoda zaimplementowana w środowisku MatLab, w której użyto domyślnej tablicy kalibracyjnej (rys. 1a). W celu kalibracji kamer wykonano jedenaście zdjęć przy różnym ich ustawieniu względem tablicy kalibracyjnej (rys. 1b).



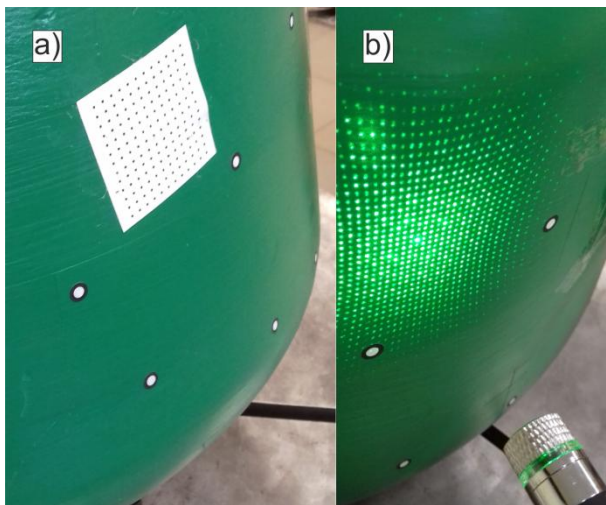
Rys. 1. Tablica kalibracyjna (a) i położenie kamer względem tablicy kalibracyjnej w trakcie kalibracji (b):
1 – płyta kalibracyjna, 2 – zespół kamer (kolorowe odcinki oznaczone numerami od 1 do 11 odwzorowują
ustawienie bazy zespołu kamer względem tablicy kalibracyjnej)

Aby uzyskać efekt stereoskopowy nie jest konieczne wykorzystanie dwóch kamer [9]. Algorytmy zaimplementowane w narzędziach komputerowych umożliwiają przestrzenną wizualizację punktów widocznych na pobranych obrazach bez wiedzy na temat parametrów zewnętrznych układu kamer [10]. Parametry zewnętrzne układu kamer określają przesunięcie i obrót kamer względem układu współrzędnych związanego z obserwowaną sceną. Przy użyciu odpowiednich funkcji i na podstawie pewnych odpowiadających sobie punktów na obu obrazach możliwe jest zbudowanie modelu przestrzennego fotografowanej sceny. Nie mniej jednak, posiadając wiedzę na temat parametrów zewnętrznych kamer, rekonstrukcja ta jest łatwiejsza i dokładniejsza [11, 12]. Różne metody kalibracji wymagają różnej liczby punktów pomiarowych potrzebnych do obliczeń. Stosowane są między innymi algorytmy: siedmiopunktowy, ośmiopunktowy, Ransac, czy LMedS [13]. W wyniku ich działania otrzymujemy wartości elementów macierzy, które określają związki pomiędzy punktami zarejestrowanymi na zdjęciach. Kalibrację kamer umożliwiają narzędzia komputerowe. W środowisku MatLab podstawową metodą jest algorytm ośmiopunktowy.

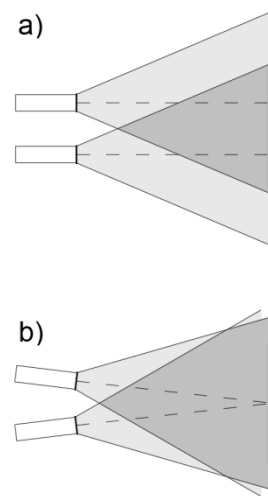
Mając do dyspozycji robota przemysłowego, możliwa jest akwizycja kolejnych zdjęć pomiarowych jedną kamerą, przy zmianie jej pozycji w przestrzeni za pomocą robota [14]. Wówczas można przy użyciu jednej kamery uzyskać taki sam efekt, jak przy użyciu dwóch kamer.

W przypadku użycia dwóch kamer, znając ich parametry zewnętrzne i wewnętrzne, korzystając z triangulacji można wyznaczyć współrzędne przestrzenne odpowiadających sobie punktów znajdujących się na parze analizowanych zdjęć [15]. Jeżeli układ kamer jest kanoniczny, to na podstawie wewnętrznych i zewnętrznych parametrów kamery można stworzyć mapę dysparycji [16, 17]. Obrazuje ona różnicę położenia pikseli pomiędzy parą obrazów stereo [18]. Model przestrzenny zbudowany na podstawie mapy dysparycji obejmuje scenę zarejestrowaną na zdjęciach.

W celu określenia odległości pomiędzy pobocznicą kadłuba głowicy urabiającej i powierzchnią podstawy danego uchwytu nożowego niezbędne jest określenie kształtu pobocznicę głowicy w bezpośrednim otoczeniu rozpatrywanego uchwytu nożowego. Dokonuje się tego na podstawie położenia markerów (znaczników) naniesionych na pobocznice kadłuba głowicy urabiającej [19]. W trakcie realizacji badań stanowiskowych znaczniki te miały postać siatek punktów wydrukowanych na kartce papieru (rys. 2a). Kartka ta naklejona została na korpus głowicy urabiającej w miejscu, w którym znajdować się będzie podstawa uchwytu nożowego po jego ustawieniu za pomocą ramienia robota. Alternatywnym i bardziej praktycznym rozwiązaniem jest projekcja siatki punktów za pomocą projektora lub lasera [20] (rys. 2b). Ze względu na to, że podstawa uchwytu nożowego jest płaska, w celu określenia jej położenia w przestrzeni wystarczające jest wyznaczenie współrzędnych trzech, spośród czterech, jej narożników.



Rys. 2. Znaczniki naniesione na korpus głowicy urabiającej: a) w formie siatki wydrukowanej na kartce papieru, b) wyświetlone za pomocą lasera



Rys. 3. Kanoniczne ustawienie kamer (a) oraz zbieżne ustawienie kamer (b)

W badaniach stanowiskowych użyto dwóch kamer cyfrowych, będących częścią systemu wizyjnego. Użycie dwóch kamer przyspiesza akwizycję danych pomiarowych. Pomimo tego, iż są to takie same kamery, tego samego producenta, to zdjęcia zarejestrowane przez te kamery cechować się mogą różną jakością. Utrudnia to realizację procesu odnajdywania przez oprogramowanie na obrazach odpowiadających sobie punktów. Z pomocą przychodzą rozmaite techniki poprawy jakości zdjęć, takie jak: segmentacja, metody wyrównywania kontrastu, filtry liniowe, operacje morfologiczne, czy metody wyrównywania histogramu [21].

Ze względu na wzajemne ustawienie kamer mogą one pracować w układzie kanonicznym (równoległym) lub zbieżnym [22]. Ponieważ w badaniach wykorzystano dwie kamery wąskokątne a obszary, które fotografowano są niewielkie, użyto zbieżnego układu kamer (rys. 3b). W przypadku kanonicznego układu (rys. 3a), kamery te w trakcie akwizycji obrazów musiałyby się bowiem znajdować daleko od fotografowanych obiektów, aby zapewniony był odpowiedni stosunek długości bazy (odległości między kamerami) do odległości od fotografowanych obiektów [23]. W przypadku, gdy kamery znajdują się blisko fotografowanego obiektu jest on odwzorowany z większą rozdzielczością. Z tego powodu znaczniki naniesione na pobocznice głowicy urabiającej powinny być możliwie małe i gęsto rozmieszczone, co zwiększa dokładność pomiaru. W wyniku zastosowania zbieżnego układu

kamer otrzymujemy dwa obrócone względem siebie zdjęcia interesujących nas obiektów. Podobnie, jak w metodzie opisanej w pracy [24] kamery powinny być umieszczone w odpowiedni sposób względem podstawy uchwytu nożowego i pobocznic głowicy urabiającej w trakcie akwizycji zdjęć pomiarowych.

Pomiar z użyciem systemu stereowizyjnego realizowany jest podczas pozycjonowania uchwytu nożowego względem pobocznic głowicy urabiającej. W trakcie dojeżdżania uchwytem nożowym do pobocznic dokonywana jest akwizycja zdjęć pomiarowych. Kierunek natarcia chwytaka zabudowanego na ramieniu robota, trzymającego pozycjonowany uchwyt nożowy, jest prostopadły do podstawy uchwytu nożowego. Ponieważ układ sterowania robota w trakcie pozycjonowania uchwytów nożowych korzysta z informacji o położeniu i orientacji układu współrzędnego narzędzia ($X_T Y_T Z_T$) należy dokonać jego transformacji na układ współrzędnych związany z podstawą uchwytu nożowego ($X_P Y_P Z_P$).

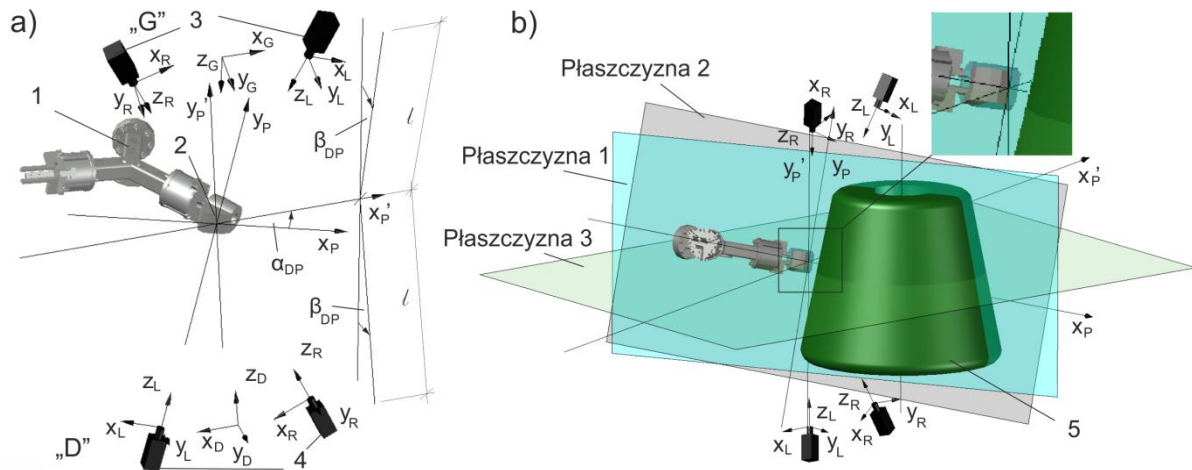
Rozpatrzono dwa ustawienia kamer względem fotografowanych obiektów – górne (oznaczone jako “G”) oraz dolne (oznaczone jako “D”) (rys. 4). Stanowiska fotograficzne położone są z dwóch przeciwnych stron danego uchwytu nożowego w taki sposób, aby zapewnić kamerom możliwość zarejestrowania wszystkich interesujących punktów. Oś: X_G i X_D układu współrzędnych związanego z systemem wizyjnym dla poszczególnych jego ustawień pokrywają się z płaszczyzną rozciągającą się pomiędzy osią obrotu głowicy urabiającej i środkiem podstawy uchwytu nożowego (płaszczyzna 1). Jeżeli na zarejestrowanych zdjęciach z pozycji górnej nie można odnaleźć wszystkich punktów, układ sterowania robotem pozycjonujący system wizyjny może ustawić kamery w pozycji dolnej. Wyznaczenie położenia i orientacji systemu wizyjnego w przestrzeni dla poszczególnych stanowisk fotogrametrycznych jest możliwe w oparciu o złożone jednorodne macierze transformacji:

$$- \text{ustawienie górne: } \mathbf{B}_G = \mathbf{Rot}(Z, \alpha_{DP}) \cdot \mathbf{Rot}\left(X, -\frac{\pi}{2}\right) \cdot \mathbf{Rot}(Y, \beta_{DP}) \cdot \mathbf{Trans}(\mathbf{0}, \mathbf{0}, -l) \quad (1)$$

$$- \text{ustawienie dolne: } \mathbf{B}_D = \mathbf{Rot}(Z, \alpha_{DP}) \cdot \mathbf{Rot}\left(X, \frac{\pi}{2}\right) \cdot \mathbf{Rot}(Y, \beta_{DP}) \cdot \mathbf{Trans}(\mathbf{0}, \mathbf{0}, -l) \quad (2)$$

gdzie:

- α_{DP} – kąt zawarty pomiędzy osią X_P układu współrzędnych związanego z podstawą danego uchwytu nożowego i osią X_P' układu współrzędnych $X_P' Y_P' Z_P'$, będącą częścią wspólną płaszczyzny podstawy uchwytu nożowego (płaszczyzna 2 na rys. 4b) oraz płaszczyzny prostopadłej do osi obrotu pobocznic głowicy urabiającej (płaszczyzna 3 na rys. 4b),
- β_{DP} – kąt pomiędzy podstawą uchwytu nożowego i osią optyczną kamery,
- l – odległość początku układów współrzędnych systemu wizyjnego od początku układu współrzędnych podstawy uchwytu nożowego ($X_P Y_P Z_P$).



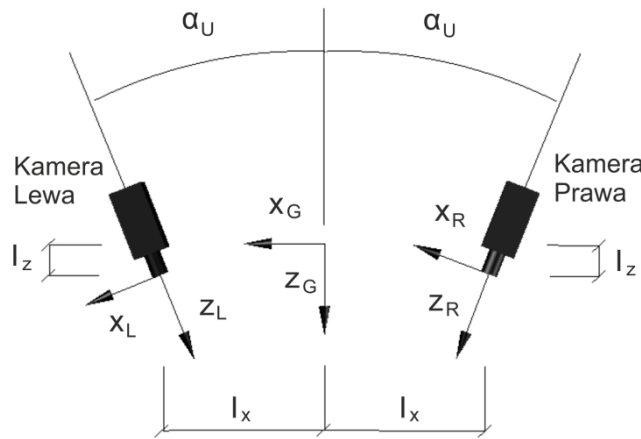
Rys. 4. Ustawienie kamer w czasie akwizycji zdjęć pomiarowych: a) względem podstawy uchwytu nożowego, b) względem pobocznic kadłuba głowicy urabiającej: 1 – chwytak, 2 – uchwyt nożowy, 3 – kamery w górnym położeniu (umieszczone od strony czołowej głowicy urabiającej), 4 – kamery w dolnym położeniu (umieszczone od strony podstawy głowicy urabiającej), 5 – pobocznica głowicy urabiającej

Ponieważ współrzędne przestrzenne znaczników otrzymane w wyniku przetwarzania zdjęć pomiarowych w środowisku Matlab określone są w układzie współrzędnych związanym z kamerą lewą ($X_L Y_L Z_L$), aby otrzymać wartości współrzędnych tych punktów w układzie współrzędnych względem podstawy uchwytu nożowego, należy w pierwszej kolejności dokonać transformacji układu współrzędnych do układu współrzędnych związanego z systemem wizyjnym ($X_G Y_G Z_G$ lub $X_D Y_D Z_D$) (rys. 5). Układ współrzędnych kamery jest tak zorientowany, że oś Z pokrywa się z osią optyczną kamery, a osie X i Y tworzą płaszczyznę równoległą do płaszczyzny tłowej (matrycy światłoczułej kamery). Aby dokonać takiej transformacji należy wektor wodzący każdego punktu pomiarowego pomnożyć przez jednorodną złożoną macierz transformacji C :

$$C = \text{Rot}(Y, \alpha_U) \cdot \text{Trans}(-l_X, 0, -l_Z) \quad (3)$$

gdzie:

- α_U – kąt zawarty pomiędzy osiami optycznymi kamer i osią Z_G (lub Z_D) układu współrzędnych związanego z systemem wizyjnym,
- l_X – odległość początku układu współrzędnych związanego z układem optycznym kamery lewej od początku układu współrzędnych $X_G Y_G Z_G$ (lub $X_D Y_D Z_D$) kamer wzdłuż osi X_G (X_D),
- l_Z – odległość początku układu współrzędnych $X_G Y_G Z_G$ (lub $X_D Y_D Z_D$) od początku układu współrzędnych kamery lewej mierzona wzdłuż osi Z_G (Z_D).



Rys. 5. Relacje pomiędzy układami współrzędnych związanymi z kamerami ($X_L Y_L Z_L$ i $X_R Y_R Z_R$) i układem współrzędnych systemu wizyjnego w położeniu górnym ($X_G Y_G Z_G$)

W drugim etapie dokonuje się przekształcenia układu współrzędnych systemu wizyjnego ($X_G Y_G Z_G$ lub $X_D Y_D Z_D$) na układ współrzędnych podstawy uchwytu nożowego ($X_P Y_P Z_P$). Opisane jest ono następującymi złożonymi jednorodnymi macierzami transformacji:

– dla ustawienia górnego systemu wizyjnego:

$$\mathbf{D}_G = \mathbf{Trans}_1(\mathbf{0}, \mathbf{0}, l) \cdot \mathbf{Rot}_1(Y, -\beta_{DP}) \cdot \mathbf{Rot}_1\left(X, \frac{\pi}{2}\right) \cdot \mathbf{Rot}_1(Z, -\alpha_{DP}) \quad (4)$$

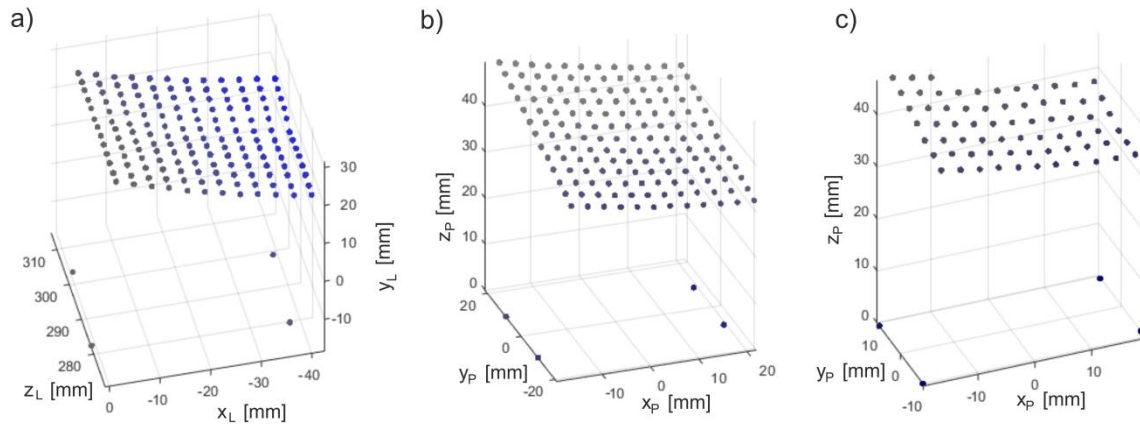
– dla ustawienia dolnego systemu wizyjnego:

$$\mathbf{D}_D = \mathbf{Trans}_2(\mathbf{0}, \mathbf{0}, l) \cdot \mathbf{Rot}_2(Y, -\beta_{DP}) \cdot \mathbf{Rot}_2\left(X, -\frac{\pi}{2}\right) \cdot \mathbf{Rot}_2(Z, -\alpha_{DP}) \quad (5)$$

W rezultacie wyznacza się składowe wektorów wodzących każdego punktu pomiarowego w układzie współrzędnych związanym z podstawą uchwytu nożowego ($X_P Y_P Z_P$):

$$[x_{Pi}, y_{Pi}, z_{Pi}, 1]^T = \begin{cases} \mathbf{C} \cdot \mathbf{D}_G \cdot [x_{Li}, y_{Li}, z_{Li}, 1]^T \\ \mathbf{C} \cdot \mathbf{D}_D \cdot [x_{Li}, y_{Li}, z_{Li}, 1]^T \end{cases} \quad \text{dla } i = 1, \dots, N, \quad (6)$$

gdzie współrzędna z_P jest odległością mierzoną w kierunku natarcia chwytaka w trakcie pozycjonowania uchwytu nożowego (rys. 6). Rozpatruje się wszystkie punkty, które znajdują w obrębie podstawy uchwytu nożowego, to jest te których wartości współrzędnych x_P i y_P znajdują się w granicach prostokąta reprezentującego podstawę uchwytu nożowego.

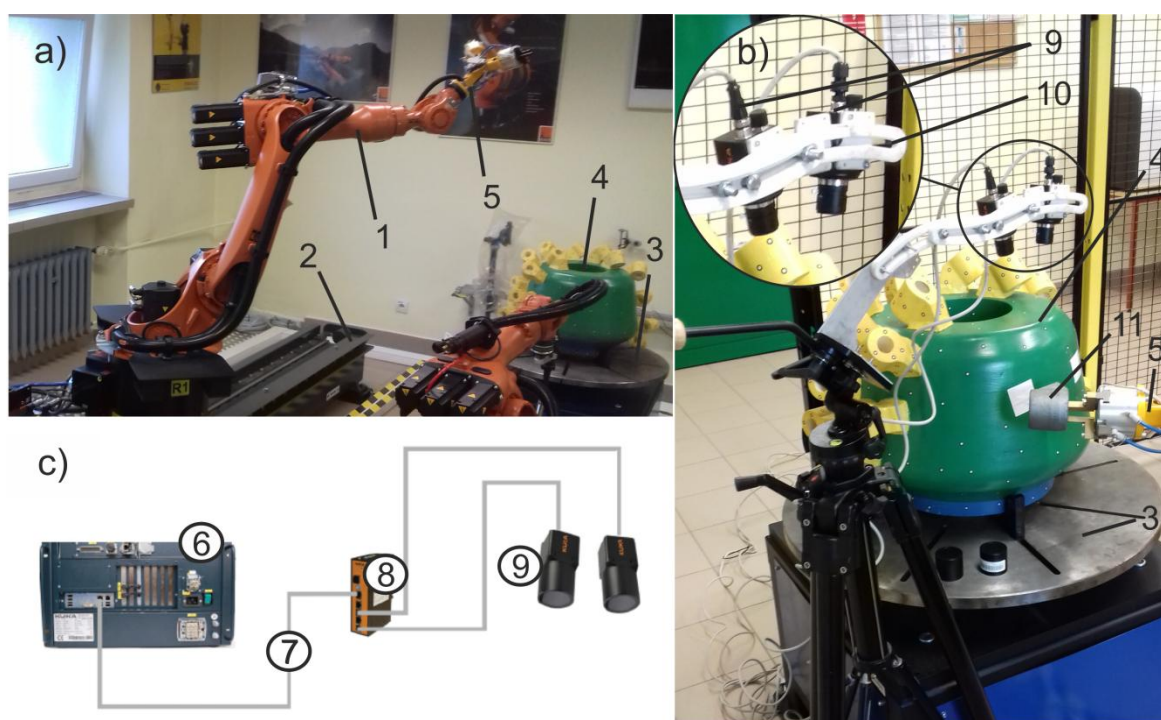


Rys. 6. Położenie markerów: a) w układzie współrzędnych związanym z lewą kamerą $X_L Y_L Z_L$, b) w układzie współrzędnych związanym z podstawą uchwytu nożowego $X_P Y_P Z_P$, c) znajdujących się w obrębie podstawy uchwytu nożowego w układzie współrzędnych związanym z podstawą uchwytu nożowego

W przypadku braku danych o ustawieniu systemu wizyjnego w trakcie akwizycji zdjęć pomiarowych, można określić wartości współrzędnych znaczników w układzie współrzędnych związanym z podstawą uchwytu nożowego na podstawie informacji o położeniu charakterystycznych punktów podstawy. W tym celu należy przekształcić układ współrzędnych związany z lewą kamerą ($X_L Y_L Z_L$), w którym określone są wartości współrzędnych punktów pomiarowych, na układ współrzędnych związanym z podstawą uchwytu nożowego ($X_P Y_P Z_P$). Sprowadza się to translacji układu współrzędnych kamery do punktu podstawy uchwytu nożowego o znanych współrzędnych (np. jednego z narożników). Składowe wektora translacji są przy tym równe wartościom współrzędnych tego punktu. Następnie wykonujemy rotacje tego układu współrzędnych tak, aby osie układu X i Y były równoległe do krawędzi podstawy uchwytu nożowego.

3. Stanowisko pomiarowe

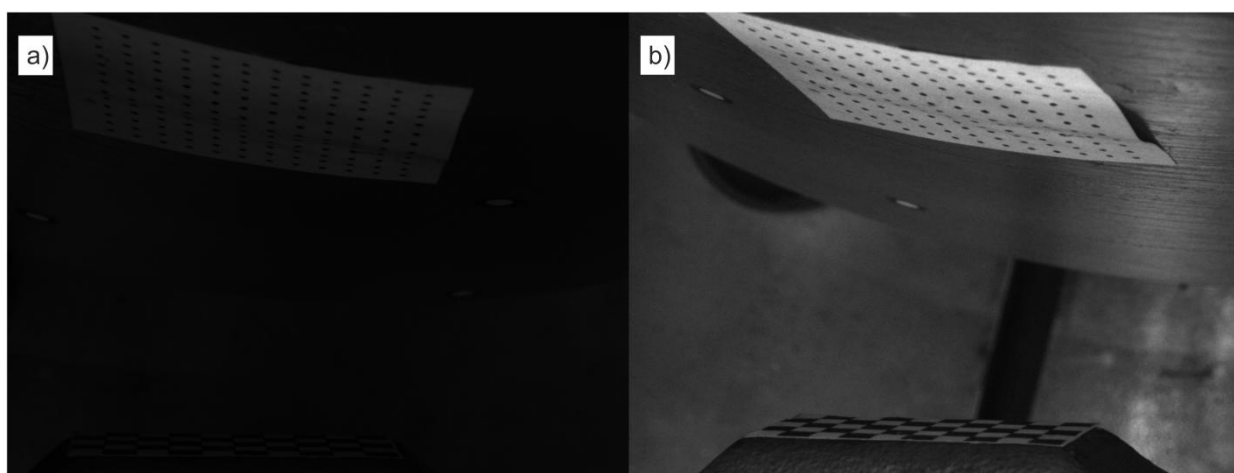
Opracowaną metodę pomiaru testowano w Laboratorium robotyki Katedry Mechanizacji i Robotyzacji Górnictwa Wydziału Górnictwa, Inżynierii Bezpieczeństwa i Automatyki Przemysłowej Politechniki Śląskiej (rys. 7). Uchwyty nożowe pobierane z zasobnika są pozycjonowane za pomocą robota KUKA KR 16–2 (1) umieszczonego na jednostce liniowej KL 250–3 (2), względem pobocznicy głowicy urabiającej (4) posadowionej na stole pozycjonera PEV–1–2500 (3). Na potrzeby badań kamery (9) umieszczone były na statywie z zamocowanym wspornikiem specjalnej konstrukcji (10) – rys. 7b. Kamery KUKA MXG20 (9) za pomocą switcha (8) połączone są z szafą sterowniczą robota (6). Zdjęcia pomiarowe pobierane są z pamięci robota i przetwarzane na komputerze z zainstalowanym oprogramowaniem MatLab wraz z odpowiednimi toolboxami. W opracowanym programie pomiarowym przetwarzane są pary zdjęć w wyniku czego otrzymuje się współrzędne przestrzenne punktów reprezentujących podstawę uchwytu nożowego i pobocznice korpusu głowicy urabiającej w obrębie miejsca jego montażu.



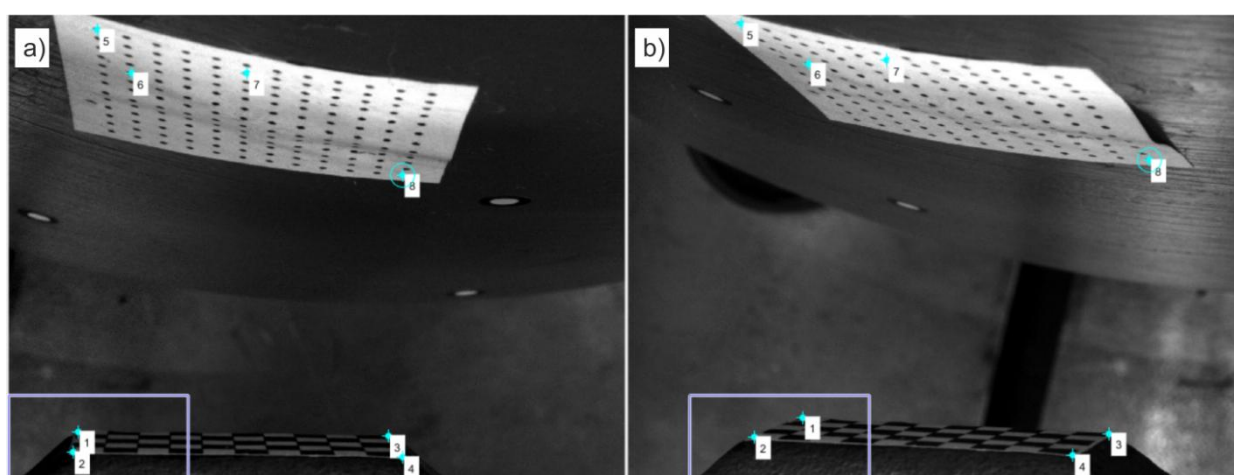
Rys. 7. Stanowisko doświadczalne w Laboratorium robotyki Katedry Mechanizacji i Robotyzacji Górnictwa (a i b) oraz schemat ideowy podłączenia kamery do układu sterowania robota (c):

- 1 – robot KUKA KR 16–2, 2 – jednostka liniowa KL 250–3, 3 – pozycjoner PEV–1–2500,
4 – korpus głowicy urabiającej, 5 – chwytak, 6 – kontroler robota, 7 – kabel, 8 – switch,
9 – dwie kamery, 10 – uchwyt specjalny, 11 – pozycjonowany uchwyt nożowy

Zbiór współrzędnych przestrzennych znaczników rozmieszczonych na poboczniczy korpusu głowicy urabiającej uzyskuje się w wyniku przetwarzania i analizy zdjęć pomiarowych. Wykorzystuje się w tym celu funkcje i procedury zaimplementowane w programie pomiarowym z biblioteki Computer Vision Toolbox. Każda z tych funkcji jest odpowiedzialna za pewien proces. Funkcja *imadjust* dostosowuje intensywność obrazu surowego (rys. 8), co zmienia kontrast tak aby piksele wyraźnie wyróżniały się na obrazie (rys. 9). Na podstawie danych pochodzących z kalibracji kamer, funkcja *undistortimage* usuwa z pobranych zdjęć zniekształcenia wynikające dystorsji układu optycznego. Odpowiadające sobie punkty pomiarowe na zdjęciach dopasowywane są za pomocą funkcji *cpselect*. Na podstawie pozycji punktów pomiarowych na zdjęciach i wartości parametrów zewnętrznych kamer funkcja *triangulate* wyznacza wartości przestrzennych współrzędnych punktów pomiarowych w układzie współrzędnych związanym z kamerą lewą ($X_L Y_L Z_L$). Korzystając ze wzorów (3) – (6) wyznacza się następnie wartości współrzędnych tych punktów w układzie współrzędnych $X_P Y_P Z_P$.



Rys. 8. Zdjęcia surowe zarejestrowane w czasie pomiarów: a) obraz z kamery lewej, b) obraz z kamery prawej



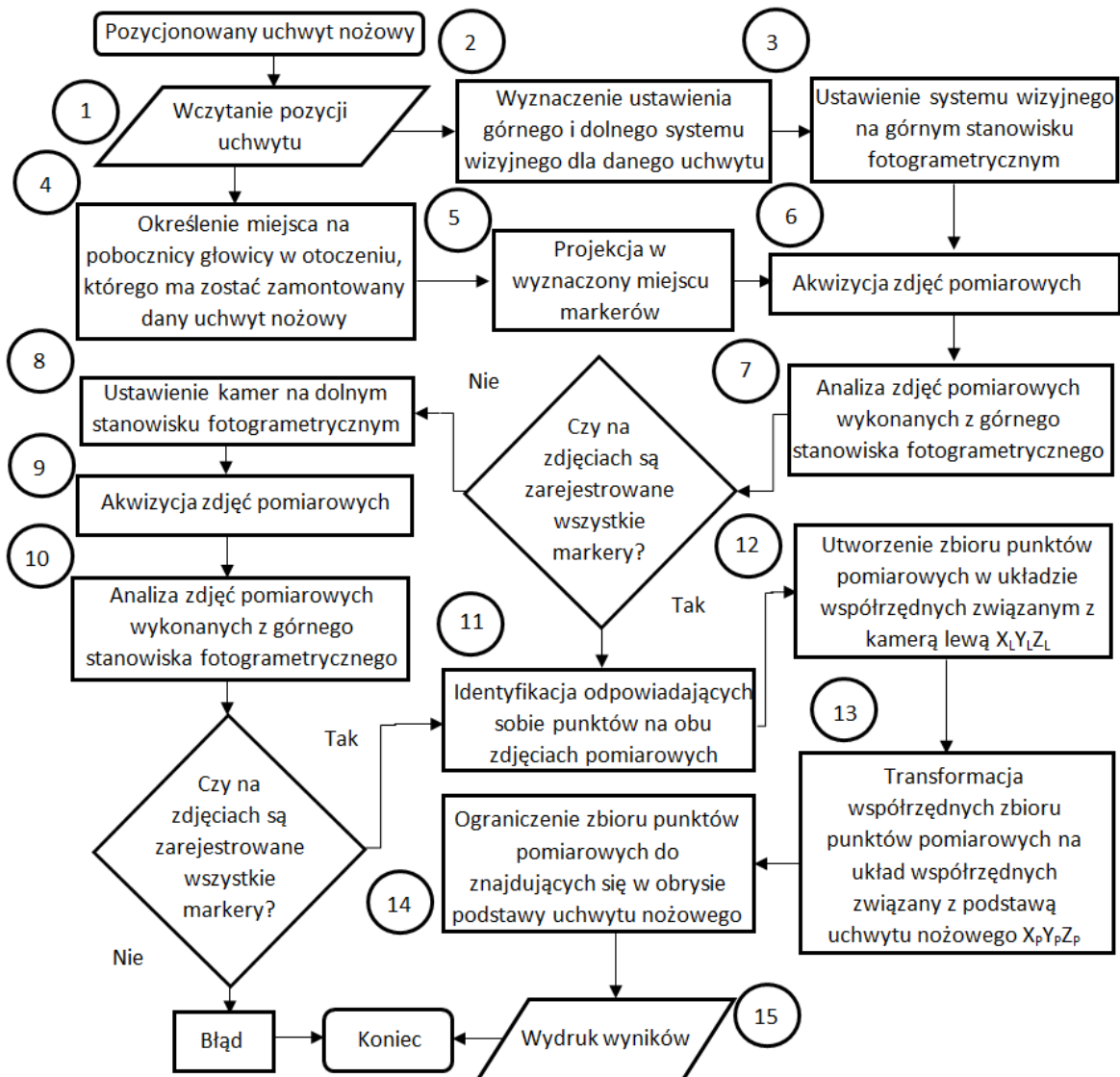
Rys. 9. Zastosowanie funkcji *imadjust* – na zdjęciach widoczne są odpowiadające sobie punkty na zdjęciach: a) z kamery lewej, b) z kamery prawej

Opracowana metoda pomiaru ustawienia uchwytów nożowych na pobocznicy głowicy urabiającej opiera się na identyfikacji punktów pomiarowych (markerów). Im większa będzie gęstość punktów naniesionych na dany obszar pobocznicy korpusu głowicy w trakcie akwizycji zdjęć pomiarowych tym dokładniejszy będzie jego przestrzenny model. Dysponując współrzędnymi punktów pobocznicy w układzie współrzędnych związanym z podstawą uchwytu nożowego, możemy wyznaczyć rozkład odległości pomiędzy tą podstawą i pobocznicą głowicy urabiającej w miejscu, gdzie uchwyt nożowy ma zostać zamocowany. Odległość podstawy uchwytu nożowego od pobocznicy pomiędzy punktami pomiarowymi wyznaczyć można wykorzystując interpolację liniową. Algorytm procedury pomiarowej przedstawiono na rysunku 10.

4. Wyniki testów stanowiskowych

Wykorzystując zaproponowaną metodę dokonano pomiaru odległości podstawy uchwytów nożowych od pobocznicy korpusu głowicy urabiającej. Na rysunku 11 pokazano przykładowe wyniki pomiaru. Pozycję i orientację układu współrzędnego związanego z narzędziem robota pozycjonującego rozpatrywany uchwyt nożowy w trakcie pomiaru, opisują wartości punktu

TCP chwytaka: $x_T = 1088$ mm, $y_T = 1437$ mm, $z_T = 951$ mm oraz kątów definiujących orientację układu współrzędnych narzędzia robota w układzie podstawowym: $A = 47^\circ$, $B = 10^\circ$, $C = 159^\circ$. Postępując zgodnie z algorytmem procedury pomiarowej (rys. 10) wyznaczono rozkład odległości powierzchni podstawy uchwytu nożowego od pobocznicy korpusu głowicy urabiającej (rys. 11). Odległości te odpowiadają wartościom współrzędnej z_p .

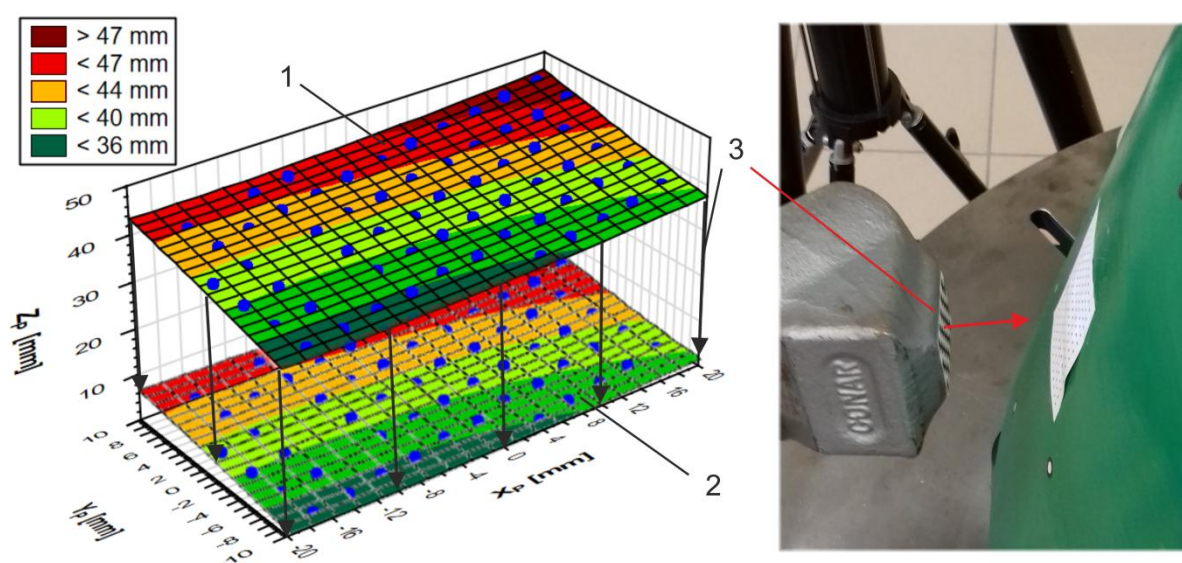


Rys. 10. Algorytm procedury pomiarowej

Poszukiwana jest najmniejsza odległość pomiędzy rozpatrywanymi powierzchniami. Determinuje ona maksymalne dosunięcie uchwytu nożowego do pobocznicy korpusu głowicy. Odległość ta powinna odpowiadać dystansowi, jaki pozostał do pokonania przez narzędzie robota, aby ustawić uchwyt nożowy zgodnie z projektem. W rozpatrywanym przypadku najmniejsza odległość wynosi 35.1 mm. Ze względu na kształt pobocznicy korpusu głowicy urabiającej oraz sposób ustawienia uchwytu nożowego najbliżej położone są tu punkty zlokalizowane w obrębie jednego z narożników.

5. Podsumowanie

Opracowana metoda pomiarowa umożliwia określenie w czasie rzeczywistym rozkładu odległości pomiędzy podstawą uchwytów nożowych i pobocznica kadłuba głowicy/organu urabiającego. Ma to szczególnie istotne znaczenie w przypadku ponownego wykorzystania w procesie produkcji korpusów głowic/organów urabiających, z których usunięto stare uchwyty nożowe. W takim przypadku bowiem powierzchnia pobocznic tego korpusu, jeżeli nie będzie poddawana regeneracji mającej na celu przywrócenie jej kształtu nominalnego, jest nierówna. Wynika to z pozostałości resztek spoin łączących usunięte uchwyty nożowe oraz ubytków powstałych podczas ich usuwania. W zrobotyzowanej technologii wytwarzania głowic/organów urabiających kombajnów górniczych taka sytuacja prowadzić może do kolizji uchwytów nożowych z pobocznica ich kadłuba lub uniemożliwić proces ich montażu (spawania).



Rys. 11. Rozkład odległości podstawy uchwytu nożowego od pobocznic korpusu głowicy urabiającej:
1 – wartości zmierzone, 2 – wartości po dosunięciu uchwytu nożowego do pobocznic głowicy urabiającej,
3 – kierunek, w którym dosuwany jest uchwyt nożowy do pobocznic głowicy urabiającej (kierunek natarcia narzędzia robota)

Pomiar on-line odległości podstawy poszczególnych uchwytów nożowych od pobocznic korpusu głowicy/organu urabiającego w trakcie zrobotyzowanego ich ustawiania leży u podstaw sterowania adaptacyjnego robotem pozycjonującym uchwyty nożowe. Możliwa jest bowiem na tej podstawie korekta ustawienia uchwytu nożowego, tak aby nie dopuścić do wyżej wymienionych sytuacji w trakcie wytwarzania tych ważnych, z punktu widzenia efektywności procesu urabiania skał, elementów kombajnów górniczych.

Literatura

- [1] Cheluszka P. 2010 Zrobotyzowana technologia montażu uchwytów nożowych na organach roboczych górniczych maszyn urabiających Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa 11(477) strony 11–17.
- [2] Dolipski M., Cheluszka P., Sobota P. 2008 Zrobotyzowane stanowisko do ustawiania uchwytów nożowych na pobocznicach zwłaszcza głowic i organów urabiających

- kombajnów górniczych oraz sposób ustawiania uchwytów nożowych opis patentowy 216341 [2010, 07, 386580].
- [3] Omosekiei G. 2018 Industrial vision robot with Raspberry Pi using PIXY camera Information Technology Embedded System Engineering.
 - [4] Schreer O., Brandenburg N., Kauff P. 2000 A Comparative Study on Disparity Analysis Based on Convergent and Rectified Views BMVC2000.
 - [5] Graefe V., Wershofen K. P., Huber J, 1993 Dynamic Vision for Precise Depth Measurement and Robot Control Computer Vision for Industry München.
 - [6] Peyman A. 2015 Object Distance Measurement Using a Single Camera for Robotic Applications.
 - [7] Nedevschi S., Marita T., Vaida M., Danescu R., Frentiu D., Oniga F., Pocol C., Moga D. Camera calibration method for stereo measurement.
 - [8] Szeliski R. 2010 Computer Vision: Algorithms and Applications Springer.
 - [9] Wubbena H., Nieves E., Nawab A., Garmann G. 2011 Welcome to Accurate Robotic 3D Vision An educational webinar sponsored by Universal Robotics and Yaskawa Motoman Robotics.
 - [10] Fusiello A., Irsara L. 2011 Quasi-Euclidean Epipolar Rectification of Uncalibrated Images Machine Vision and Applications 22 Issue 4 pp 663–670.
 - [11] Kyto M., Nuutinen M., Oittinen P. 2011 Method for measuring stereo camera depth accuracy based on stereoscopic vision The International Society for Optical Engineering.
 - [12] Takahachi G., Matsuoka R. 2010 Accuracy of measurement using a pair of stereo images acquired by finepix real 3D w1 without controls, International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences (Newcastle upon Tyne UK) Vol XXXVIII Part 5.
 - [13] Hartley R., Zissermann A. 2003 Multiple View Geometry in Computer Vision Cambridge University Press.
 - [14] Ersu E., Wienand S. 1995 Verfahren zum Bestimmen der Lage eines Körpers im Raum, patent europejski EP 0 763 406 A1 [C.A., 1997, 19, 95114588.7].
 - [15] Rzeszotarski D., Strumiło P., Pełczynski P., Wiecek B., Lorenc A. 2005 System obrazowania stereoskopowego sekwencji scen trójwymiarowych Elektronika: prace naukowe 10 strony 165–184.
 - [16] Cutolo P., Ferrari V. 2018 The Role of Camera Convergence in Stereoscopic Video See-through Augmented Reality Displays International Journal of Advanced Computer Science and Applications 9 No 8.
 - [17] Wright S. 2011 Parallel vs Converged the dabate over stereo camera.
 - [18] Fusiello A, Trucco E and Verri A 2000 A compact algorithm for rectification of stereo pairs Machine Vision and Applications 12 Issue 1 pp 16–22.
 - [19] Jeżewski S., Jaros M. 2008 Skanowanie trójwymiarowej przestrzeni pomieszczeń Automatyka 12 Zeszyt 3 strony 669–673.
 - [20] Makoto Iwamoto 2018 Active pattern projection improves AOI 3D measurement accuracy Vision Systems Design, vision and automation solution for engineers and

integrators worldwide 23 no 2 pp 7–10.

- [21] Keselman Y., Dickinson S. 2001 Bridging the Representation Gap Between Models and Exemplars In IEEE Conf. on Comp. Soc. Work. on Models versus Exemplars in Comp. Vis.
- [22] Bernasik J., Mikrut S. 2007 Fotogrametria inżynierska (Kraków).
- [23] Gallup M., Frahm J. M., Mordohai P., Pollefeys M. 2008 Variable Baseline/Resolution Stereo CVPR08.
- [24] Cheluszka P., Jagieła-Zajac A. 2019 Determining the position of pick holders on the side surface of the working unit of the cutting machine in the robotic technology of their assembly IOP Conference Series: Earth and Environmental Science Volume 261 Number 1.

Podziękowania

Publikacja wspierana w ramach własnego funduszu stypendialnego Politechniki Śląskiej, w roku 2018 – 2019.

*Niniejsza praca jest przedrukiem artykułu, który ukaże się w języku angielskim, w **Materialach konferencyjnych IMTech – Innovative Mining Technologies.***

mgr inż. Amadeus Jagieła-Zajac
Amadeus.Jagiela-Zajac@polsl.pl,

dr hab. inż. Piotr Cheluszka prof. PŚ
Piotr.Cheluszka@polsl.pl

Politechnika Śląska,
Wydział Górnictwa, Inżynierii Bezpieczeństwa
i Automatyki Przemysłowej,
Katedra Mechanizacji i Robotyzacji Górnictwa
ul. Akademicka 2, 44–100 Gliwice

Wygarniacz portalowy

Zbigniew Szkudlarek
Sebastian Janas

Portal stacker-reclaimer

Streszczenie:

W artykule przedstawiono koncepcję wygarniacza portalowego, przewidzianego do zastosowania w branży energetycznej, głównie w magazynach gipsu instalacji odsiarczania spalin lub magazynach żużla piecowego. Oprócz wykorzystywania wygarniacza do dostarczania materiału sypkiego na linię produkcyjną może on pełnić rolę wstępnego mieszania materiałów sypkich. Składowany materiał może bowiem stanowić mieszaninę dużej ilości warstw o zróżnicowanym składzie chemicznym. W artykule przedstawiono budowę oraz opisano proces rozładunku materiału niehomogenizującego przez wygarniacz portalowy dwuramieniowy. Składowany materiał do dalszego wykorzystania jest pobierany z obu boków pryzmy.

Słowa kluczowe: inżynieria mechaniczna, budowa i eksploatacja maszyn, wygarniacz portalowy, proces rozładunku

Keywords: mechanical engineering, construction and operation of machines, portal reclaimer, unloading process

Abstract:

The concept of portal stacker-reclaimer to be used in the power industry, mainly in the gypsum storehouses for exhaust gases desulphurisation or in the furnace slag storehouses is presented. Apart using the portal stacker for delivery of loose materials to the production line, it can play a role of the initial mixer of loose materials. The stored material can be a mixture of many layers of different chemical composition. Design of the portal stacker is presented and the process of using two-arm portal stacker for unloading the material, which do not require homogenization, is described. The stored materials are taken from both sides of the prism.

1. Wstęp

Wygarniacz portalowy jest maszyną stosowaną zwykle na linii produkcyjnej w magazynie buforowym materiałów sypkich. Jest on najbardziej ekonomicznym rozwiązaniem rozładowywania materiału gromadzonego w magazynie w postaci stosu o kształcie odwróconej litery V.

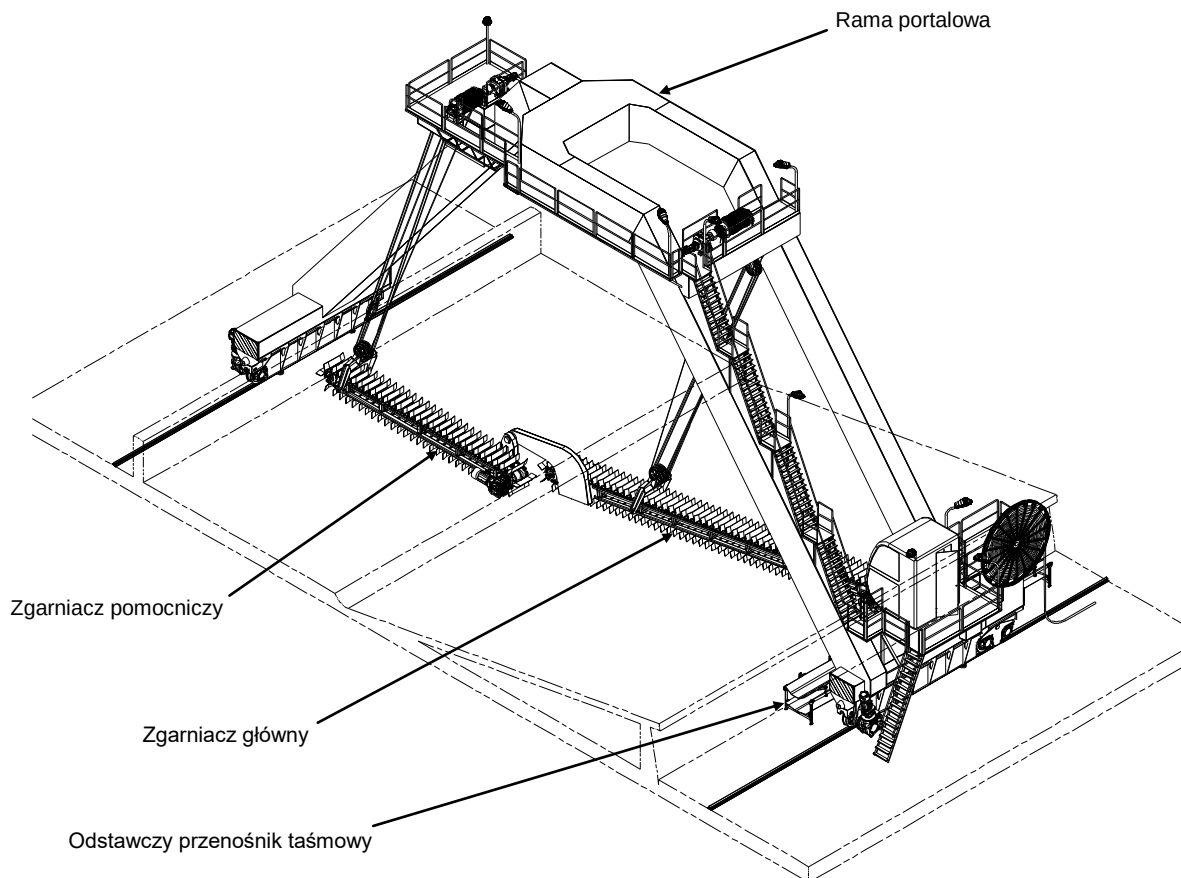
Należy go stosować, gdy głównym wymaganiem jest jedynie rozładunek materiału bez konieczności dokładnego mieszania, w celu homogenizacji, przed wydawaniem go do dalszego procesu produkcyjnego. W tej technologii rozładunku możliwe jest wydawanie składowanego materiału z dowolnego miejsca stosu.

Działanie wygarniacza portalowego jest wysoce zależne od zdolności operatora, ponieważ opiera się na obsłudze ręcznej funkcji, które decydują o niezawodności dostawy materiału sypkiego do dalszego procesu produkcyjnego. Jedynie część funkcjonalności sterujących związanych z bezpieczeństwem pracy wygarniacza jest zautomatyzowana. Pełna automatyzacja faz pracy wygarniacza portalowego powinna obejmować kształtowanie stosu do pożądanego kształtu regularnej pryzmy i pracę normalną, czyli rozładunek stosu [1]. Automatyzacja procesu rozładunku stosu pozwala na skrócenie czasu operacji mało produktywnych z punktu widzenia efektywności wykorzystania wygarniacza np.

przemieszczanie wygarniacza bez rozładunku, oraz wyeliminuje nieregularność odstawy powodowaną zmienną wydajnością w czasie rozładunku stosu.

Opracowana w Instytucie Techniki Górniczej KOMAG koncepcja budowy wygarniacza portalowego pozwala na pełną automatyzację procesu wybierania materiału sypkiego ze stosu.

Wygarniacz (rys. 1) jest konstrukcją stalową z ramą portalową (portal) oraz głównym i pomocniczym zgarniaczem łańcuchowo-zgrzeblowym połączonych układem przegubowym. Zgarniacze współpracują ze sobą pracując po obu stronach stosu materiału transportowanego.



Rys. 1. Koncepcja wygarniacza portalowego [2]

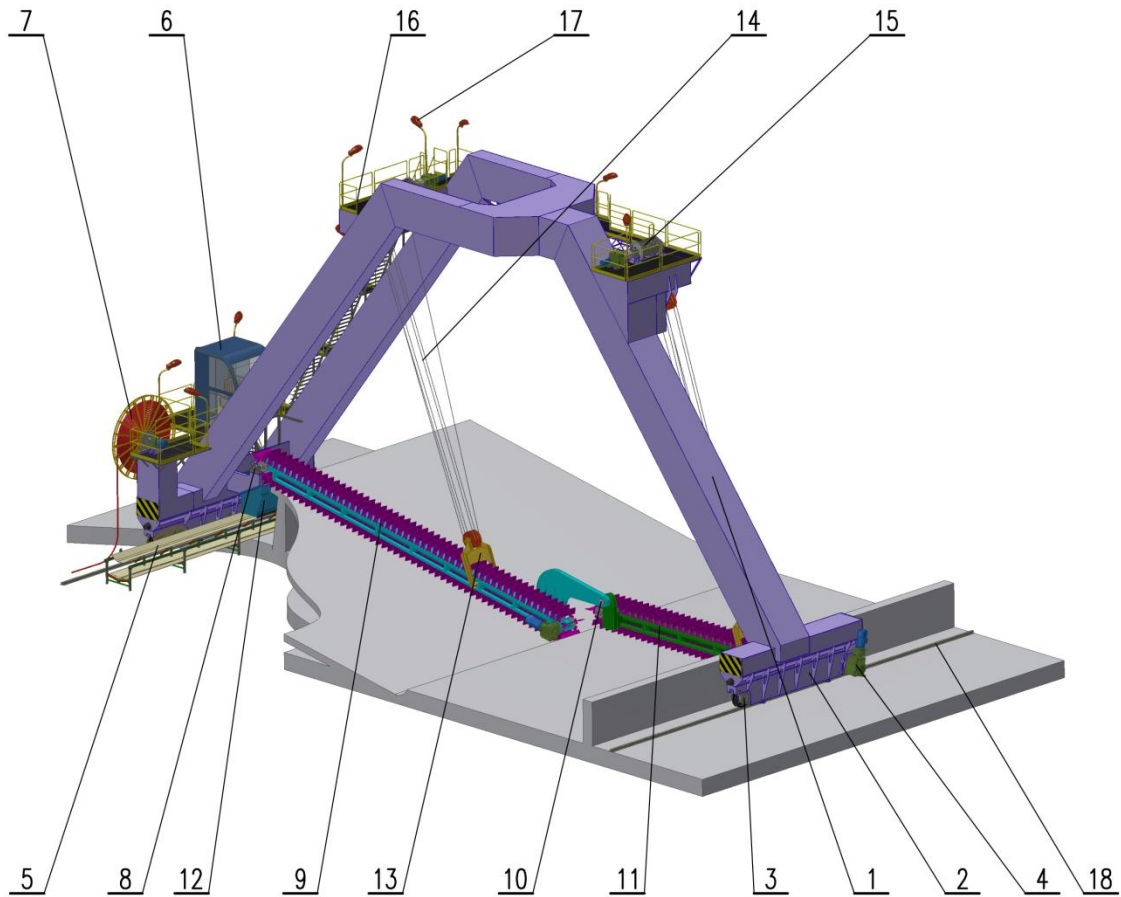
Zgarniacz pomocniczy podaje materiał w górę, na wierzchołek stosu, podczas gdy zgarniacz główny przesuwają materiał w dół, na przenośnik odbierający. Całe urządzenie porusza się wzdłuż stosu po szynach rozstawionych po obu jej stronach.

2. Budowa wygarniacza portalowego

Koncepcja wygarniacza portalowego (rys. 2) zaprojektowana została dla odpowiednio ukształtowanego dna w magazynie, którego kształt ma ułatwić zasypywanie przenośnika taśmowego (5).

Podstawowym modulem nośnym jest rama portalowa (1) połączona złączami śrubowymi z podstawami jezdny (2). Do podstaw jezdnych przykręcone są zestawy kołowe

nienapędzane (3) oraz zestawy kołowe napędzane. Do podstaw jezdnych przymocowane zostały zespoły napędowe (4) (po jednym na podstawę), których zadaniem jest przemieszczać cały wygarniacz wzdłuż magazynu.



Rys. 2. Wizualizacja 3D wygarniacza portalowego [2]

(1 – rama portalowa, 2 – podstawa jezdna, 3 – zestaw kołowy, 4 – zespół napędowy, 5 – odstawczy przenośnik taśmowy, 6 – kabina operatora, 7 – bęben kabla zasilającego, 8 – zespoły łożyskowe, 9 – zgarniacz główny, 10 – sworzeń łączący, 11 – zgarniacz pomocniczy, 12 – kosz zasypowy, 13 – zawiesie linowe, 14 – układ linowy, 15 – wyciągarka linowa, 16 – ciągi komunikacyjne, 17 – oświetlenie, 18 – szyny suwnicowe)

Po stronie odstawczego przenośnika taśmowego (5) zamocowana została kabina operatora (6) oraz bęben kabla zasilającego (7). Do modułu nośnego, poprzez zespoły łożyskowe (8) przymocowany został zgarniacz główny (9). Ze zgarniaczem głównym połączony został, za pomocą połączenia sworzniowego (10), zgarniacz pomocniczy (11). W części wysypowej zgarniacza głównego, do ramy nośnej (1), zabudowany jest kosz zasypowy (12) umiejscowiony nad przenośnikiem taśmowym (5). Do zgarniaczy: głównego i pomocniczego zamocowane zostały zawiesia linowe (13) umożliwiające zmianę wysokości położenia obu zgarniaczy niezależnie, poprzez układ linowy (14). W górnej części ramy nośnej, na specjalnie przygotowanych podstawach, zabudowane zostały wyciągarki (15), umożliwiające podnoszenie i opuszczanie zgarniaczy. Wygarniacz portalowy ze względu na swoje gabaryty i wiążące się z tym miejsca zabudowy niektórych podzespołów, został wyposażony w ciągi komunikacyjne w postaci schodów drabinowych i podestów (16), zaprojektowane wg zaleceń norm europejskich. Ciągi komunikacyjne wyposażone zostały w oświetlenie (17), które zamocowane zostało do ramy ciągów komunikacyjnych. Cała maszyna przemieszcza się po

torowisku wykonanym z szyn suwnicowych (18) typu SD100 ułożonych równolegle do ścian magazynu.

3. Proces rozładunku materiału

W układach magazynowania materiałów sypkich z wykorzystaniem wygarniaczy portalowych przewiduje się niezależne formowanie (usypywanie) jednego stosu podczas wybierania drugiego stosu znajdującego się w tej samej linii oddziaływania wygarniacza portalowego. Stos ma kształt klina o długości i wysokości określonej przez zdolność magazynową obiektu budowlanego.

Systemy formowania stosu są układami urządzeń działającymi niezależnie od wygarniacza portalowego. Ogólnie istnieją dwie konstrukcje, które są szeroko stosowane do tego celu. Pierwsza konstrukcja to przenośnik taśmowy umieszczony wzdłuż jednej strony magazynu połączony z wysięgnikiem układowej, który ma możliwość podnoszenia i opuszczania w celu zmniejszenia zapylenia. Druga konstrukcja to przenośnik taśmowy wzdłuż magazynu, znajdujący się nad stosem, posiadający przejezdny wózek zrzutowy zaopatrzonego w regulowany rękaw zasypowy ograniczający zapylenie.

Układarka i zgarniacz portalowy przemieszczają się po torach wzdłuż magazynu. Stos, który został usypany wcześniej, może być w każdej chwili rozładowany przez wygarniacz portalowy.

Pierwszą fazą pracy wygarniacza portalowego jest kształtowanie stosu po jego usypaniu przez układarkę. W zależności od sposobu i dokładności formowania stosu przez układarkę powierzchnie boczne stosu mają kształt nieregularny, a wysokość może być zróżnicowana na jego długości (rys. 3).



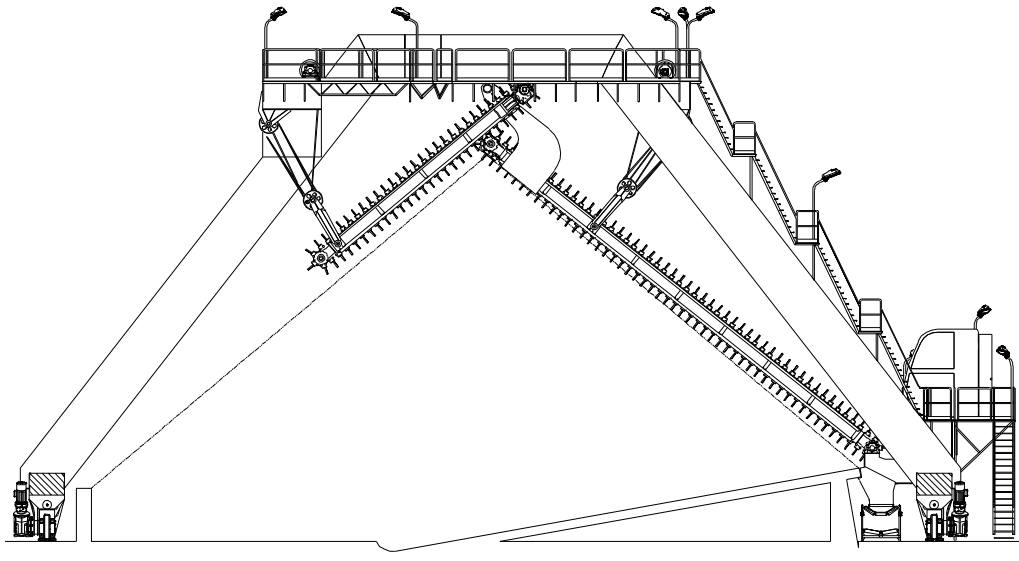
Rys. 3. Budowanie stosu przez układarkę [3]

Podczas wybierania materiału ze świeżo uformowanego stosu potrzebny jest czas aby ustalić przepływ materiału do odstawczego przenośnika taśmowego. Powodem jest konieczność zachowania pustej przestrzeni między stosem z materiałem a taśmą przenośnika tak, aby materiał nie zaczął się przesypywać i nie zablokował taśmy przenośnika.

Aby nastąpił przepływ materiału do odstawczego przenośnika taśmowego, wygarniacz portalowy najpierw rozprowadza materiał w stosie w celu wypełnienia tej pustej przestrzeni.

Gdy to nastąpi, cały zgarniany materiał ze stosu przepływa bezpośrednio na taśmę przenośnika.

Wstępnie usypany stos, przeważnie ma kształt, odbiegający od docelowego, zgodnego z wyjściowym ustawieniem zgarniaczy, co powoduje, że zgarniany materiał z takiego stosu odbywa się tylko za pomocą małej części łańcucha zgarniacza u góry stosu. Wydłuża się zatem czas potrzebny do ustalenia przepływu materiału do przenośnika taśmowego. W momencie, gdy materiał zostanie uformowany zgodnie z wyjściowym ustawieniem zgarniaczy stos jest w pełni ukształtowany i wygarniacz portalowy może przejść w normalny tryb pracy, w którym może stale dostarczać materiał na odstawczy przenośnik taśmowy.



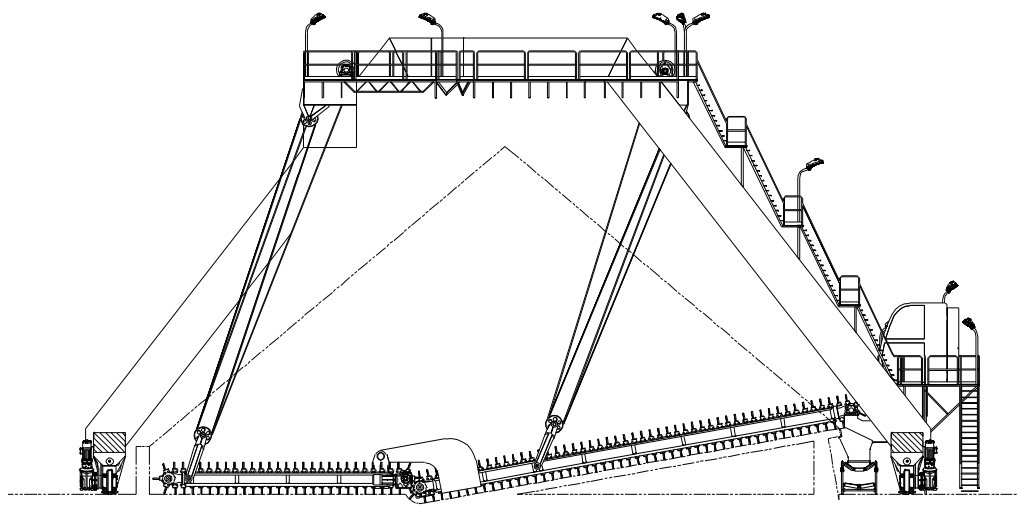
Rys. 4. Stos przygotowany do pracy normalnej wygarniacza portalowego [2]

Normalny tryb pracy wygarniacza portalowego rozpoczyna się, gdy oba ramiona zgarniaczy są w swoim maksymalnym górnym położeniu (rys. 4).

Po uruchomieniu, lemieszce zgarniacza głównego (na rysunku po prawej) wykonują ruch podsiębierny, zgodny z ruchem wskazówek zegara, dzięki któremu materiał z przyzmy jest przemieszczany od wierzchołka przyzmy w kierunku jego podstawy – do miejsca zasypywania odstawczego przenośnika taśmowego. W tym samym czasie lemieszce zgarniacza pomocniczego (na rysunku po lewej) wykonują ruch nadsiębierny, przeciwny do ruchu wskazówek zegara, który pozwala na przemieszczanie materiału w kierunku wierzchołka przyzmy – do miejsca rozładowywania przez zgarniacz główny. Głębokość zabioru zgarniaczy jest regulowana za pomocą wciągarek i nie może przekraczać wysokości lemieszca. Po opuszczeniu uruchomionych ramion zgarniaczy na określony zabiór, wygarniacz przemieszcza się z regulowaną prędkością wzdłuż przyzmy, powodując jej rozładunek z wymaganą wydajnością.

Rozładunek przyzmy następuje przy dwukierunkowej jeździe wygarniacza. Po każdej zmianie kierunku następuje obniżanie ramion o określony zabiór powodując tym samym zmianę zarysu zewnętrznego przyzmy.

Faza końcowa rozładunku następuje w momencie, gdy oba ramiona zgarniaczy zajmują swoje maksymalne dolne położenie (rys. 5).



Rys. 5. Faza końcowa rozładunku stosu [2]

4. Podsumowanie

Zastosowany w linii produkcyjnej wygarniacz portalowy z rozładunkiem bocznym może pełnić rolę magazynu buforowego materiałów sypkich.

Zaproponowana koncepcja budowy wygarniacza i opisany proces rozładunku pozwalają na zastosowanie tego urządzenia do wszystkich rodzajów materiałów, w tym materiałów lepkich (np. margle, gips, cement). Rozładowywany stos ma kształt pryzmy dzięki czemu możliwe jest pobieranie materiału z dowolnego jej miejsca, a pojemność takiego stosu może być łatwo zwiększona przez regulację wyjściowego ustawienia zgarniaczy.

Poszczególne fazy procesu wstępnego przygotowania stosu do normalnej pracy prezentowanego wygarniacza portalowego – z zakładaną wydajnością – można łatwo zautomatyzować, jednak każdorazowo należy uwzględnić szereg uwarunkowań, w tym rodzaj materiału, kąt naturalnego usypu, wydajność podawania, wyjściowy kształt pryzmy. Szczególnie ma to znaczenie podczas formowania nowo tworzonego stosu.

Literatura

- [1] Stanisic D, Jorgovanovic N., IlJc V., Koricic D.: Fully automated portal scraper. Journal on Processing and Energy in Agriculture 15 (2011).
- [2] Szkudlarek Z. i inni: Opracowanie koncepcji mechanicznej wygarniacza portalowego dla przemysłu energetycznego wraz z ofertą techniczną. ITG KOMAG, Gliwice 2019 (praca niepublikowana).
- [3] en.wikipedia.org/wiki/Kestrel_coal_mine (20.08.2019)

dr inż. Zbigniew Szkudlarek
zskudlarek@komag.eu

mgr inż. Sebastian Janas
sjanas@komag.eu

Instytut Techniki Górniczej KOMAG
ul. Pszczyńska 37, 44-101 Gliwice

Elektropneumatyczne sterowanie filtra samoczyszczącego

Krzysztof Nieśpiałowski

Electropneumatic control system for self-cleaning filter

Streszczenie:

W artykule przedstawiono elektropneumatyczny układ sterowania dedykowany do filtra samoczyszczącego FS-60 konstrukcji ITG KOMAG. Omówiono budowę i zasadę działania układu elektropneumatycznego. Rozwiązanie stanowi alternatywę dla istniejącego układu sterowania pneumatycznego. W artykule przedstawiono zalety i wady tego rozwiązania.

Abstract:

The electropneumatic control system dedicated to FS-60 self-cleaning filter designed by KOMAG is presented. Design and principles of operation of the electropneumatic system is discussed. This solution is an alternative to the present pneumatic control system. Advantages and disadvantages of such a solution are given.

Słowa kluczowe: filtracja, filtr, filtr samoczyszczący, sterowanie, sterowanie elektropneumatyczne

Keywords: filtration, filter, self-cleaning filter, control system, electropneumatic control

1. Wprowadzenie

Napęd i sterowanie pneumatyczne od dekad odgrywają znaczącą rolę w różnych gałęziach przemysłu, między innymi w górnictwie, budownictwie, kolejnictwie, motoryzacji, farmacji i innych. Obecnie, dzięki powszechności i dostępności urządzeń stanowiących źródła energii pneumatycznej, rozwojowi wiedzy w zakresie sterowania tą energią, pneumatyka stosowana jest chętnie i praktycznie w każdej gałęzi przemysłu. Istnieje wielu producentów pneumatyki, zarówno tej prostej jak i bardzo zaawansowanej. W ofertach handlowych można spotkać nie tylko składowe elementy pneumatyki ale także gotowe rozwiązania całych podsystemów [9, 10, 13, 14].

Połączenie sterowania elektrycznego i pneumatycznego stwarza możliwości wykorzystania zalet obu systemów. W sterowaniu elektropneumatycznym po stronie elektrycznej, stanowiącej część informacyjną, realizowane jest przetwarzanie i przenoszenie sygnałów sterujących, zaś po stronie pneumatycznej, stanowiącej część energetyczną, przenoszenie strumienia mocy i sterowanie odbiornikiem.

Zasadniczą zaletą sterowania elektropneumatycznego jest szybkość przenoszenia sygnałów na znaczne odległości. Szybkość przesyłu informacji po stronie elektrycznej, w połączeniu z szybkością działania napędu pneumatycznego, umożliwia w praktyce sterowanie przebiegiem szybkich procesów produkcyjnych [1, 11, 15].

Elektropneumatyczny układ sterowania filtra samoczyszczącego typu FS-60 jest rozwiązaniem alternatywnym istniejącego, pneumatycznego układu sterowania. Głównym założeniem wprowadzenia zmian w układzie sterowania była jego optymalizacja w zakresie zmniejszenia liczby elementów złącznych. Dotychczasowy układ wymaga zastosowania szeregu złączy i przewodów sprężonego powietrza, co niestety zwiększa ryzyko wystąpienia nieszczelności w układzie sterowania. Zaletą układu elektropneumatycznego jest realizacja

głównych funkcji logicznych sterowania na drodze elektrycznej. Pozwala to ograniczyć możliwe źródła wycieku sprężonego powietrza. Wadą zaś jest konieczność zastosowania dodatkowego źródła zasilania elektrycznego.

Dzięki swej konstrukcji, filtr FS-60, niezależnie od rodzaju sterowania, nie dopuszcza do wytrącania się węglanu wapnia na ściankach instalacji oraz zapobiega przedostawaniu się zanieczyszczeń zgrubnych bezpośrednio na powierzchnie filtracyjne wkładów. Rozwiązanie zapewnia wydłużony okres bezawaryjnej pracy filtra oraz urządzeń zasilanych wodą [6, 7, 12]. Filtr FS-60 przeznaczony jest do ciągłej i bezobsługowej pracy, wszędzie tam, gdzie wymagany jest odpowiedni stopień czystości medium hydraulicznego (wody), np.:

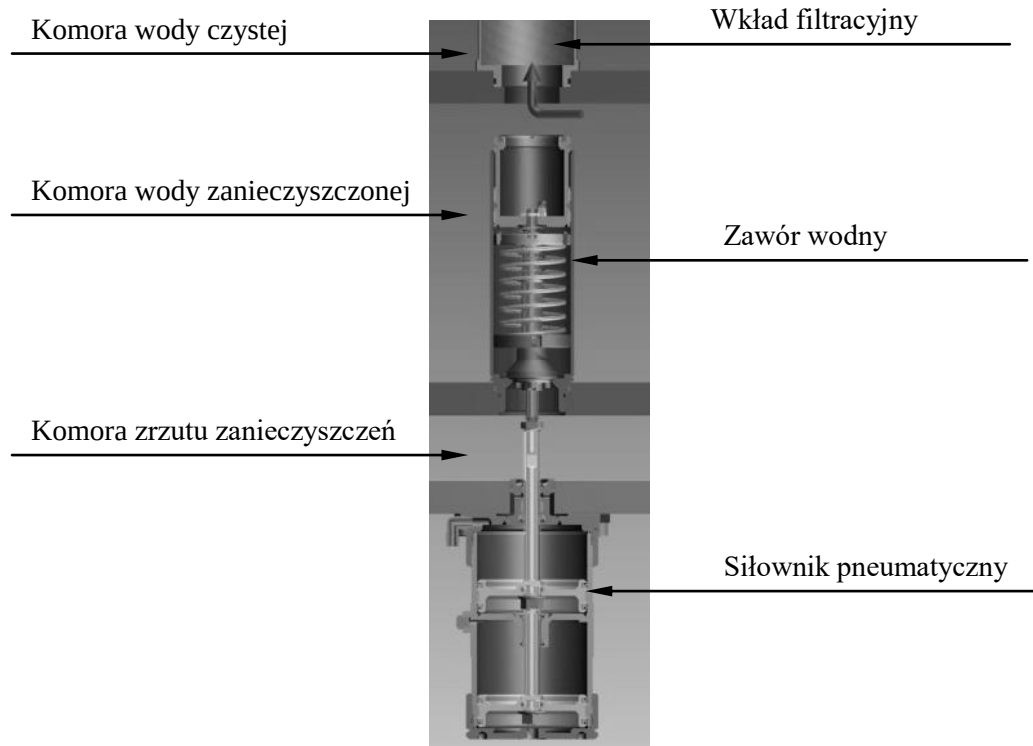
- w górnictwie odkrywkowym i głębinowym oraz wiertnictwie, gdzie należy zapewnić wysoką jakość wody zastosowanej do zraszania i płuczki,
- w elektrowniach, przy układach chłodzenia generatorów,
- w ciepłowniach, dla ochrony wymienników ciepła,
- w przemyśle stalowym, w systemach wody chłodzącej
- w oczyszczalniach ścieków przy procesie filtracji mechanicznej [5].

2. Budowa filtra

Filtr samoczyszczący FS-60 (rys. 1) wyposażony jest w układ czyszczenia składający się z sześciu zespołów filtracyjnych (rys. 2). Pojedynczy zespół składa się z wkładu filtracyjnego sterowanego niezależnym zaworem wodnym, w którym elementem wykonawczym jest dwutłokowy siłownik pneumatyczny. Układ sterowania umożliwia równoczesne wykorzystania wszystkich wkładów filtrujących w procesie filtracji wody, z krótkim wyłączeniem kolejnych wkładów na czas przepłukiwania.

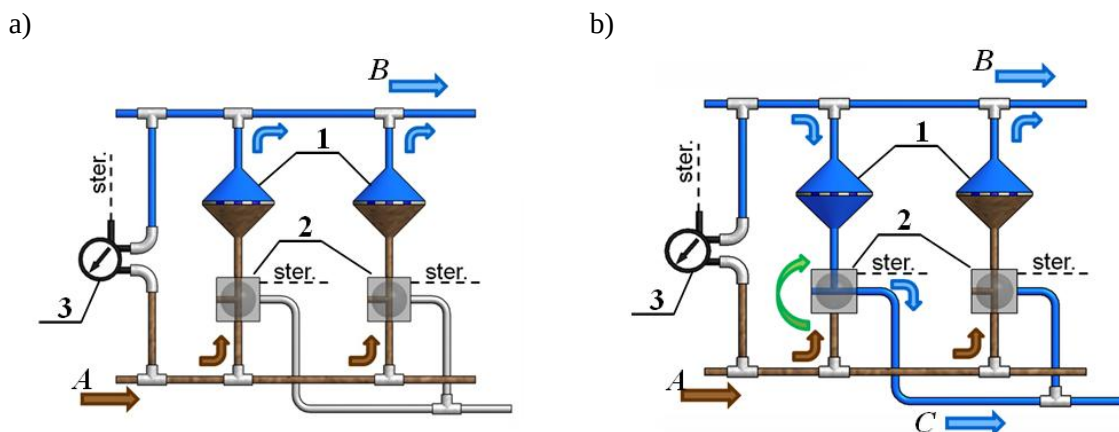


Rys. 1. Filtr samoczyszczący FS-60 produkcji KOPEX Machinery [8]



Rys. 2. Pojedynczy zespół filtracyjny

Zadaniem filtra jest oczyszczanie medium (wody) przepływającego od wewnątrz, na zewnątrz szczelinowych wkładów filtracyjnych. W trakcie przepływu, cząstki zanieczyszczeń odkładają się na wewnętrznej powierzchni wkładu. Wraz z rosnącą liczbą cząstek zanieczyszczeń, wzrasta różnica ciśnienia pomiędzy komorami „wlotową” i „wylotową”. Jeśli różnica ta osiągnie zadaną wartość, rozpoczyna się proces automatycznego oczyszczania wkładów filtracyjnych. Przefiltrowana przez pozostałe wkłady woda wpływa od zewnątrz do czyszczonego wkładu, „zabierając” ze sobą zanieczyszczenia i wypływa króćcem przeznaczonym do odbioru zanieczyszczeń. Jest to tzw. czyszczenie strumieniem wstecznym. Na rysunku 3 przedstawiono uproszczony schemat oczyszczania wkładów filtracyjnych.

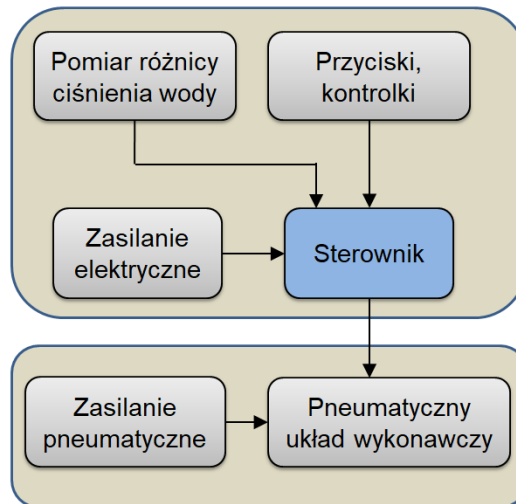


Rys. 3. Uproszczony schemat działania filtra:

- a) filtracja, b) oczyszczanie jednego z wkładów; 1-wkłady filtracyjne, 2-zawory wodne, 3 manometr różnicowy;
A-dopływ wody zanieczyszczonej, B-wypływ wody przefiltrowanej, C-wypływ zanieczyszczeń;
ster.-sterowanie pneumatyczne

3. Budowa układu sterowania

Układ sterowania umożliwia poprawną pracę zespołu pneumatycznego, a co za tym idzie, właściwą pracę filtra. Sercem układu jest sterownik, który (na podstawie dostarczonych do niego informacji) zawiaduje kolejnością (i krotnością) uruchamianych zespołów filtracyjnych. Uproszczony schemat blokowy filtra pokazano na rysunku 4.



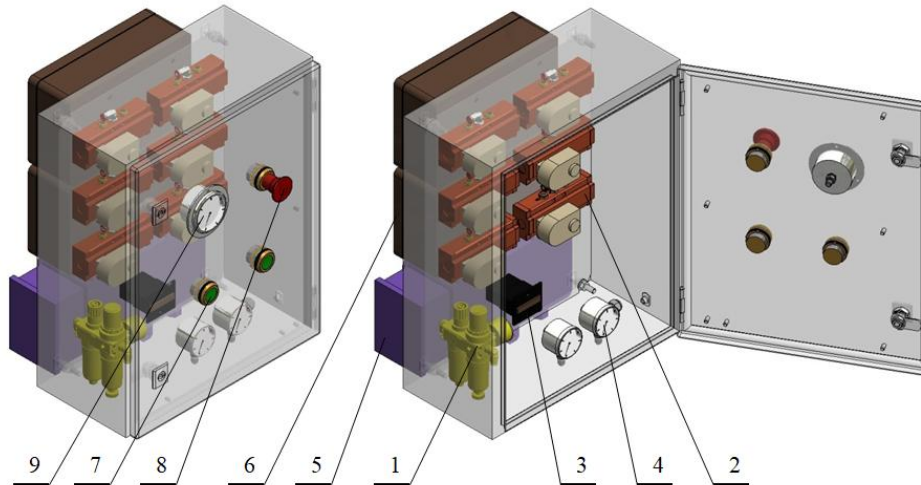
Rys. 4. Uproszczony schemat blokowy filtra

Filtr przewidziano do zastosowania w podziemnych wyrobiskach kopalń węgla. W związku z tym, układ sterowania zbudowano z elementów elektropneumatycznych, dostosowanych do pracy w takich warunkach. W szafie sterowniczej zabudowano następujące podzespoły:

- blok przygotowania sprężonego powietrza (filtr, smarownica, reduktor ciśnienia),
- zawory elektropneumatyczne bezpośrednio sterujące pracą siłowników filtra,
- manometr różnicy ciśnień,
- sterowniki elektryczne,
- zasilacz elektryczny,
- przyciski sterowania (uruchomienie czyszczenia, uruchomienie ochrony wkładów przed zanieczyszczeniami zgrubnymi, wyłącznik awaryjny),
- licznik cykli czyszczenia wkładów,
- manometr ciśnienia wody,
- zawór odcinający.

Rozmieszczenie podzespołów w szafie sterowniczej pozwoliło na budowę układu sterowania w dwóch wariantach - ze sterownikami elektrycznymi umieszczonymi wewnątrz i na zewnątrz szafy sterowniczej.

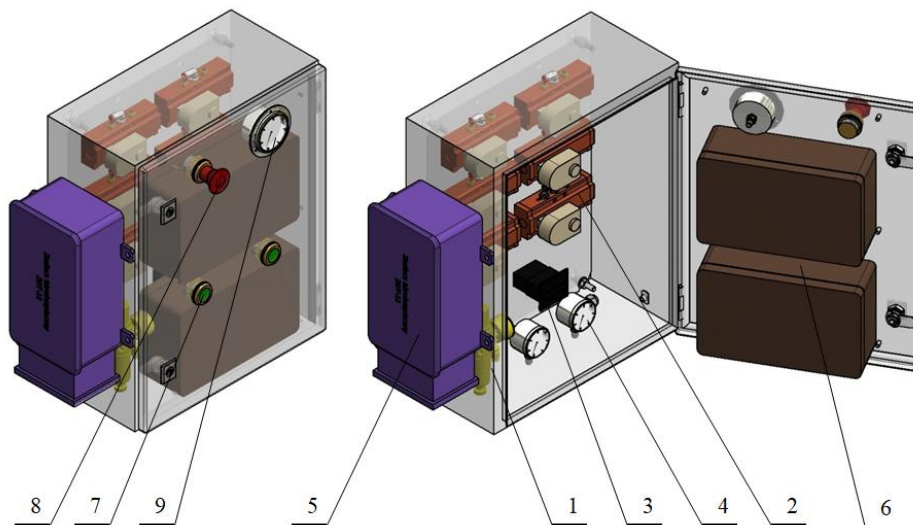
Wariant pierwszy (rys. 5) przewiduje zabudowę sterowników i zasilacza elektrycznego na tylnej ścianie szafy sterowniczej. Zaletą tego rozwiązania jest łatwy dostęp do elementów układu pneumatycznego. Wadą natomiast, ze względu na zabudowę szafy na filtry, utrudnienie dostępu do podzespołów sterowania elektrycznego, co może być utrudnieniem w trakcie realizacji przeglądów okresowych oraz prac serwisowych.



Rys. 5. Wariant I szafy sterowniczej (ze sterownikami zabudowanymi poza szafą sterowniczą) [2]:

1-blok przygotowania sprężonego powietrza, 2-rozdzielacze elektropneumatyczne,
3-licznik cykli czyszczenia, 4-manometr różnicy ciśnienia wody, 5-zasilacz elektryczny,
6-sterowniki elektryczne, 7-przyciski, 8-wyłącznik awaryjny, 9-manometr

W wariantcie drugim (rys. 6) zabudowano sterowniki na wewnętrznej stronie drzwi szafy sterowniczej, natomiast zasilacz elektryczny zabudowano na jej bocznej ścianie co umożliwia prowadzenie czynności serwisowych układu elektrycznego, kosztem minimalnego ograniczenia dostępu do układu pneumatycznego.



Rys. 6. Wariant II szafy sterowniczej (ze sterownikami zabudowanymi w szafie sterowniczej) [2]:

1-blok przygotowania sprężonego powietrza, 2-rozdzielacze elektropneumatyczne,
3-licznik cykli czyszczenia, 4-manometr różnicy ciśnienia wody, 5-zasilacz elektryczny,
6-sterowniki elektryczne, 7-przyciski, 8-wyłącznik awaryjny, 9-manometr

Układ sterowania wyposażono w blok przygotowania sprężonego powietrza, którego komponenty służą do usuwania z czynnika roboczego zanieczyszczeń stałych i ciekłych (filtr), nastawiania i utrzymywania stałego ciśnienia medium (reduktor) oraz nasycania sprężonego powietrza mgłą olejową (smarownica) [16]. W układzie sterowania zastosowano elektropneumatyczne zawory rozdzielające, służące do zmiany kierunku przepływu sprężonego powietrza i do wprowadzenia w ruch siłowników w procesie czyszczenia wkładów filtracyjnych. Kolejnym elementem układu sterowania jest manometr różnicy ciśnienia medium roboczego, służący do jego pomiaru przed i za filtrem. Różnica ciśnienia wody informuje o stopniu zanieczyszczenia wkładów filtracyjnych. Informacja ta przesyłana jest do sterownika, który porównuje ją z wartością zadaną, uruchamiając (w razie

konieczności) proces czyszczenia. W układzie wykorzystano także sterownik elektryczny (moduły wejść-wyjść typu MWW 1 firmy Gabrypol – konstrukcja KOMAG). Wykorzystanie magistrali CAN do programowania pozwala na zmianę oprogramowania, bez konieczności otwierania obudowy modułu. Daje to dużą swobodę i elastyczność przy serwisowaniu modułów.

Na rysunku 7 przedstawiono moduł MWW 1, natomiast w tabeli 1 jego dane techniczne.



Rys. 7. Moduł wejść-wyjść MWW 1 [17]

Dane techniczne modułu MWW 1

Tabela 1

Podstawowe dane techniczne		
Cecha budowy przeciwwybuchowej		I M2 Ex ib I Mb
Temperatura otoczenia		Ta = -20°C ÷ +50°C
Stopień ochrony obudowy		IP65
Parametry znamionowe wejściowe/wyjściowe obwodów iskrobezpiecznych		
Znamionowe napięcie zasilania		12V ^{+10%} _{-5%} DC
Maksymalny prąd zasilania		120 mA
Wejścia dwustanowe		Un=12V ^{+10%} _{-5%} DC In=23mA
Wyjścia dwustanowe styk niespolaryzowany		U _{max} =45V, I _{max} =2A
Wejścia analogowe typ:	10V	Un=12V ^{+10%} _{-5%} DC In=±0,1mA
	20mA	Un=12V ^{+10%} _{-5%} DC In=÷25mA
	M	Un=3,3V DC In=±3mA
	PT100	Un=2,5V DC In=±3mA
	PT1000	Un=2,5V DC In=±0,3mA
	Interfejs CAN	Un=5V, In=0,3A

4. Układ elektropneumatycznego sterowania

Układ elektropneumatycznego sterowania służy do:

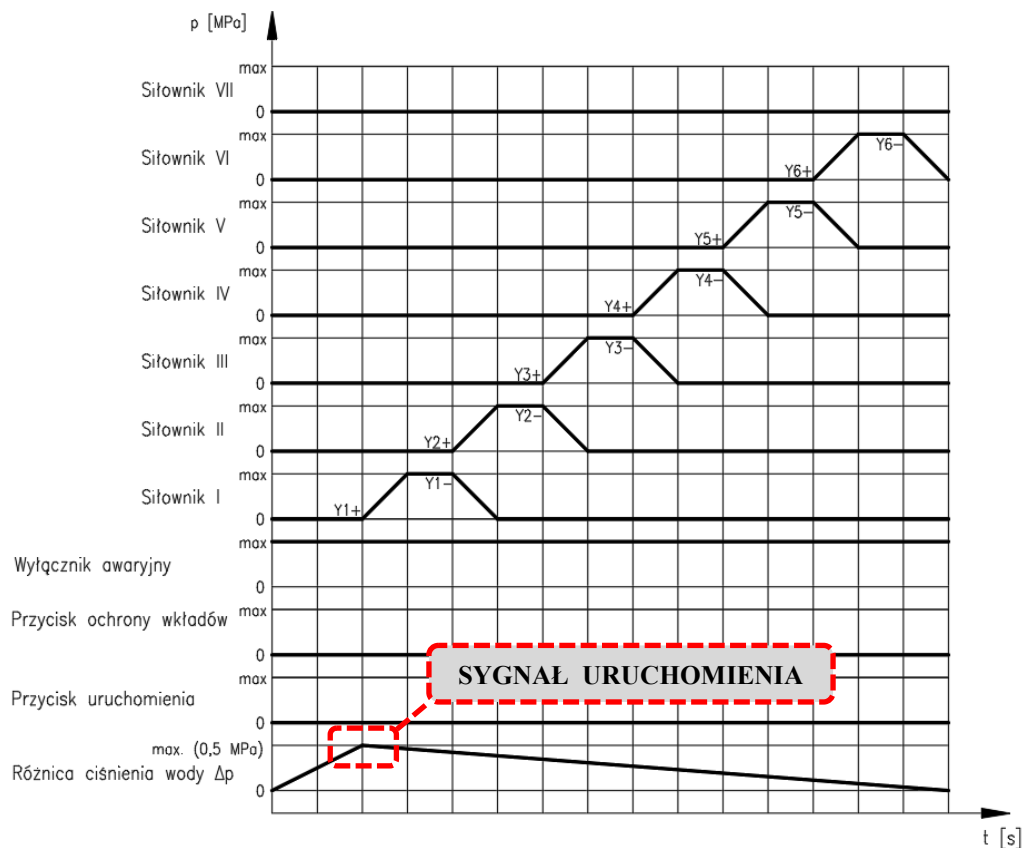
- ciągłego monitorowania różnicy ciśnienia wody na wlocie i wylocie z filtra,
- przesyłania sygnału sterującego do cylindrów zaworów wodnych, po ręcznym uruchomieniu funkcji czyszczenia,

- przesyłania sygnału sterującego do zaworu odpowiedzialnego za ochronę wkładów filtrujących przed zanieczyszczeniami zgrubnymi,
- przesyłania sygnałów sterujących (w określonej sekwencji) do siłowników zaworów wodnych,
- wykonania funkcji czyszczących filtra,
- informowania (poprzez wskazania manometru) personelu obsługującego o stanach awaryjnych (niezrealizowany proces oczyszczania wkładów filtracyjnych),
- kontroli liczby cykli czyszczenia,
- kontroli czasu czyszczenia wkładów filtracyjnych.

Istotą sterowania elektropneumatycznego jest ciągła kontrola różnicy ciśnienia wody na wlocie i wylocie filtra oraz uruchamianie funkcji czyszczenia wkładów filtracyjnych. Każdy cykl czyszczenia filtra jest rejestrowany w sterowniku elektrycznym oraz liczniku pneumatycznym.

4.1. Automatyczne uruchomienie funkcji czyszczenia wkładów filtracyjnych

Po wystąpieniu wartości progowej różnicy ciśnienia wody na wlocie i wylocie z filtra, układ sterowania kieruje sprężone powietrze do siłownika jednego z zaworów, powodując jego otwarcie, a tym samym rozpoczęcie procesu oczyszczania wkładu filtracyjnego strumieniem wstecznym wody. Czas oczyszczania pojedynczego wkładu zapisany jest w sterowniku i może być zmieniany (manualnie przez użytkownika) w zależności od stopnia zanieczyszczenia wkładu. Układ sterujący powtarza cykl płukania dla pozostałych wkładów filtracyjnych, uruchamiając pojedynczo pozostałe siłownik pneumatyczne. Na rysunku 8 pokazano cyklogram pracy układu przy automatycznym uruchomieniu funkcji czyszczenia.

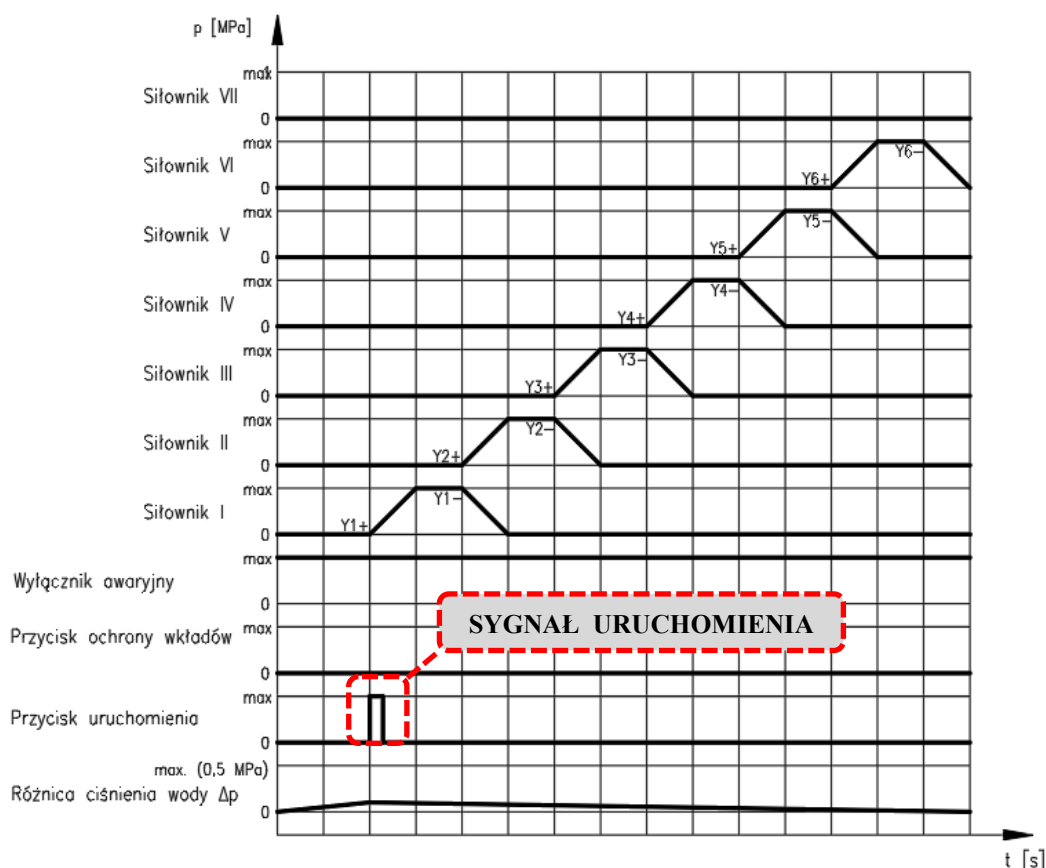


Rys. 8. Cyklogram 1 - Automatyczne uruchomienie funkcji czyszczenia [2]

Jeżeli po zakończeniu cyklu czyszczenia różnica ciśnienia wody między wejściem i wyjściem filtra jest zbyt duża, procedura czyszczenia jest powtarzana.

4.2. Manualne uruchomienie funkcji czyszczenia wkładów filtracyjnych

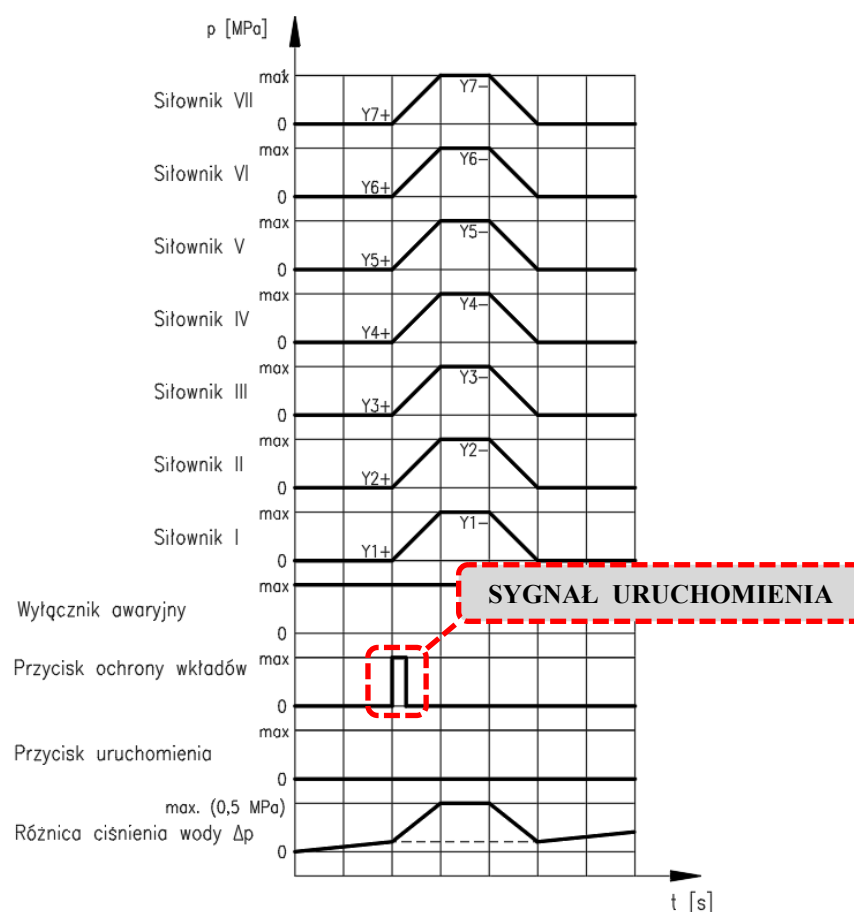
Układ sterowania (poprzez przycisk uruchomienia umieszczony w drzwiach szafy sterowniczej) umożliwia ręczne inicjowanie funkcji czyszczenia. Naciśnięcie przycisku powoduje uruchomienie takiego samego cyklu czyszczenia, jak w trybie automatycznym. Na rysunku 9 pokazano cyklogram pracy układu przy ręcznym uruchomieniu funkcji czyszczenia.



Rys. 9. Cyklogram 2 - Ręczne uruchomienie funkcji czyszczenia [2]

4.3. Manualne uruchomienie funkcji ochrony wkładów filtracyjnych przed zanieczyszczeniami zgrubnymi

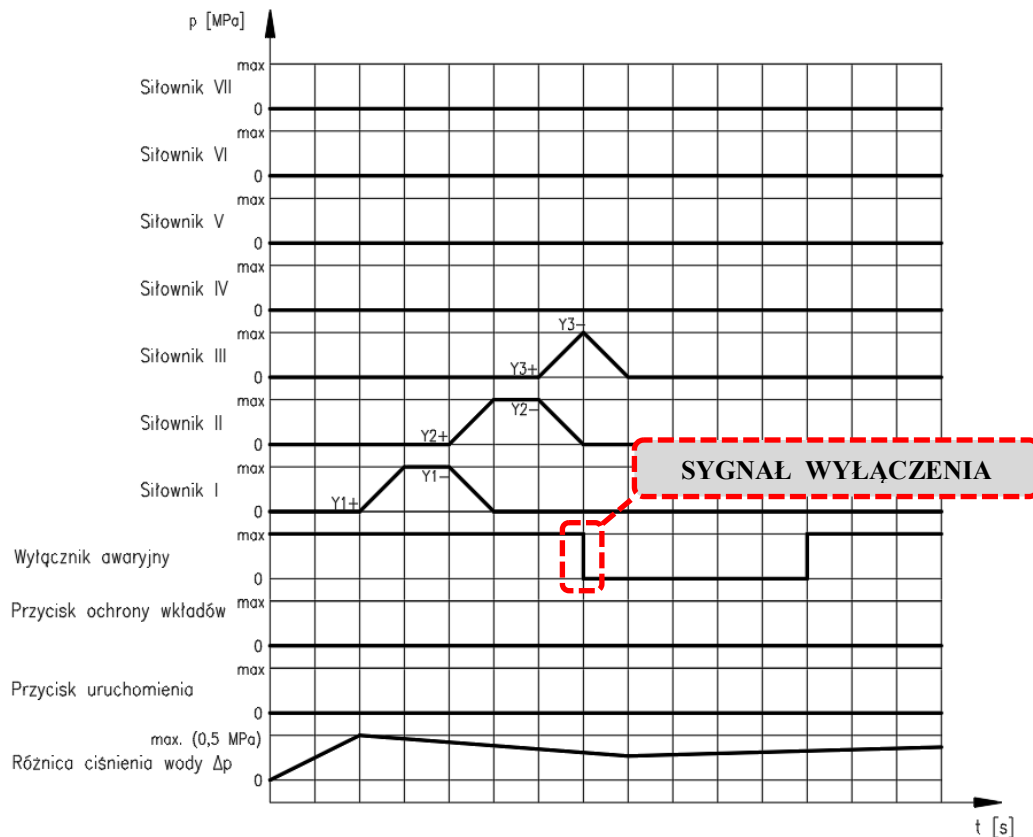
Funkcja ochrony wkładów filtracyjnych przed grubymi frakcjami zanieczyszczeń ma za zadanie uruchomienie wszystkich siłowników pneumatycznych na określony czas i jednocześnie otwarcie zaworów wody (odprowadzenie zanieczyszczeń). Uruchomienie funkcji ochrony filtra następuje po wciśnięciu odpowiedniego przycisku w panelu sterującym. Zabieg ten powinno się wykonywać przed pierwszym uruchomieniem filtra oraz po każdym, dłuższym jego przestoju. Na rysunku 10 pokazano cyklogram pracy układu przy manualnym uruchomieniu funkcji ochrony wkładów.



Rys. 10. Cyklogram 3 - Ręczne uruchomienie funkcji ochrony wkładów filtracyjnych [2]

4.4. Wyłączenie awaryjne

Układ sterowania wyposażono w wyłącznik bezpieczeństwa, który ma za zadanie ochronę filtra w przypadku jego nieprawidłowego działania. Po wciśnięciu przycisku bezpieczeństwa na panelu sterującym, wstrzymywana jest praca układu sterującego. Następuje powrót wszystkich ustawień układu sterowania do wartości początkowych. Równoległe z uruchomieniem wyłącznika bezpieczeństwa, należy zamknąć dopływ wody do filtra, co spowoduje odcięcie wody po stronie urządzeń odbiorczych. Na rysunku 11 pokazano cyklogram pracy układu po wyłączeniu awaryjnym.



Rys. 11. Cyklogram 4 - Wyłączenie awaryjne [2]

5. Podsumowanie

Górnictwo, a w szczególności podziemne górnictwo węgla kamiennego, używa sprężonego powietrza do napędu maszyn i sprzętu oraz narzędzi. Jest ono nie tylko wygodne w użyciu, ale poprawia również bezpieczeństwo pracy przy podziemnej eksploatacji [18]. Wykorzystywane jest ono zarówno do zasilania niewielkich urządzeń „małej mechanizacji”, jak również dużych, związanych z poprawną pracą, maszyn wyciągowych [3, 4].

Jednym z urządzeń wykorzystujących zasilanie pneumatyczne jest filtr samoczyszczący FS-60. Jego układ sterujący (elektropneumatyczny), będący alternatywnym dla już istniejącego sterowania pneumatycznego, umożliwia realizację szeregu funkcji, takich jak: ciągłe monitorowanie różnicy ciśnienia cieczy na wlocie i wylocie z filtra, przesyłanie sygnałów sterujących do siłowników zaworów wodnych, uruchomienie funkcji czyszczących filtra, kontrolę czasu czyszczenia wkładów filtracyjnych, informowanie o stanach awaryjnych czy kontrolę liczby cykli czyszczenia. Pozwala to na pełną automatyzację pracy i lepszą diagnostykę filtra.

Warunkiem praktycznego zastosowania układu elektropneumatycznego sterowania filtrem jest konieczność zapewnienia, poza zasilaniem pneumatycznym, zasilania elektrycznego. Należy przy tym pamiętać, że urządzenia elektryczne pracujące w węglowym górnictwie podziemnym, muszą spełniać wymagania dyrektywy ATEX.

Zaletą układu są możliwości sterownika elektrycznego, pozwalającego na przejęcie większości funkcji logicznych układu pneumatycznego, a tym samym zmniejszenie liczby

węzłów połączeń pneumatycznych i prawdopodobieństwa wystąpienia nieszczelności w układzie.

Literatura

- [1] Hućcio T., Kulesza Z., Kuźmierowski T.: Napędy i sterowanie pneumatyczne. Politechnika Białostocka 2013.
- [2] Jasiulek T. i inni: Koncepcja elektropneumatycznego układu sterowania pracą filtra FS-60. ITG KOMAG Gliwice 2015 (materiały niepublikowane).
- [3] Kowal L., Turewicz K., Helmrich P., Nyga K.: Nowe rozwiązania techniczne Instytutu Techniki Górniczej KOMAG wdrażane w maszynach wyciągowych. Masz. Gór. 2010 nr 3-4.
- [4] Miłek R., Długaj J., Ryndak P.: Elektropneumatyczny zespół sterowania hamulca EPZSH przeznaczony do maszyn wyciągowych wyposażonych w pneumatyczno-obciążnikowe nie sumujące napędy hamulca z dźwigniowym układem przeniesień siłowych. Materiały na konferencję: Transport Szybowy 2007, IV Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna, t. 1, Szczyrk, 17-19.09.2007.
- [5] Nieśpiałowski K. i inni: Innowacyjny filtr samoczyszczący do instalacji wodnych. Maszyny Górnicze 2011 nr 3 s. 74-80.
- [6] Nieśpiałowski K. i inni: Filtr samoczyszczący do wody i cieczy nisko lepkich. W: XXI Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna CYLINDER 2011, Monografia ITG KOMAG, Badanie, konstrukcja, wytwarzanie i eksploatacja układów hydraulicznych, s. 65-76.
- [7] Nieśpiałowski K. i inni: Filtr samoczyszczący z funkcją uzdatniania wody. W: 12. Konferencja Naukowo-Techniczna KOMTECH 2011, Monografia ITG KOMAG, Innowacyjne techniki i technologie dla górnictwa. Bezpieczeństwo-efektywność-niezawodność, s. 85-97.
- [8] Nieśpiałowski K. i inni: Badanie filtra samoczyszczącego w warunkach praktycznego stosowania. W: Międzynarodowa konferencja naukowo-techniczna, Wyd. Ośrodek Doskonalenia Kadr SIMP we Wrocławiu, Napędy i sterowania hydrauliczne i pneumatyczne 2012. Stan, potrzeby, oczekiwania i możliwości, s. 128-137.
- [9] Olszewski M.: Tendencje rozwojowe w dziedzinie elementów, systemów i sterowania napędów pneumatycznych. Materiały na II Międzynarodowe Targi "Hydraulika, Pneumatyka, Sterowanie HPS '98". Seminarium "Napędy i sterowanie hydrauliczne i pneumatyczne. Rozwój i zastosowanie". Katowice, 23 września 1998 r. Mechaniz. Automatyk. Górn. 1998 nr 8.
- [10] Pawełko P.: Napęd i sterowanie pneumatyczne. Podstawy. Ćwiczenia laboratoryjne. Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny. Szczecin 2013 (http://piopawelko.zut.edu.pl/fileadmin/NEHIP/skrypt_podstawy.pdf) (26.08.2019).
- [11] Pawełko P.: Napęd i sterowanie pneumatyczne. Podstawy. Ćwiczenia laboratoryjne. Elementy elektropneumatycznych układów sterowania. Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny. Szczecin 2019 (http://piopawelko.zut.edu.pl/fileadmin/SNHIP/lab11_NHIP.pdf) (26.08.2019).
- [12] Puzyno A.: Filtr samoczyszczący produktem roku 2013. Self-cleaning filter is the product of the year 2013. Art Min. 2013 nr 8-9.

- [13] Sikora W., Sobczyk J.: Przegląd elementów elektrohydraulicznych i elektropneumatycznych produkowanych przez Centrum EMAG. Mechaniz. Automatyk. Gór. 1996 nr 10.
- [14] Sobczyk J., Potempa J., Haber Z., Sikora W.: Rozwój sterowników i rozdzielaczy iskrobezpiecznych dla hydrauliki i pneumatyki górniczej w Centrum EMAG. Mech. Autom. Gór. 2001 nr 8.
- [15] Szenajch W.: Napęd i sterowanie pneumatyczne, WNT, Warszawa 1992
- [16] www.boschrexroth.com/pl/pl/ (16.05.2019).
- [17] www.gabrypol.com (16.05.2019).
- [18] www.pneumatyka.com/archiwum/1998/Pneumatyka_98_04.pdf (27.08.2019).

dr inż. Krzysztof Nieśpiałowski
kniespialowski@komag.eu

Instytut Techniki Górniczej KOMAG
ul. Pszczyńska 37, 44-101 Gliwice

Czy wiesz, że

... narzędzia do skał i materiały, z których je zrobiono istotnie wpływają na produktywność wiertnicy oraz jej pneumatykę, hydraulikę, funkcjonowanie silnika i innych podzespołów. Zasadnicze znaczenie ma to, że firma Sandvik kontroluje cały proces produkcyjny – od sproszkowanego węgla, aż po gotowe koronki. Sandvik wprowadza właśnie na rynek nowe narzędzia do drążenia chodników i prac przygotowawczych w kopalniach. Do najnowszych narzędzi zaliczyć należy koronkę Speedy z górnym młotkiem (opatentowana podniesiona przednia geometria), wyposażoną w tzw. w pełni balistyczne węgliki. Nowością jest również system narzędziowy Alpha 360, będący odpowiedzią na coraz częstsze zapotrzebowanie na większe i głębsze otwory. Nowe rodzaje węgla, określane łącznie jako PowerCarbide, to gatunki gradientowe GC80 oraz samohartujące SH70. Nowoczesne koronki wiertnicze i systemy narzędziowe oraz nowe gatunki węgla zwiększają produktywność operacji dzięki większym prędkościom wiertła i bardziej precyzyjnemu wierceniu otworów. Oznacza to niższe koszty i wzrost bezpieczeństwa robót górniczych.

Solid Ground 2019 nr 1 s.16-19

Zastosowanie ogniw litowych do zasilania urządzeń technologicznych w górniczych wozach strzelniczych

Krzysztof Okrent
Przemysław Deja
Bartosz Polnik

The use of lithium batteries to power technological equipment in blasting utility vehicles

Streszczenie:

W samojezdnym wozie strzelniczym do napędu układu jezdnego zastosowany jest wysokoprężny silnik spalinowy. Natomiast do napędu urządzeń technologicznych, zabudowanych na tych wozach, stosowany jest silnik elektryczny, który napędza pompę hydrauliczną. Silnik elektryczny zasilany jest z kopalnianej sieci elektroenergetycznej o napięciu znamionowym 500 V za pośrednictwem rozwijanego przewodu elektrycznego. W artykule przedstawiono nowe, akumulatorowe rozwiązanie zasilania silnika elektrycznego samojezdnego wozu strzelniczego. Układ ten składa się z modułu baterii i aparatury, zabudowanych na wozie strzelniczym oraz wolnostojącego modułu ładowania. Wprowadzenie akumulatorowego zasilania układu roboczego zabudowanego na wozie, w miejsce stosowanego w dotychczasowych rozwiązaniach zasilania przewodowego, jest istotną innowacją wozu strzelniczego. Zastosowane w tym rozwiązaniu ogniwa litowe charakteryzują się wysoką gęstością energii oraz wysoką gęstością mocy, w stosunku do powszechnie stosowanych baterii ogniw kwasowo-ołowiowych i nie wydzielają gazów elektrolitycznych (np. wodoru) podczas eksploatacji.

Słowa kluczowe: górnictwo, maszyny elektryczne, zasilanie akumulatorowe

Keywords: mining industry, electric machines, battery power supply system

Abstract:

Self-propelled blasting utility vehicles are powered by diesel engines. However, electric motors are used to power the technological devices installed on these vehicles, and such a motor powers a hydraulic pump. The electric motors are powered from the mine's power grid with a rated voltage of 500 V via an unwound electric cable. A new battery solution for the electric motor of a self-propelled blasting utility vehicle is presented. This system consists of a battery module and fittings, installed on a blasting utility vehicle and a free-standing charging module. The introduction of battery power supply unit to the working system installed on the vehicle instead of the wired power supply used in existing solutions is an important innovation of the blasting utility vehicles. The lithium cells used in this solution are characterized by high energy density and high power density, compared to commonly used lead-acid batteries and during operation do not emit electrolytic gases (e.g. hydrogen).

1. Wprowadzenie

W samojezdnym wozie strzelniczym (rys. 1) do napędu układu jezdnego zastosowany jest wysokoprężny silnik spalinowy. Natomiast do napędu urządzeń technologicznych zabudowanych na tych wozach (tj. modułowego urządzenia pompowego służącego do wytwarzania i ładowania materiału wybuchowego do otworów strzałowych oraz układu podnoszenia kosza) stosowany jest silnik elektryczny, który napędza pompę hydrauliczną. Silnik elektryczny zasilany jest z kopalnianej sieci elektroenergetycznej o napięciu znamionowym 500 V za pośrednictwem rozwijanego przewodu elektrycznego. Każdorazowe rozwijanie oraz zwijanie 100-metrowego przewodu jest czasochłonne, uciążliwe oraz stwarza duże zagrożenie dla pracującej załogi wozu w rejonie przodka. Ponadto zdarzają się sytuacje, w których po rozwinięciu i podłączeniu przewodu do rozdzielnicy, występuje brak napięcia.



Rys. 1. Samojedźny wóz strzelniczy WS-151 produkcji KGHM-ZANAM [2]

W niniejszym artykule przedstawiono, opracowane w Instytucie Techniki Górniczej KOMAG w Gliwicach, nowe akumulatorowe rozwiązanie układu zasilającego samojedźnego wozu strzelniczego produkcji KGHM-ZANAM.

Głównym zadaniem konstruktorów na etapie projektowania akumulatorowego układu zasilającego była optymalizacja zużycia energii oraz podwyższenie bezpieczeństwa eksploatacyjnego. Prace projektowe poprzedzono badaniami w warunkach rzeczywistej eksploatacji istniejącego układu zasilającego samojedźnego wozu strzelniczego WS-151 zasilanego przewodowo (rys. 1).

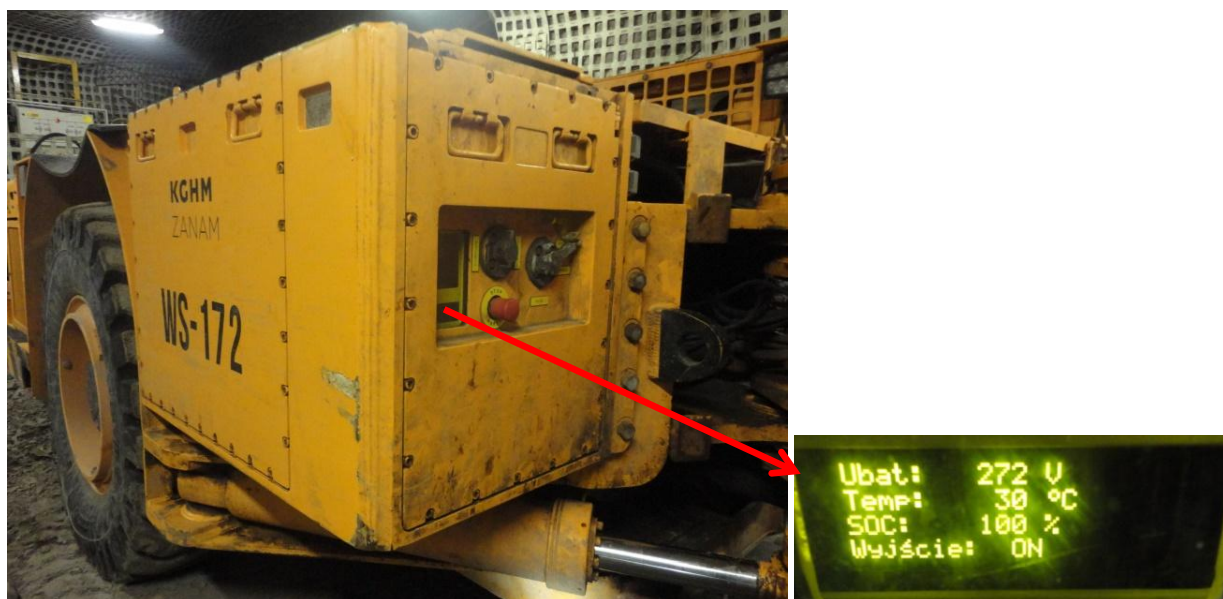
Opracowany akumulatorowy układ zasilający składa się z modułu baterii i aparatury zabudowanych na wozie strzelniczym oraz wolnostojącego modułu ładowania opracowanego w Zakładzie Energoelektroniki Twerd [1].

2. Akumulatorowy układ zasilający

• Moduł baterii i aparatury

Ze względu na ograniczone miejsce na konstrukcji wozu strzelniczego, wyposażenie elektryczne akumulatorowego układu zasilającego zostało rozmieszczone w dwóch osobnych modułach: module baterii oraz module aparatury.

W module baterii zabudowanym na wozie strzelniczym (rys. 2) umieszczono: baterię ogniwo litowo-żelazowo-fosforanowych (LiFePO_4) wraz z systemem nadzoru BMS (ang. Battery Management System), falownik, wyłącznik główny, zasilacz 24 V oraz urządzenia kontrolno-zabezpieczające.



Rys. 2. Moduł baterii zabudowany na wozie strzelniczym [2]

Poszczególne obwody elektryczne wyprowadzono z modułu za pośrednictwem złącz wtykowych. Na drzwiach bocznych modułu umieszczono napęd wyłącznika głównego, napęd wyboru rodzaju pracy (ładowanie baterii / praca bateryjna), wyłącznik awaryjny oraz wziernik z wyświetlaczem. Ogniwa litowo-żelazowo-fosforanowe posiadają obudowę hermetyczną i nie wydzielają żadnych gazów w warunkach normalnej eksploatacji. Ogniwa te nie stwarzają też zagrożenia pożarowego. Na wyświetlaczu przedstawiane są aktualne parametry modułu baterii tj.: napięcie całkowite baterii, temperatura wewnętrzna, stopień naładowania baterii oraz stan pracy stycznika wyjściowego.

W tabeli 1 przedstawiono podstawowe dane techniczne modułu baterii.

Dane techniczne modułu baterii [1]

Tabela 1

Maksymalne napięcie baterii	292 V; DC
Znamionowe napięcie baterii	264 V; DC
Minimalne napięcie baterii	200 V; DC
Energia baterii	32 kWh
Znamionowy prąd baterii	80 A; DC
Napięcie znamionowe wyjściowe	150 V; 50 Hz
Prąd znamionowy wyjściowy	50 A
Interfejs komunikacyjny	magistrala CAN
Stopień ochrony obudowy	IP 67
Wymiary	1025 x 595 x 720 mm
Masa	800 kg

Pozostałe wyposażenie elektryczne, ze względu na brak wolnej przestrzeni w module baterii, umieszczono w osobnym module aparatury (rys. 3).



Rys. 3. Moduł aparatury zabudowany na wozie strzelniczym [2]

W tabeli 2 przedstawiono podstawowe dane techniczne modułu aparatury.

Poszczególne obwody elektryczne, ze względu na stały charakter połączeń, wyprowadzono z modułu aparatury za pomocą dławnic kablowych.

Dane techniczne modułu aparatury [1]

Tabela 2

Napięcie znamionowe	150 V, 50 Hz
Prąd znamionowy	75 A
Napięcie pomocnicze	24 V DC
Interfejs komunikacyjny	magistrala CAN
Stopień ochrony obudowy	IP 67
Wymiary	760 x 384 x 314 mm
Masa	71 kg

• Moduł ładowania

Moduł ładowania (rys. 4) jest urządzeniem wolnostojącym i jest przeznaczony do ładowania modułu baterii zabudowanego na wozie strzelniczym. Producentem modułu ładowania jest Zakład Energoelektroniki TWERD.



Rys. 4. Moduł ładowania zainstalowany w podziemiach kopalni [2]

Moduł ładowania zasilany jest z kopalnianej sieci elektroenergetycznej o napięciu znamionowym 500 V z uziemionym punktem neutralnym transformatora.

Moduł posiada trzy niezależne odpływy o mocy 20 kW. Umożliwiają one bezpieczne naładowanie trzech modułów baterii (rys. 2) o łącznej energii 96 kWh w czasie niepełna 2 godzin. Komunikacja modułu ładowania z systemem nadzoru BMS modułu baterii odbywa się poprzez magistralę CAN. Wyposażenie elektryczne modułu ładowania umieszczone jest w metalowej obudowie o stopniu ochrony IP56, zabezpieczonej antykorozyjnie. Chłodzenie modułu odbywa się w sposób pasywny.

W tabeli 3 przedstawiono podstawowe dane techniczne modułu ładowania.

Dane techniczne modułu ładowania [1]

Tabela 3

Układ sieci	IT
Napięcie znamionowe zasilania	3 x 500V (-15% +10%); 45..66 Hz
Prąd znamionowy wejściowy	125 A
Ilość wyjść	3
Prąd wyjściowy maksymalny	100 A DC (do każdego z wyjść)
Moc wyjściowa maksymalna	20 kW (do każdego z wyjść)
Interfejs komunikacyjny	magistrala CAN
Stopień ochrony obudowy	IP 56
Wymiary	1830 x 1550 x 884 mm
Masa	1100 kg

Proces ładowania baterii odbywa się w sposób bezemisyjny, nie stwarzający zagrożenia pożarowego ani jakiegokolwiek innego zagrożenia dla środowiska i ludzi. W związku z powyższym, ładowanie może odbywać się w dowolnym miejscu kopalni, bez konieczności stosowania specjalnie wentylowanych pomieszczeń, w których ładowana jest bateria.

3. Aplikacja akumulatorowego układu zasilającego

Akumulatorowy układ zasilający został zastosowany w samojezdnym wozie strzelniczym WS-172 produkcji KGHM-ZANAM (rys. 5).



Rys. 5. Samojezdny wóz strzelniczy WS-172 [3]

Samojezdny wóz strzelniczy WS-172 z akumulatorowym układem zasilającym, po pozytywnym zakończeniu badań, decyzją Prezesa Wyższego Urzędu Górniczego został dopuszczony do pracy w podziemiach kopalń. Od lutego 2018 roku samojezdny wóz strzelniczy WS-172 pracuje w jednej z kopalń rudy miedzi (rys. 6). Uzyskuje bardzo dobre opinie górników strzałowych, jak i dozoru kopalnianego.



Rys. 6. Samojezdny wóz strzelniczy WS-172 kopalni rudy miedzi [2]

Akumulatorowy układ zasilania umożliwia pracę wozu strzelniczego bez dodatkowego czasu na niebezpieczną i uciążliwą czynność rozwijania i zwijania 100-metrowego przewodu elektrycznego i jest gotowy do pracy od momentu dojazdu wozu do przodka. Moduł baterii jest monitorowany w czasie rzeczywistym. Podstawowe informacje, zarówno podczas pracy, jak i ładowania baterii, wyświetlane są na panelu umieszczonym na obudowie modułu baterii, modułu ładowania oraz na pulpicie operatora, wewnątrz kabiny wozu strzelniczego.

Podczas pracy wozu strzelniczego WS-172 w podziemiach kopalni stwierdzono, że jedno naładowanie modułu baterii wystarcza na pracę podczas 2,5 zmian roboczych, co umożliwia uzbrojenie emulsją wybuchową co najmniej 16 przodków. Po rocznym okresie eksploatacji moduł baterii zachowuje nominalne parametry. Różnica napięć pomiędzy ogniwami nie przekracza 0,12 mV. Temperatura we wnętrzu modułu baterii rozkłada się równomiernie i nie przekracza wartości dopuszczalnych [1].

4. Podsumowanie

Przedstawiony w niniejszym artykule akumulatorowy układ zasilający samojezdnego wozu strzelniczego może być stosowany w podziemnych, niemetanowych zakładach górniczych, wydobywających rudy metali i zakładach górniczych wydobywających inne kopaliny.

Zastosowanie akumulatorowego układu zasilającego wozu strzelniczego umożliwia natychmiastowe ładowanie otworów strzałowych po wjechaniu wozu do przodka, chroniąc jednocześnie załogę przed obwałem skał.

Wprowadzenie akumulatorowego zasilania układu roboczego zabudowanego na wozie (tj. modułowego urządzenia pompowego oraz układu manewrowania „koszem”) wraz z obwodami pomocniczymi i sterowania, w miejsce stosowanego w dotychczasowych

rozwiązaniach zasilania przewodowego, jest istotną innowacją wozu strzelniczego. Należy zwrócić uwagę, że jest to pierwsze zastosowanie baterii ogniwo litowych (LiFePO_4) w maszynie przeznaczonej do eksploatacji w podziemnych wyrobiskach rud miedzi i innych kopalniach niewęglowych. Ogniwa litowe charakteryzują się wysoką gęstością energii oraz wysoką gęstością mocy, w stosunku do powszechnie stosowanych baterii ogniwo kwasowo-ołowiowych i nie wydzielają gazów elektrolitycznych (np. wodoru) podczas eksploatacji.

Samojezdny wóz strzelniczy WS-172 został nagrodzony jako innowacyjny produkt w kategorii „Nowe maszyny”. Rozstrzygnięcie konkursu nastąpiło 29 sierpnia 2017 r. w trakcie Międzynarodowych Targów Górnictwa, Przemysłu Energetycznego i Hutniczego „KATOWICE” [1].

Literatura

- [1] Deja P., Okrent K., Polnik B.: Akumulatorowy zespół zasilający samojezdnego wozu strzelniczego. Masz. Elektr., Zesz. Probl. 2019 nr 122 s. 9-13.
- [2] Deja P., Polnik B., Kurpiel W., Konsek R.: Sprawozdanie z nadzoru autorskiego „Samojezdny wóz strzelniczy WS-172” Praca statutowa ITG KOMAG 2018 (materiał niepublikowany).
- [3] www.kghmzanam.com (05.08.2019)

dr inż. Krzysztof Okrent
 Krzysztof.Okrent@kghmzanam.com
 KGHM ZANAM S.A.
 ul. Kopalniana 7, 59-101 Polkowice

mgr inż. Przemysław Deja
 pdeja@komag.eu

dr inż. Bartosz Polnik
 bpolnik@komag.eu

Instytut Techniki Górniczej KOMAG
 ul. Pszczyńska 37, 44-101 Gliwice

Czy wiesz, że

...Rosja jest największym eksporterem węgla na rynek europejski i takim chce pozostać. W 2018 roku wyeksportowała 132 mln ton tego surowca. Najwięcej węgla, oprócz Polski i Turcji, kupują Niemcy, które za dwa lata zamkną swoje wszystkie elektrownie atomowe i zwiększą inwestycje w OZE. Jednocześnie w ciągu pięciu ostatnich lat Niemcy zwiększyły o 40% import węgla z Rosji. W 2018 roku zakupiono 17,64 mln ton na 66 mln ton zużytych w całym roku. Dlatego Rosjanie nie wierzą w zapowiedzi rezygnacji z węgla w Unii Europejskiej i inwestują w nowe terminale eksportowe pod St. Petersburgiem i Murmańskiem. W ciągu dekady (2007-2017) popyt Europy na węgiel zwiększył się o 16,5%, pomimo wysiłków Brukseli i przepisów mających ograniczyć szkodliwe emisje. Import węgla na całym świecie wciąż rośnie. Polska, Indie, Chiny, Pakistan, Turcja, nawet tak wyczulona na środowisko Nowa Zelandia – wszystkie te kraje z roku na rok zużywają więcej węgla.

Rzeczpospolita 25 września 2019 A28

Agregat hydrauliczny przeznaczony do zasilania napędu taśmowego urządzenia czyszczącego

Krzysztof Nieśpiałowski

Hydraulic power pack for supplying the drive of belt cleaning device

Streszczenie:

W niniejszym artykule zaprezentowano koncepcję agregatu hydraulicznego, przeznaczonego do zasilania układu napędowego taśmowego urządzenia czyszczącego, będącego zespołem pomocniczym głównych przenośników taśmowych. Agregat o zwartej konstrukcji wyposażono w pompę, wraz z zaworem przelewowym, zatopioną w zbiorniku oleju. Kompaktowa budowa umożliwi zabudowę agregatu wewnątrz konstrukcji nośnej przenośnika taśmowego. To z kolei pozwoli na sprzężenie wału pompy, za pomocą przekładni pasowej, z bębniem wysypowym przenośnika taśmowego.

Abstract:

The concept of hydraulic power pack for supplying the drive of belt cleaning device being an auxiliary subassembly of the main belt conveyors is presented. The power pack of a compact design is equipped with a pump with an overflow valve and immersed in an oil tank. The compact design will enable installation of the power pack inside the load-bearing structure of a belt conveyor. This, in turn, will enable coupling the pump shaft, using a belt drive, with a discharge drum of the belt conveyor.

Słowa kluczowe: górnictwo, transport urobku, urządzenie czyszczące, agregat hydrauliczny

Keywords: mining industry, run-of-mine transportation, cleaning device, hydraulic power pack

1. Wstęp

Przenośniki taśmowe służące do przemieszczania po określonym torze pojedynczych przedmiotów, jednostek ładunkowych czy materiałów sypkich, znajdują szerokie zastosowanie w wielu dziedzinach gospodarki. Współczesne przenośniki są z reguły w pełni zautomatyzowane i cechują się wysokim stopniem niezawodności. Dzięki nim praca staje się łatwiejsza i szybsza, a produkcja - tańsza i efektywniejsza [8].

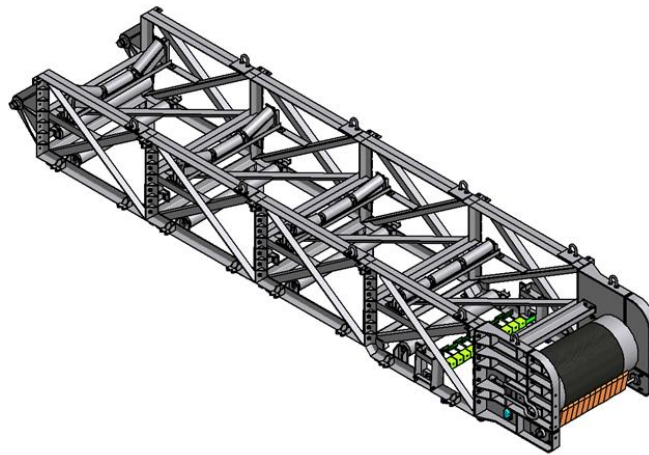
W górnictwie węgla kamiennego, przenośniki taśmowe są przeznaczone głównie do odstawy urobku z przodków wydobywczych. Głównym elementem przenośników taśmowych jest taśma bez końca, przesuwająca się po krążkach, ustawionych na podporach. Taśma wprawiana jest w ruch poprzez bęben napędowy obracany wałem silnika za pośrednictwem przekładni zębatej. Wyładowywanie urobku z przenośnika, np. do wozu kopalnianego, ułatwia wysięgnica, stanowiąca ramę z bębniem na jej końcu. Drugi koniec przenośnika stanowi zwrotnia z bębniem, zmieniającym kierunek ruchu taśmy [1, 6]. Mimo wielu zalet przenośniki nie są pozbawione wad. Jedną z nich jest możliwość przedostawania się wilgotnego urobku między bębni a taśmą, co może skutkować poślizgiem jej na bębnach napędowych. Stąd, przenośniki taśmowe wyposażane są w zespoły zgarniające, usuwające zanieczyszczenia pozostające na powierzchni taśmy.

Odrębnym problemem jest usuwanie z taśmy i spągu gromadzonych zanieczyszczeń. Do tego celu służy urządzenie czyszczące, umożliwiające przejmowanie zanieczyszczeń i załadunek ich na przenośnik odstawczy [3]. Urządzenie to, w swej konstrukcji, wyposażone

jest w agregat hydrauliczny, którego pompa napędzana jest za pomocą przekładni pasowej, współpracującej z bębnum wysięgnika.

2. Koncepcja agregatu hydraulicznego

Agregat jest urządzeniem kompaktowym, umieszczonym wewnątrz konstrukcji nośnej przenośnika taśmowego. Kompaktowość rozwiązania tworzy pompa (wraz z zaworem przelewowym), umieszczona w zbiorniku oleju. Napęd wału pompy zrealizowano za pomocą przekładni pasowej, sprzężonej poprzez koła toczne z bębnum wysypowym wysięgnika, co umożliwia łagodny jej rozruch w trakcie uruchamiania przenośnika. Wysięgnik przenośnika taśmowego wraz z bębnum wysypowym pokazano na rysunku 1.



Rys. 1. Wysięgnik przenośnika taśmowego [4]

Do wyznaczenia podstawowych parametrów agregatu hydraulicznego, przyjęto:

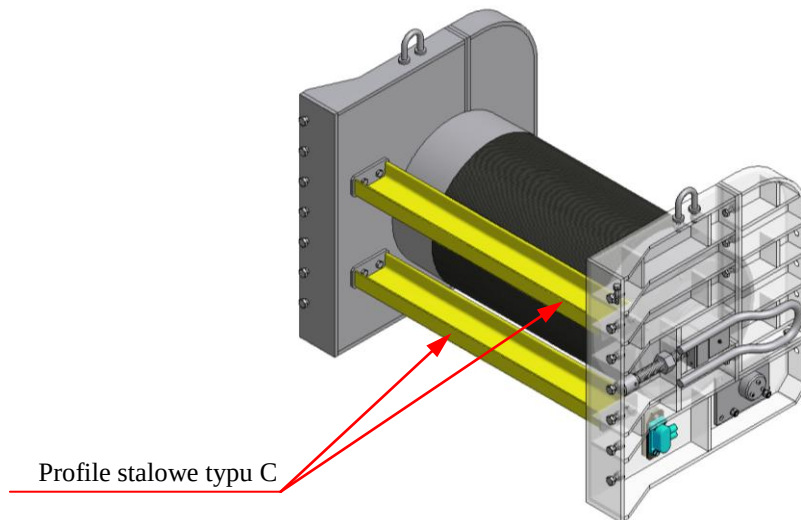
- napęd przekazywany z bębna wysypowego, którego średnica wynosi 600 mm [4],
- wymagane ciśnienie oleju hydraulicznego $p = 7 \text{ MPa}$ (70 bar) [4],
- wymagany wydatek oleju hydraulicznego $Q = 5 \text{ dm}^3/\text{min}$ [2],
- olej hydrauliczny HLP-46 lub HLP-68,
- prędkość taśmy od 2 do 2,5 m/s [6].

W konstrukcji agregatu zaproponowano pompę zębatą o zwartej budowie. Cechą charakterystyczną wybranej pompy jest jej praca tylko w jednym kierunku obrotów. Jednak przy założeniu, że przenośnik pracuje zawsze w jednym kierunku, takie rozwiązanie nie powinno stwarzać problemu technicznego.

Aplikacja w układzie pompy zębatej wymusiła zastosowanie przekładni multiplikującej prędkość obrotową wału pompy. Ze względu na charakter pracy agregatu, którego napęd jest generowany przez zespół bębna wysypowego, zdecydowano się na wybór przekładni pasowej. Pozwala to, dzięki niewielkiemu poślizgowi paska, uniknąć dynamicznego obciążania pompy podczas rozruchu. Poza tym, przekładnia pasowa jest prosta w wykonaniu, a co za tym idzie, tania w zakupie i eksploatacji.

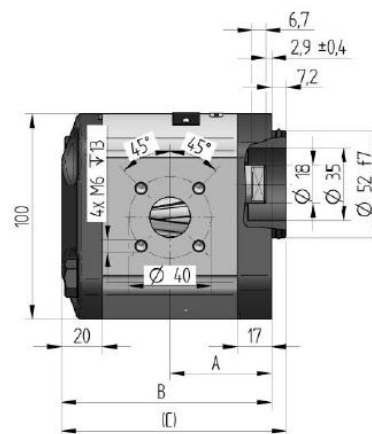
Usytuowanie agregatu pompowego przewidziano między dwoma profilami stalowymi typu C, będącymi elementami konstrukcji wsporczej bębna wysypowego (rys. 2). Dodatkowo,

usytuowanie agregatu pomiędzy wspomnianymi profilami, stanowić będzie osłonę zabezpieczającą przed uszkodzeniami mechanicznymi.



Rys. 2. Konstrukcja wsporcza bębna wysypowego [4]

Z uwagi na fakt, że prędkość obrotowa wału pompy jest bliska minimalnej, co może być powodem mniejszej sprawności wolumetrycznej pompy, a tym samym mniejszej jej wydajności, zaproponowano pompę zębatą o lekkim korpusie aluminiowym i objętości geometrycznej nieco większej od obliczeniowej. Zastosowana pompa (z kołami o zazębieniu skośnym) charakteryzuje się niewielkimi wymiarami zewnętrznymi oraz wałkiem napędowym zakończonym płetwą, umożliwiającą połączenie jej z kołem napędowym, prostym sprzęgłem krzyżowym. Na rysunku 3 przedstawiono pompę zastosowaną w agregacie.



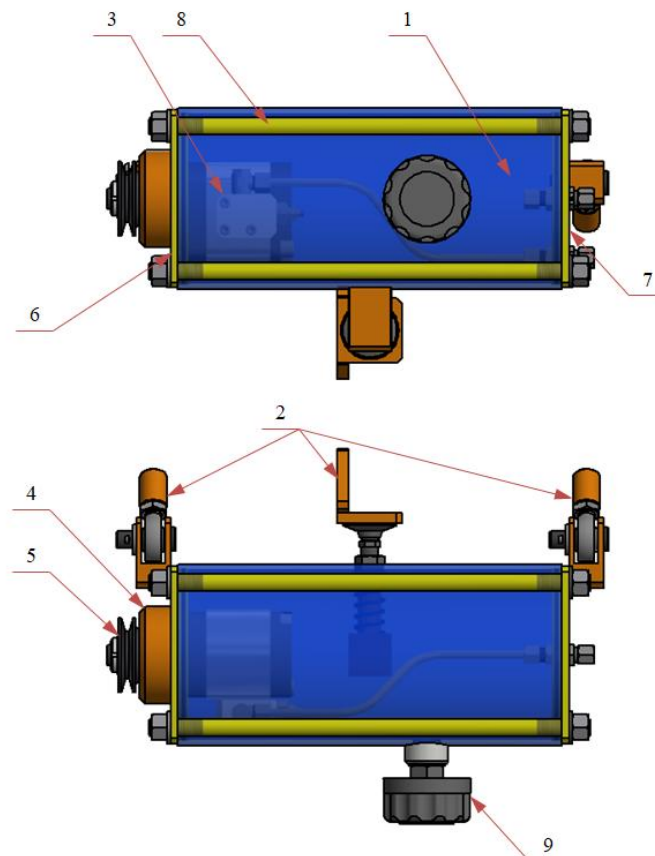
Rys. 3. Widok pompy zastosowanej w agregacie [7]

Kompaktowa budowa pompy umożliwi jej zabudowę w niewielkim odcinku rury stalowej, będącej jednocześnie zbiornikiem hydraulicznym agregatu. Rurę zbiornikową zamknięto z dwóch stron pokrywami stalowymi. Do jednej z nich zamocowano pompę, której wał połączono za pomocą sprzęgła z wałem koła pasowego. Wał koła pasowego ułożyskowano za pomocą skośnego, podwójnego łożyska kulkowego. Pokrywę zbiornika wyposażono w napinacz paska klinowego, współpracującego z kołami pasowymi. W drugiej pokrywie zbiornika zabudowano dwie złączki grodziowe – jedną do podłączenia kanału ciśnieniowego, natomiast drugą do kanału zlewowego. Kanał ciśnieniowy połączono z pompą przewodem

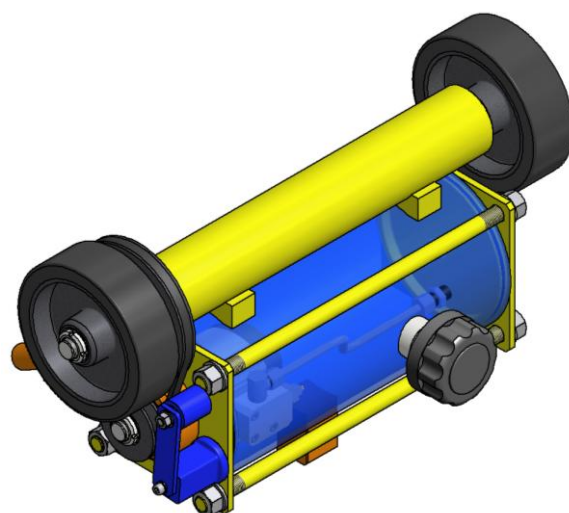
giętkim tak, by można było swobodnie połączyć ze sobą obie pokrywy zbiornika i tak, by w razie konieczności, można było montować pompę z prawym jak i lewym kierunkiem obrotów. Obie pokrywy połączono ze sobą, poprzez rurę zbiornikową, za pomocą czterech śrub szpilkowych.

Przyłącze ciśnieniowe pompy zaprojektowano jako wykonanie specjalne, z zabudowanym zaworem przelewowym. W przyłączy przewidziano możliwość zabezpieczenia pompy (w przypadku krótkotrwałej pracy przenośnika w przeciwnym kierunku) poprzez zamontowanie w kanale ciśnieniowym zaworu zwrotnego, umożliwiającego „podsysanie” pompy. Rurę zbiornika zaopatrzono w korek odpowietrzający z bagnetem, co umożliwi okresową kontrolę poziomu oleju. Do rury przyspawano również zespół docisku agregatu do bębna wysypowego przenośnika taśmowego. Złożony będzie on ze sprężynowego zespołu wychyłu oraz dwóch tulei z regulowaną wysokością.

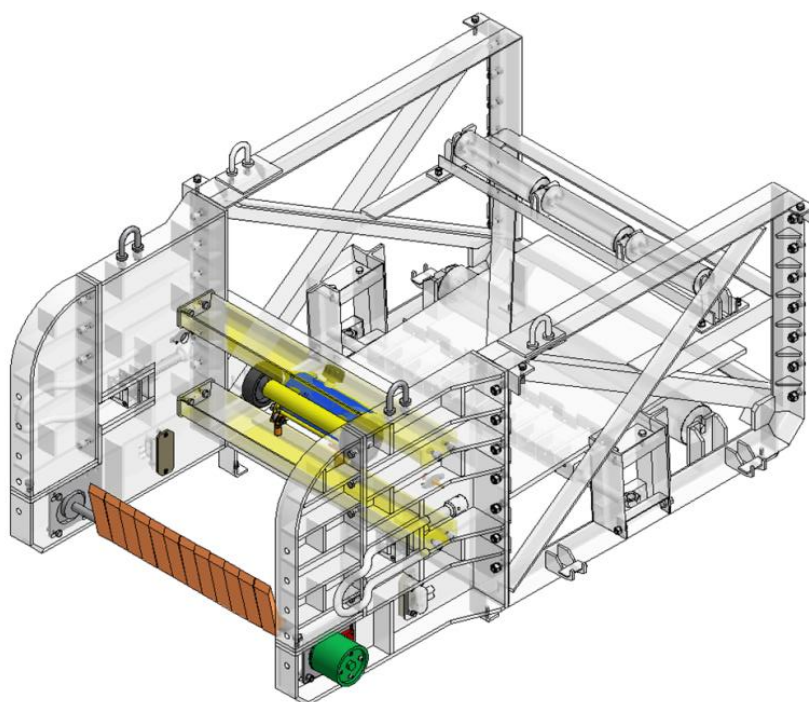
Kolejnym zespołem mocowanym do rury zbiornika oleju jest rura łożyskowania wału napędowego. Wał zaopatrzono w dwa koła napędowe, dociskane do bębna wysypowego przenośnika taśmowego. Ze względu na swą długość, wał ułożyskowano za pomocą dwóch łożysk kulkowych. Na rysunku 4 pokazano model 3D zespołu zbiornika oleju. Model 3D agregatu hydraulicznego pokazano na rysunku 5, natomiast rysunek 6 przedstawia zabudowę agregatu w konstrukcji przenośnika taśmowego.



Rys. 4. Zespół zbiornika – model 3D [9]
 1-rura zbiornika, 2-zespół docisku, 3-pompa, 4-tuleja łożyskowa, 5-koło pasowe,
 6 i 7-pokrywa, 8-śruba szpilkowa, 9-odpowietznik



Rys. 2. Agregat hydrauliczny – model 3D [9]



Rys. 3. Zabudowa agregatu w konstrukcji przenośnika taśmowego – model 3D
– widok izometryczny bez bębna wysypowego [9]

3. Podsumowanie

W opracowaniu przedstawiono koncepcję agregatu hydraulicznego, przeznaczonego do zasilania napędu taśmowego urządzenia czyszczącego, które jest urządzeniem pomocniczym głównych przenośników taśmowych, a jego zasadniczą funkcją jest przejmowanie osadu będącego wynikiem pracy układu czyszczenia taśmy przenośnika głównego i załadunek go na przenośnik odstawczy.

Agregat hydrauliczny jest urządzeniem kompaktowym, umieszczonym wewnątrz konstrukcji nośnej przenośnika taśmowego. Pompę wraz z zaworem przelewowym umieszczono w zbiorniku oleju, co pozwoli na wyeliminowanie dodatkowych przewodów hydraulicznych. Jedynymi, zewnętrznymi przewodami hydraulicznymi agregatu będą: przewód tłoczny – zasilający silnik hydrauliczny, napędzający urządzenie czyszczące oraz przewód ssący.

Napęd wału pompy hydraulicznej zrealizowano za pomocą przekładni pasowej, sprzężonej poprzez koła toczne z bębniem wysypowym. Takie rozwiązanie umożliwi łagodny rozruch pompy w trakcie uruchamiania przenośnika. Oczywiście, przekładnia pasowa może być podatna na zanieczyszczenia, które będą miały wpływ na jej sprawność. Niemniej, zasadność zastosowania osłony przekładni będzie potwierdzona przeprowadzonymi w przyszłości badaniami urządzenia (w warunkach kopalni węgla kamiennego).

Ze względu na trudny dostęp do agregatu hydraulicznego zabudowanego wewnątrz konstrukcji przenośnika taśmowego założono, że na konstrukcji wsporczej przenośnika powinien zostać zamocowany pulpit, na którym umieszczony zostanie rozdzielacz sterujący pracą urządzenia czyszczącego, filtr ssący oraz niewielka chłodnica oleju, przewietrzana strumieniem powietrza przepływającego przez wyrobisko.

Literatura

- [1] Antoniak J.: Urządzenia i systemy transportu podziemnego w kopalniach. Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1990.
- [2] Dobrzaniecki P. i inni: Dobór parametrów technicznych przekładni bezstopniowej ITG KOMAG, 2017 (materiały niepublikowane).
- [3] Dobrzaniecki P. i inni: Koncepcja zespołu napędowego z płynną regulacją prędkości obrotowej, przeznaczonego do napędu taśmowego urządzenia czyszczącego. ITG KOMAG, 2017 (materiały niepublikowane).
- [4] Dokumentacja Techniczna: Przenośnik taśmowy węglowy ZANAM-Legmet 1000, ITG KOMAG, 2009.
- [5] <https://www.boschrexroth.com/pl/pl/> (20.05.2019).
- [6] <http://www.czek.eu/MiUG%20strona/gorni34.htm> (20-05-2019).
- [7] <http://www.jihostroj.com/> (17.05.2019).
- [8] <http://www.wnp.pl/wiadomosci/popularnosc-i-zastosowanie-przenosnikow,203201.html> (17-05-2019).
- [9] Nieśpiałowski K. i inni: Koncepcja agregatu hydraulicznego, przeznaczonego do zasilania napędu taśmowego urządzenia czyszczącego TUC-1.2/H. ITG KOMAG, 2017 (materiały niepublikowane).

dr inż. Krzysztof Nieśpiałowski
kniespialowski@komag.eu

Instytut Techniki Górniczej KOMAG
ul. Pszczyńska 37, 44-101 Gliwice