

MASZYNY GÓRNICZE

4/2019

KWARTALNIK NAUKOWO-TECHNICZNY



MASZYNY GÓRNICZE

MINING MACHINES

4(160)2019

Kwartalnik naukowo-techniczny
Rok XXXVII, grudzień 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 Grynkiewicz-Bylina
prof. ITG KOMAG

prof. dr hab. inż. Aleksander Lutyński

dr hab. inż. Stanisław Szweda

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

Kończy się rok 2019. Środowisko górnicze liczy, że nadchodzący czas przyniesie korzystne zmiany. Rząd RP potwierdził, iż węgiel, jako źródło energii, w najbliższych latach nadal będzie jednym z podstawowych elementów bezpieczeństwa energetycznego kraju, a Ministerstwo Aktywów Państwowych pracuje nad nową Polityką energetyczną Polski - dokumentem przedstawiającym długoterminową strategię rządu w sektorze energetycznym.

Równolegle trwają prace nad Krajowym planem na rzecz energii i klimatu na lata 2021-2030. Opracowywany w ramach obowiązku nałożonego na państwa członkowskie UE dokument będzie przedstawiał działania Polski podejmowane na rzecz realizacji pięciu wymiarów unii energetycznej, tj. bezpieczeństwa energetycznego, dekarbonizacji gospodarki, efektywności energetycznej, zintegrowanego rynku energii oraz innowacyjności. Podkreślona w obu wspomnianych wcześniej dokumentach - innowacyjność jest kluczem do rozwoju polskiej gospodarki, dlatego też szczególnego znaczenia nabierają prace zmierzające do poszukiwania nowych, innowacyjnych rozwiązań, stwarzających szanse by sektor górniczy był bardziej nowoczesny i konkurencyjny. W niniejszym numerze Maszyn Górniczych prezentujemy zatem wyniki wybranych prac naukowo-badawczych charakteryzujących się innowacyjnością rozwiązań.

Drodzy Czytelnicy, cztery lata temu Wydawnictwo podjęło decyzję o pełno tekstowym udostępnianiu naszego czasopisma w ramach programu Open Access. Czas na kolejne zmiany - następnym naszym celem jest nie tylko podniesienie poziomu naukowego oraz poziomu umiędzynarodowienia czasopisma, lecz także rozpowszechnienie poza granicami naszego kraju informacji o wynikach badań naukowych i prac rozwojowych tematycznie związanych z górnictwem, w tym o innowacjach z tej dziedziny.

Od 2020 roku zmieniamy nazwę czasopisma na MINING MACHINES, a artykuły dostępne w naszym kwartalniku publikowane będą tylko w języku angielskim (jedynie z polskim streszczeniem). Sądzymy, iż wydawanie naszego czasopisma w anglojęzycznej wersji przyczyni się do szerszego rozpowszechniania dorobku naukowego i osiągnięć technicznych z różnych obszarów m.in.: inżynierii mechanicznej, górnictwa oraz automatyzacji.

Zachęcając do lektury niniejszego numeru kwartalnika, w imieniu zespołu redakcyjnego życzymy wszystkim naszym Czytelnikom i Współpracownikom wiele radości, optymizmu oraz satysfakcji z osiągniętych celów w Nadchodzącym Roku 2020.

Redakcja Naukowa
Kwartalnika „Maszyny Górnicze”

PROJEKTOWANIE I BADANIA

Wiśniewski G., Macierzyński D., Habrych M.,
Miedziński B.: Problemy pomiarów
odkształconych przebiegów prądowych
przy zastosowaniu dostępnych na rynku
przekładników i przetworników prądowo-
napięciowych 3

TRANSPORT I ODTAWA

Dobrzaniecki P.: Urządzenia małej
mechanizacji - przewijarka do kabli i lin
KUP-01 15

**SYSTEMY STEROWANIA,
MONITORINGU I DIAGNOSTYKI**

Rajwa S., Lubosik Z., Płonka M.:
Bezpieczeństwo eksploatacji ścian
zawałowych w świetle danych
z systemów monitoringu 24

Trawiński T., Szczygiel M., Deja P., Polnik B.:
Akumulatorowy układ zasilania urządzenia
wiercącego realizowanego w ramach
projektu INDIRES 35

NAPĘDY I UKŁADY NAPĘDOWE

Nieśpiałowski K., Wójcicki M.: Agregaty
konstrukcji KOMAG przeznaczone do
chłodzenia silników elektrycznych dużych
mocy 45

URZĄDZENIA WIERTNICZE

Janas S., Kalita M., Szkudlarek Z.: Drążenie
pomocniczych tuneli ratowniczych 53

DESIGNING AND TESTING

Wiśniewski G., Macierzyński D., Habrych M.,
Miedziński B.: Problems of measuring
distorted currents using commercially
available current transformers and current-
voltage transducers 3

**TRANSPORT AND CONVEYING
SYSTEM**

Dobrzaniecki P.: Devices of small
mechanization - KUP-01 cable and rope
rewinder 15

**SYSTEMS FOR CONTROL,
MONITORING AND DIAGNOSTICS**

Rajwa S., Lubosik Z., Płonka M.: Safety of
longwall mining with caving in the light
of data from monitoring system 24

Trawiński T., Szczygiel M., Deja P., Polnik B.:
Battery power supply system for the drilling
device developed as part of the INDIRES
project 35

DRIVERS AND DRIVE SYSTEMS

Nieśpiałowski K., Wójcicki M.: Cooling
devices designed by KOMAG intended
for cooling the high-power electric motors .. 45

DRILLING MACHINES

Janas S., Kalita M., Szkudlarek Z.: Driving
the auxiliary rescue tunnels 53

Problemy pomiarów odkształconych przebiegów prądowych przy zastosowaniu dostępnych na rynku przekładników i przetworników prądowo-napięciowych

Grzegorz Wiśniewski
Dariusz Macierzyński
Marcin Habrych
Bogdan Miedziński

Problems of measuring distorted currents using commercially available current transformers and current-voltage transducers

Streszczenie:

W artykule przedstawiono porównawcze wyniki badań właściwości metrologicznych wybranych, dostępnych na rynku przekładników i przetworników prądowych. Sformułowano odpowiednie wnioski odnośnie do ich przydatności w układach pomiarowych prądów o stosunkowo małych wartościach (od 1 A do 30 A) ale o częstotliwości zmieniającej się w zakresie od 10 Hz do 550 Hz.

Słowa kluczowe: górnicze sieci elektroenergetyczne, przetworniki prądowo-napięciowe, przekładniki prądowe, błędy prądowe, błędy kątowe

Keywords: mining power networks, current-voltage converters, current transformers, current errors, angle errors

Abstract:

The article presents comparative results of metrological properties of selected current transformers and current-voltage transducers available on the market. Appropriate conclusions were formulated regarding their usefulness in current measuring systems with relatively small values (from 1 A to 30 A) but with a frequency varying from 10 Hz to 550 Hz.

1. Wprowadzenie

Jest sprawą znaną, że coraz powszechniejsze stosowanie przekształtników energoelektronicznych powoduje wzrost zakłóceń w sieciach zasilających z uwagi na znaczną zawartość wyższych harmonicznych, zwłaszcza prądu [1-4]. Zakres i wielkość wprowadzanych zakłóceń (odkształceń przebiegów napięciowych i prądowych) zależy zarówno od zasady działania zastosowanego przekształtnika (napięciowy, prądowy) jak i sposobu jego sterowania (sterowanie skalarne z liniową $U/f=\text{const}$ lub kwadratową $U/f^2=\text{const}$ charakterystyką czy sterowanie wektorowe np. DTC). Duży wpływ ma również charakter i zakres zmiany obciążenia zasilanego nieliniowego odbiornika energii elektrycznej. W przemiennikach częstotliwości stosowanych do zasilania silników elektrycznych z regulacją ich prędkości obrotowej największe odkształcenie przebiegów, zwłaszcza prądowych, występuje na wejściu przemiennika od strony jego zasilania z transformatora. Na wyjściu bowiem występuje „wygładzanie” tych przebiegów z uwagi na znaczne wartości indukcyjności (stała czasowa) silnika [4].

Dokładna znajomość zawartości wyższych harmonicznych w przebiegach analizowanych wielkości fizycznych pozwala na wiarygodną ocenę ich wpływu na efektywność pracy maszyn i urządzeń elektrycznych, a także ma kluczowe znaczenie w ich diagnostyce [5, 6]. Dotyczy to zwłaszcza oceny wpływu odkształconych przebiegów prądów i napięć na straty dodatkowe w maszynach i urządzeniach elektrycznych a także na pojawianie się pasożytniczych momentów elektromagnetycznych w silnikach elektrycznych. Generowane

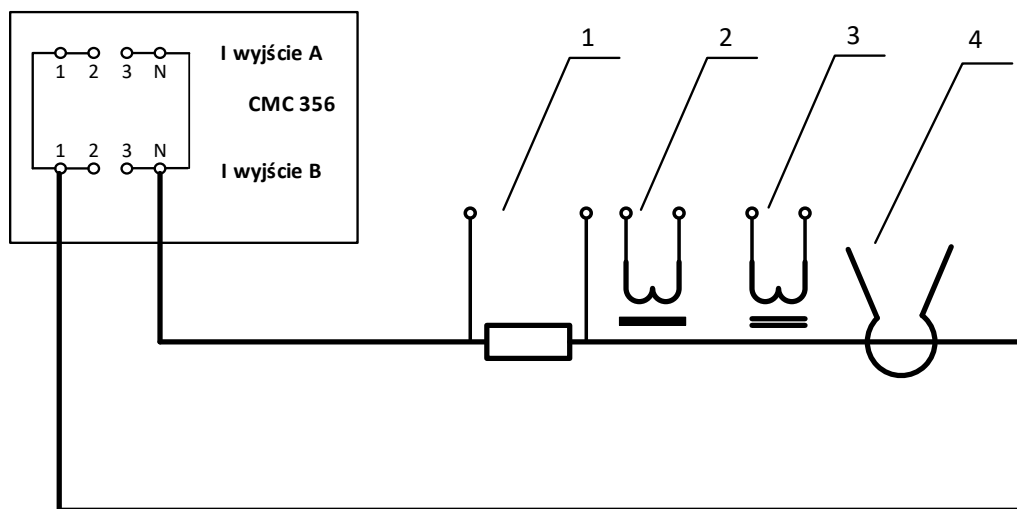
bowiem dodatkowe momenty pasożytnicze oddziałują negatywnie na dynamikę pracy całego układu napędowego [1].

2. Sposób i zakres pomiarów

W celu określenia przydatności, dostępnych na rynku przekładników prądowych i przetworników prądowo-napięciowych, do pomiarów odkształconych przebiegów prądowych, przeprowadzono odpowiednie badania porównawcze dla sinusoidalnych przebiegów pierwotnych prądowych o małej wartości skutecznej od 1 A do 30 A i częstotliwości w zakresie od 10 Hz do 550 Hz. Do badań wybrano:

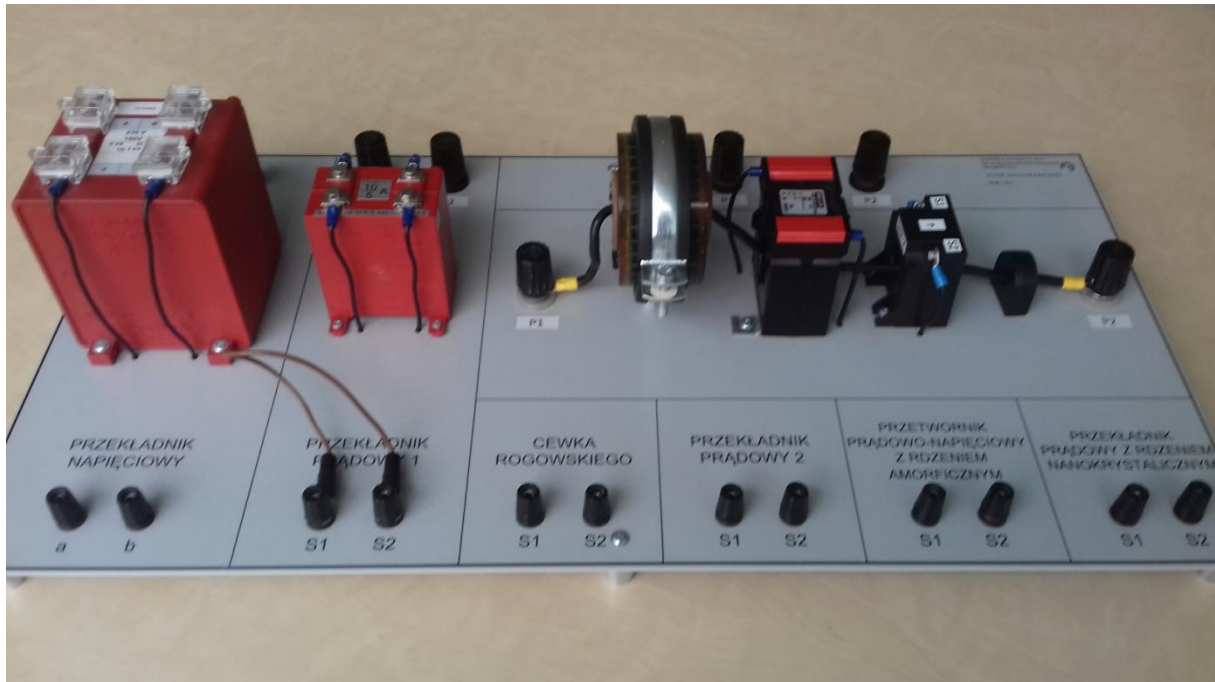
- klasyczny rdzeniowy przekładnik prądowy firmy Lumel o przekładni 200/5 A/A, kl.1 i mocy znamionowej 10 VA,
- przetwornik prądowo-napięciowy z rdzeniem nanokrystalicznym (typ VAZ 4626X10),
- przetwornik z rdzeniem dzielonym (nakładanym) z czujnikiem Halla (typ KEW8112, 200mA-20A).

Przekładnik firmy Lumel został obciążony mocą znamionową (10 VA) poprzez włączenie do zacisków wtórnych tego przekładnika rezystora o wartości rezystancji $R_b = 0,4 \Omega$.



Rys. 1. Schemat układu pomiarowego do badań porównawczych błędów prądowych i kątowych przekładników/przetworników; 1-opór normalny $R_N = 0,05 \Omega$, 2-przekładnik prądowy rdzeniowy, 3-przetwornik z rdzeniem nanokrystalicznym, 4-przetwornik z nakładanym rdzeniem z czujnikiem Halla; CMC-356 mikroprocesorowy symulator sygnałów prądowych

Pomiary porównawcze wykonano w układzie jak na rysunku 1, łącząc szeregowo obwody pierwotne wszystkich przekładników/przetworników w celu wymuszenia takiej samej wartości i kształtu wzorcowego prądu pierwotnego (rys. 2).



Rys. 2. Widok układu wybranych przekładników/przetworników do badań porównawczych

Na podstawie uzyskanych wyników pomiarów określano błędy prądowe i kątowe w zależności od wartości prądu pierwotnego i jego częstotliwości. Znamionowe błędy prądowe DI badanego przetwornika obliczano (PN-EN 61869-2:2013-06 Przekładniki – Część 2: Wymagania szczegółowe dotyczące przekładników prądowych) [7, 8], zgodnie z zależnością (1):

$$DI = \frac{I_{wy} - I_{we}}{I_{we}} \cdot 100 \% \quad (1)$$

w której:

- I_{wy} – wartość skuteczna sygnału prądowego po przeliczeniu na stronę pierwotną, A,
- I_{we} – wartość skuteczna wymuszanego prądu, nastawiona w symulatorze, A.

Błąd kątowy (rozumiany jako różnica wskazowa prądów) określano porównując przebiegi prądów/napięć w obwodach wtórnych badanych przekładników/przetworników z przebiegiem spadku napięcia na oporze normalnym ($R_N = 0,05 \Omega$), proporcjonalnym do wymuszanego prądu pierwotnego. Jest on dodatni, gdy prąd pierwotny wyprzedza prąd wtórny.

Norma (PN-EN 61869-2:2013-06) [7, 8] definiuje następujące klasy dokładności: 0,1; 0,2; 0,5; 1; 3. Liczby definiujące klasę określają wartość maksymalnego błędu dopuszczalną dla danej klasy. Przykładowe błędy dopuszczalne w niektórych klasach przedstawiono w tabeli 1.

**Przykładowe dopuszczalne obowiązującą normą PN-EN 61869-2:2013-06 błędy pomiarowe
przekładników rdzeniowych**

Tabela 1

Klasa dokładności	Graniczny procentowy błąd prądowy (przekładni) przy podanych poniżej procentowych wartościach prądu znamionowego, + lub -					Graniczny błąd kątowy (w minutach) przy podanych poniżej procentowych wartościach prądu znamionowego, + lub -				
	1%	5%	20%	100%	120%	1%	5%	20%	100%	120%
0,2	-	0,75	0,35	0,2	0,2	-	30	15	10	10
0,5	-	1,5	0,75	0,5	0,5	-	90	45	30	30
1	-	3	1,5	1	1	-	180	90	60	60
0,2S	0,75	0,35	0,2	0,2	0,2	30	15	10	10	10
0,5S	1,5	0,75	0,5	0,5	0,5	90	45	30	30	30

Oprócz powyższych, w normie (PN-EN 61869-2:2013-06) definiowany jest także współczynnik bezpieczeństwa przyrządów FS. Jest to stosunek prądu strony pierwotnej bezpiecznego dla urządzeń I_{PL} do prądu znamionowego strony pierwotnej I_{pr} . Przy obliczaniu tego współczynnika, założono, że przekładnik jest obciążony mocą znamionową. Przez prąd pierwotny bezpieczny I_{PL} rozumiemy wartość skuteczną prądu pierwotnego, przy którym błąd całkowity przekładnika jest równy lub większy 10%. Współczynnik FS jest bardzo ważny dla projektowania układów pomiarowych do urządzeń zabezpieczeniowych. Można przyjąć, że wraz z dowolnym wzrostem prądu pierwotnego wartość prądu strony wtórnej nie przekroczy $2 \times I_{sn}$ (przez I_{sn} rozumie się znamionowy prąd strony wtórnej przekładnika). Wynika to z nasycenia rdzenia i ograniczenia zdolności przekładników rdzeniowych do transformacji prądów zwarciovych:

$$FS = \frac{I_{PL}}{I_{pr}} \quad (2)$$

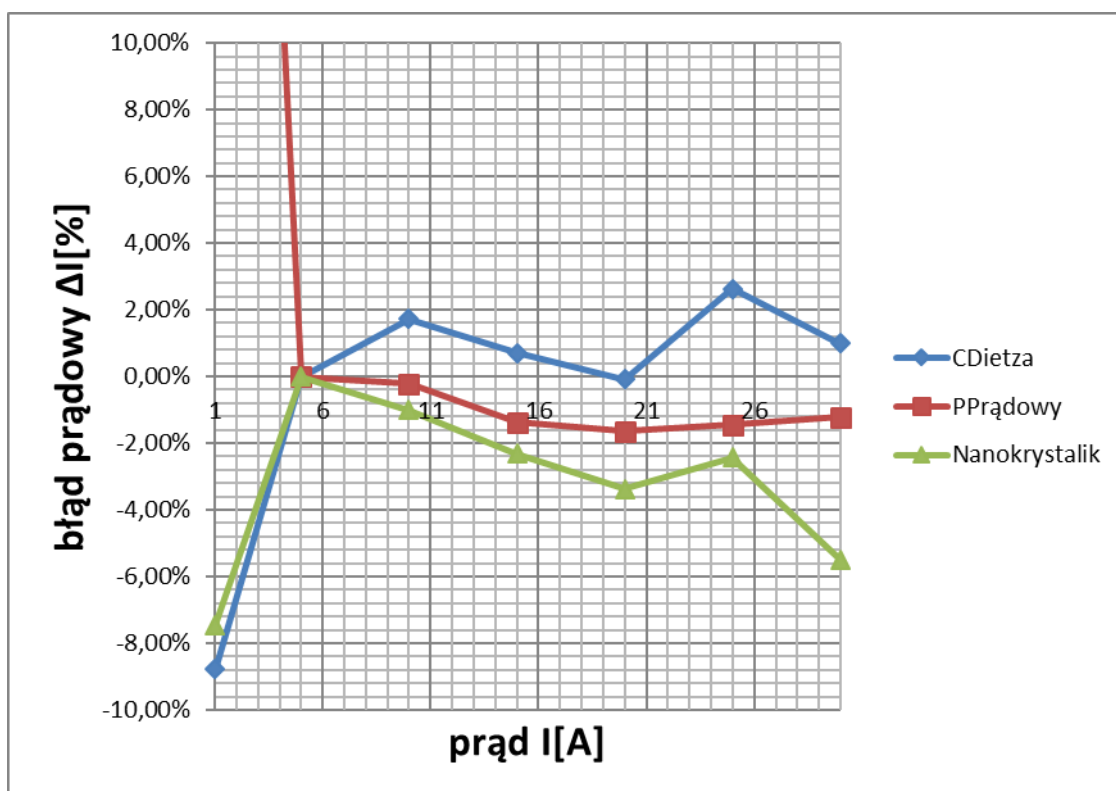
gdzie:

- FS - współczynnik bezpieczeństwa,
- I_{PL} - prąd strony pierwotnej bezpieczny dla urządzeń,
- I_{pr} - prąd znamionowy strony pierwotnej.

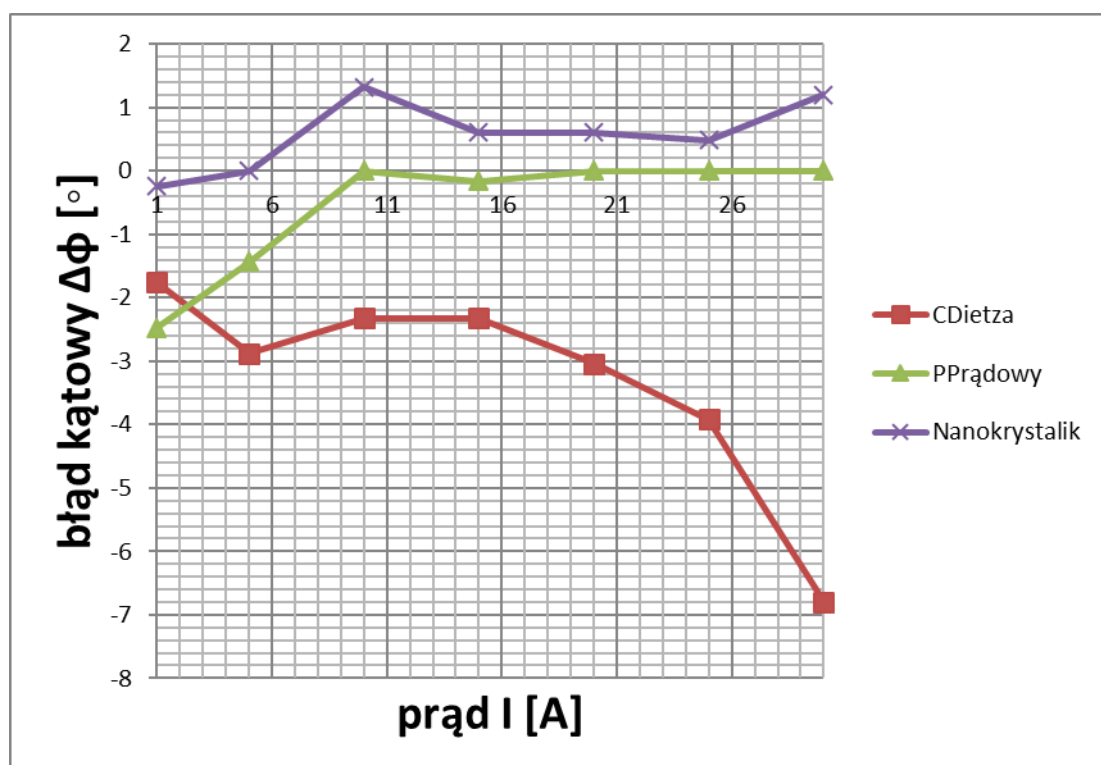
3. Wyniki pomiarów

Biorąc pod uwagę potrzebę opracowania innowacyjnego przetwornika prądowo-napięciowego głównie do zastosowań w układach zabezpieczeń i diagnostyki pracy górniczych sieci elektroenergetycznych analizę uzyskanych danych wykonano dla klasy dokładności 1 (tablica 1). Szczególną uwagę zwrócono na wiarygodność pomiaru (błąd prądowy i kątowy) dla małych wartości prądu pierwotnego (dla badanego przekładnika prądowego w granicach od 0,4% do 12% znamionowego prądu) przy zmiennej jego częstotliwości, z uwagi na pożądaną przydatność do wykrywania i oceny wpływu harmonicznych w warunkach odkształceń mierzonych przebiegów prądowych. Pomierzone zależności wartości błędu prądowego ΔI oraz kątowego $\Delta \phi$ od wartości skutecznej mierzonego prądu dla jego częstotliwości mniejszej/równej 50 Hz pokazano na

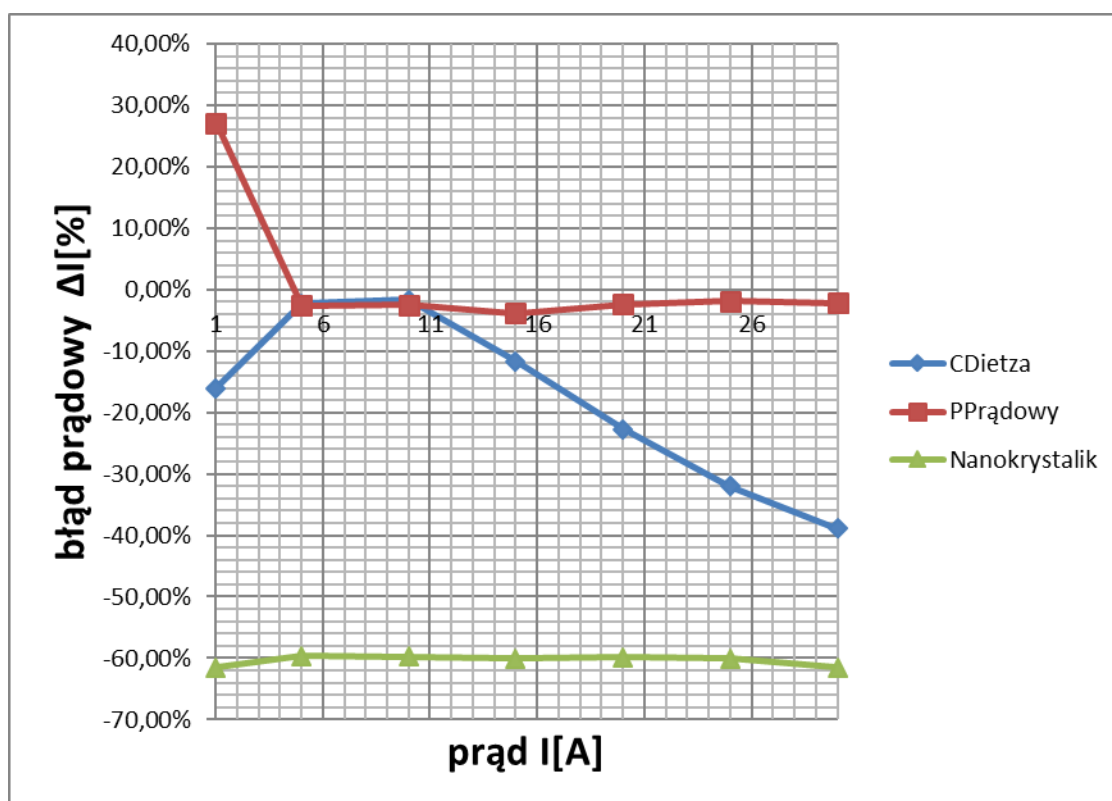
rysunkach 3÷8 (na rysunkach oznaczenie CDietza dotyczy przetwornika z rdzeniem dzielonym z czujnikiem Halla). Wynika z nich różna zależność dla badanych przetworników, z tym, że największe wartości błędów prądowych można zaobserwować we wszystkich przypadkach dla prądów mniejszych od 5 A (tj. 2% prądu pierwotnego dla przekładnika rdzeniowego). Największy błąd kątowy jest natomiast wprowadzany przez przetwornik z nakładanym rdzeniem dzielonym z czujnikiem Halla. Rośnie on ze wzrostem wartości mierzonego prądu i ze zmniejszaniem się jego częstotliwości.



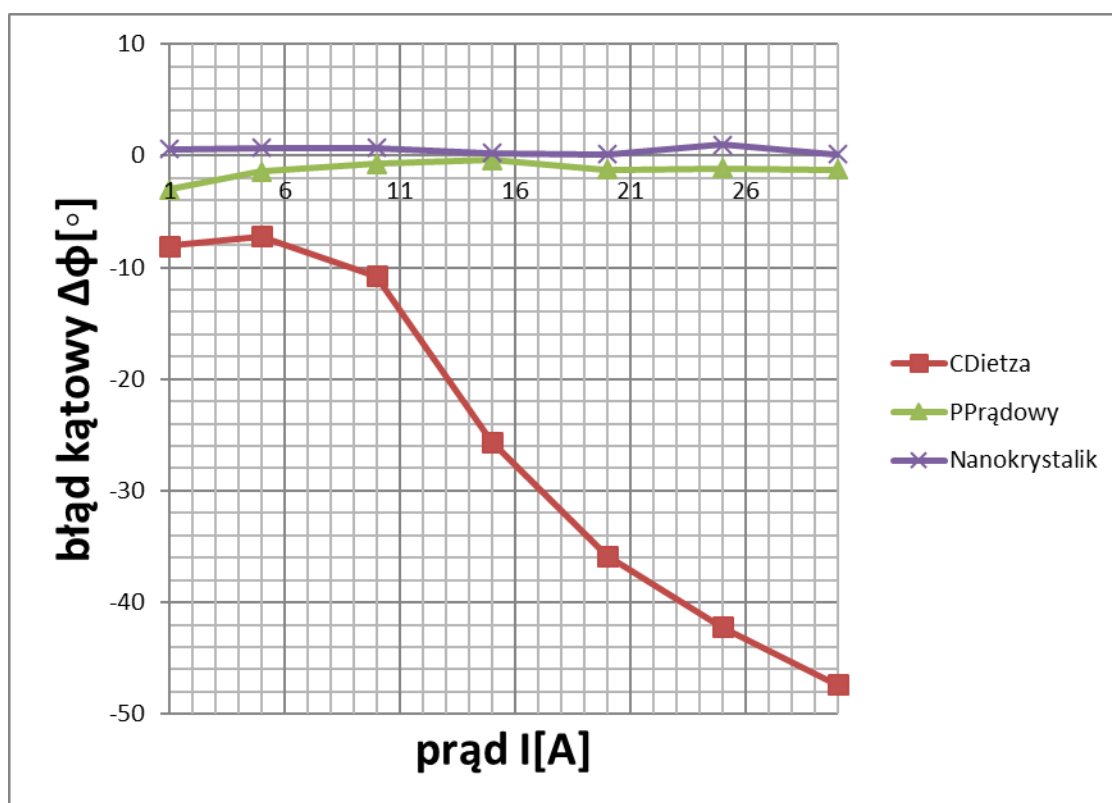
Rys. 3. Błąd prądowy w funkcji zmiany wartości prądu pierwotnego dla częstotliwości $f=50$ Hz



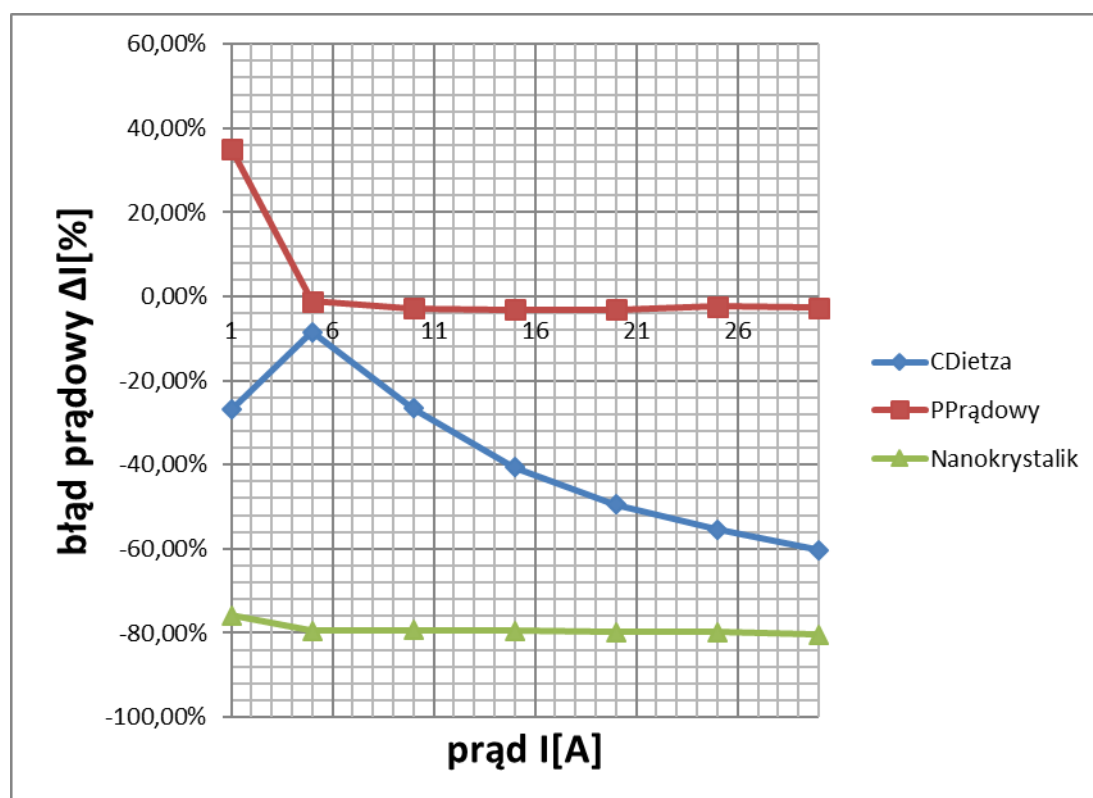
Rys. 4. Błąd kątowy w funkcji zmiany wartości prądu pierwotnego dla częstotliwości $f=50$ Hz



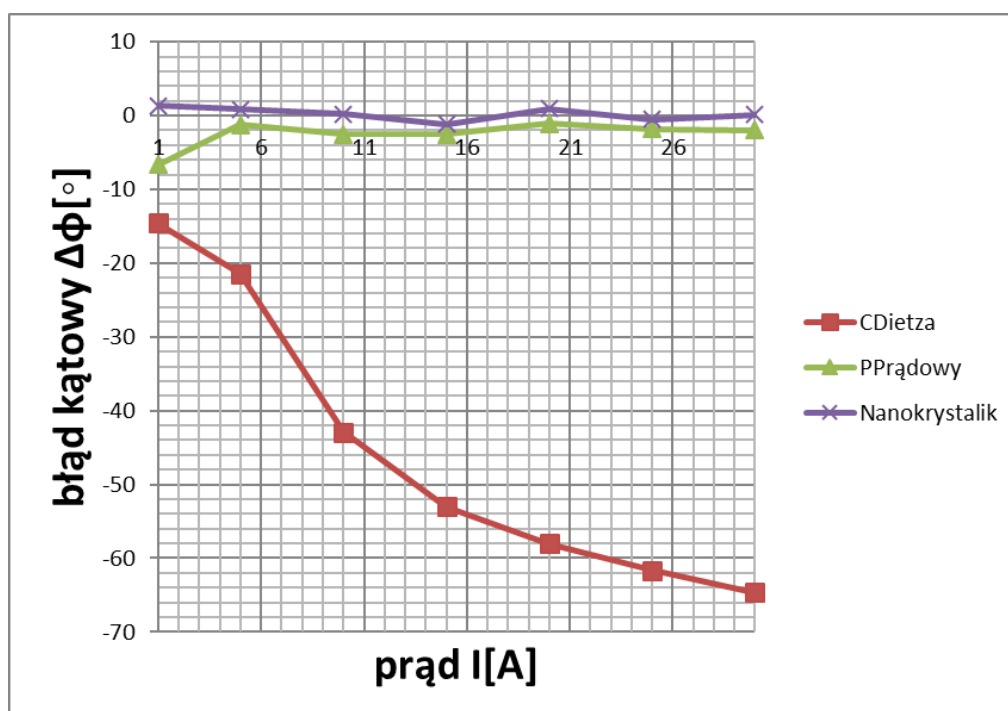
Rys. 5. Błąd prądowy w funkcji zmiany wartości prądu pierwotnego dla częstotliwości $f=20$ Hz



Rys. 6. Błąd kątowy w funkcji zmiany wartości prądu pierwotnego dla częstotliwości $f=20$ Hz

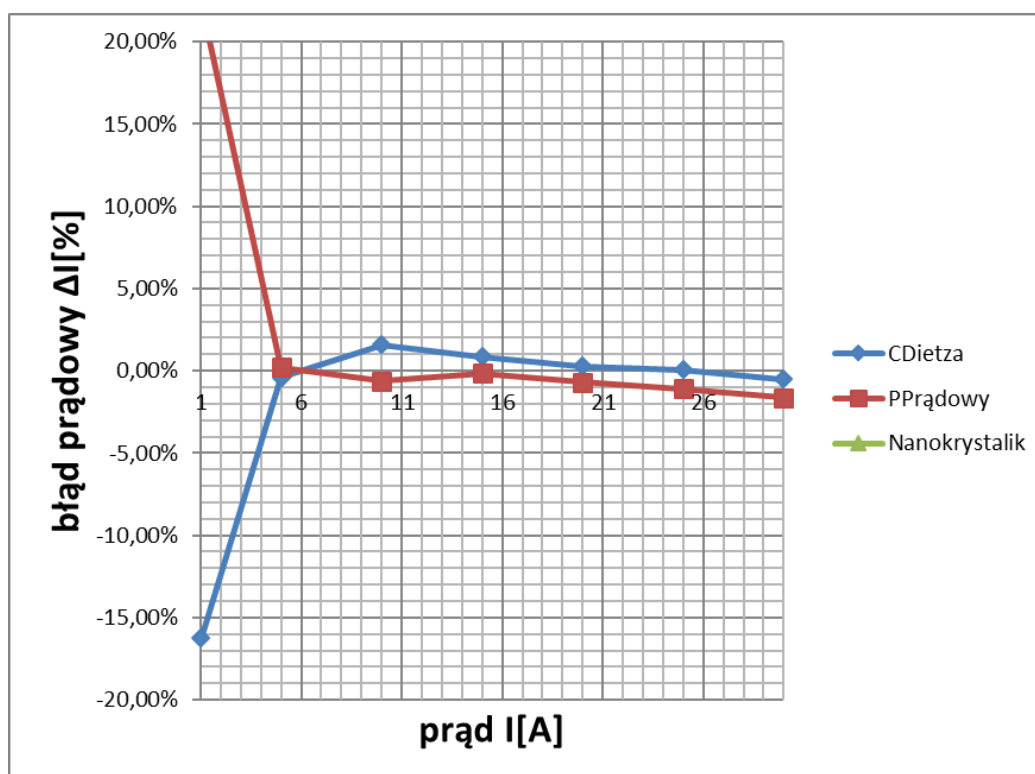


Rys. 7. Błąd prądowy w funkcji zmiany wartości prądu pierwotnego dla częstotliwości $f=10$ Hz

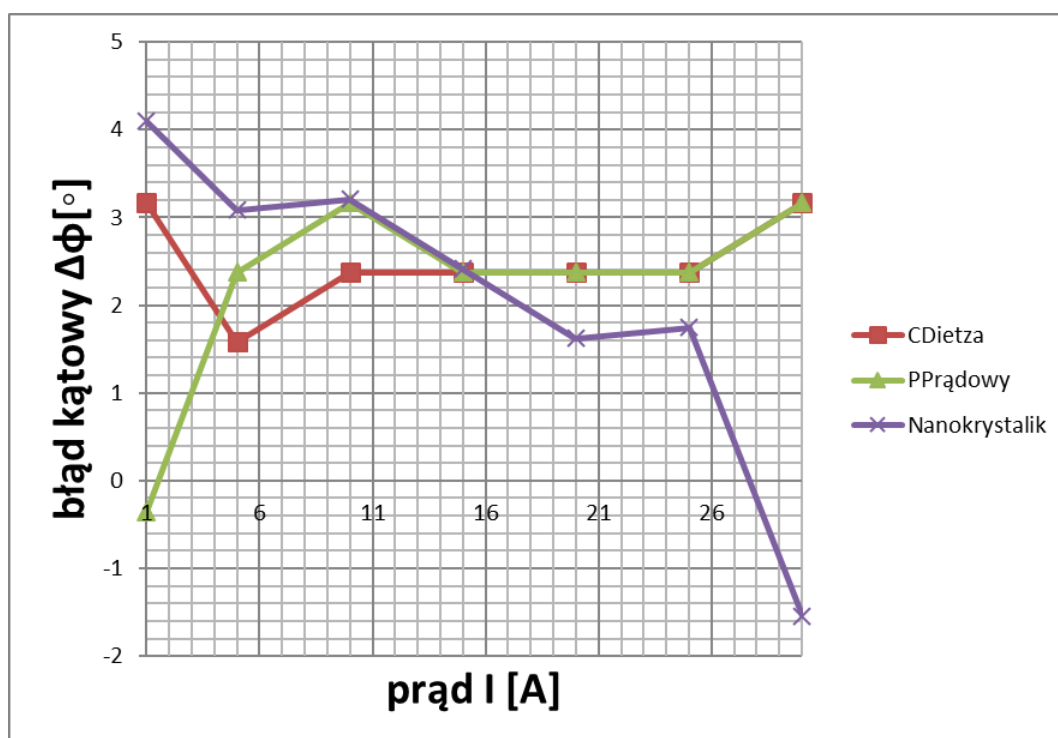


Rys. 8. Błąd kątowy w funkcji zmiany wartości prądu pierwotnego dla częstotliwości $f=10$ Hz

Ze wzrostem zaś częstotliwości (powyżej 50 Hz) największe błędy prądowe są również dla najmniejszych wartości prądu mierzonego i maleją poniżej błędów granicznych ze wzrostem prądu, co dla ilustracji pokazano na rysunku 9 dla częstotliwości 550 Hz. Rosną jednak wartości błędów kątowych (rys. 10).

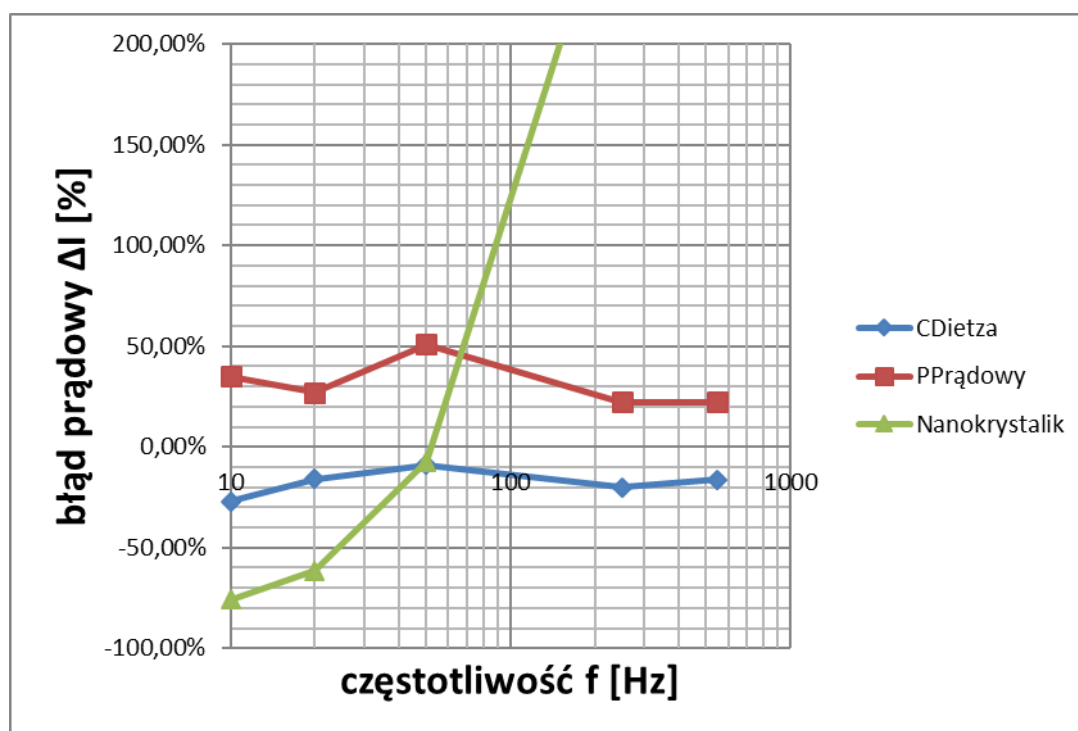


Rys. 9. Błąd prądowy w funkcji zmiany wartości prądu dla $f=550$ Hz

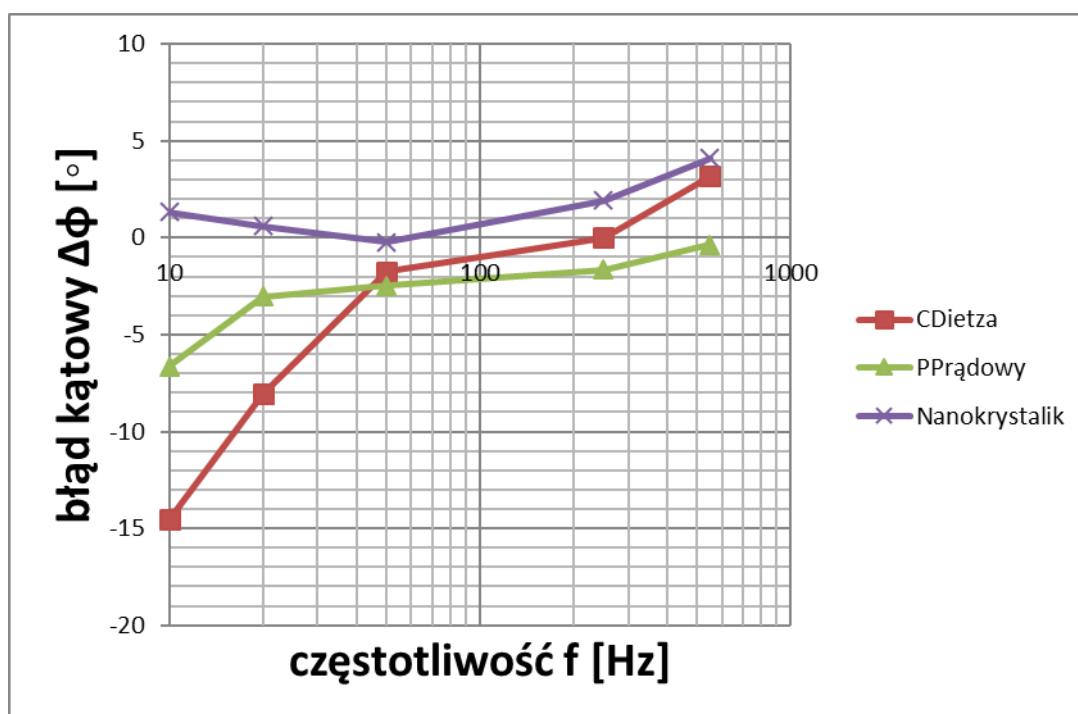
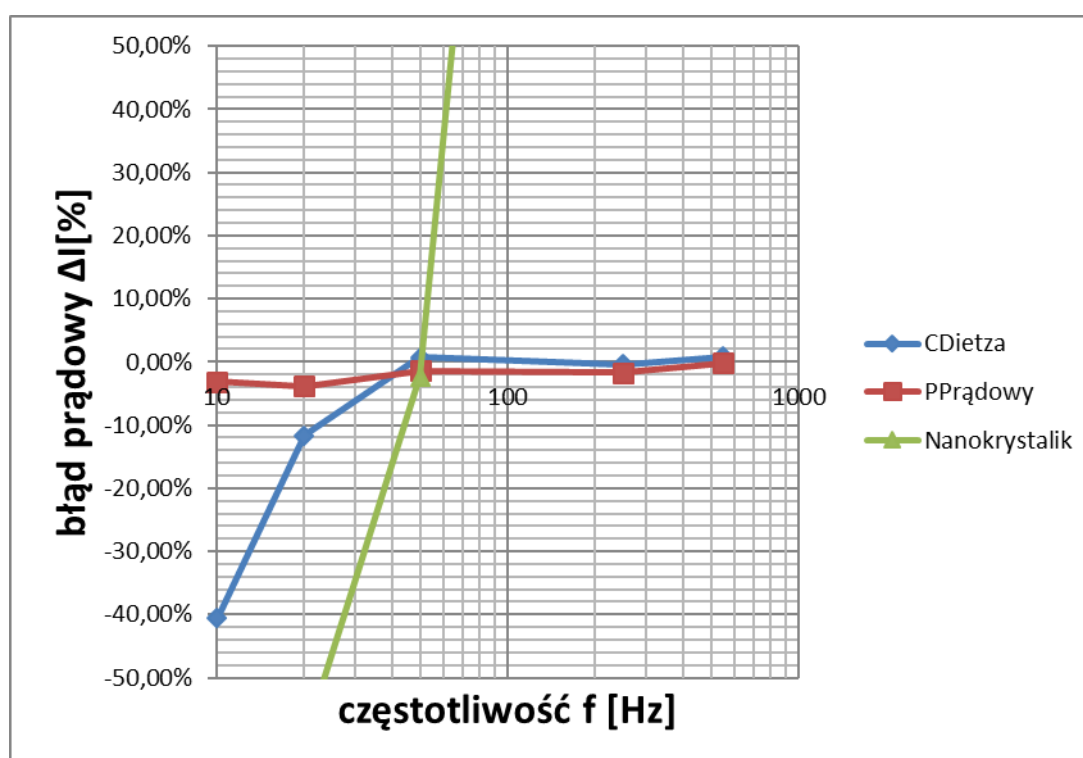


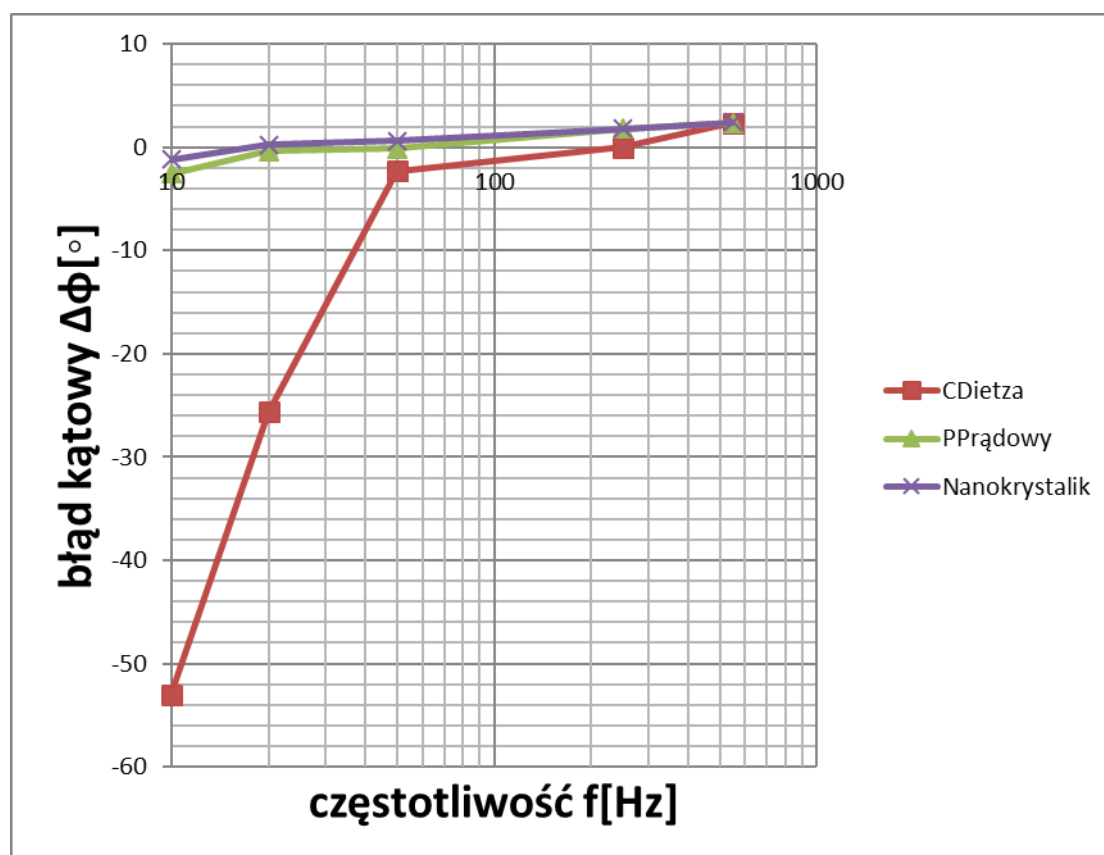
Rys. 10. Błąd kątowy w funkcji zmiany wartości prądu dla $f=550$ Hz

Na rysunkach 11-14 pokazano zależności błędów prądowych i kątowych w szerokim zakresie zmiany częstotliwości (od 10 Hz – 550 Hz) dla dwóch wartości mierzonego prądu równego odpowiednio 1 A i 15 A.



Rys. 11. Błąd prądowy w funkcji zmiany częstotliwości dla $I=1$ A

Rys. 12. Błąd kątowy w funkcji zmiany częstotliwości dla $I=1$ ARys. 13. Błąd prądowy w funkcji zmiany częstotliwości dla $I=15$ A



Rys. 14. Błąd kątowy w funkcji zmiany częstotliwości dla $I=15$ A

Z przeprowadzonych badań wynika, że błąd prądowy jest szczególnie duży dla małej (1 A) wartości prądu niezależnie od jego częstotliwości. Dla np. badanego przekładnika rdzeniowego przekracza on 20%. Błąd ten jednak maleje ze wzrostem wartości prądu i częstotliwości, co można porównać z rysunkiem 13. Również błąd kątowy wykazuje podobną tendencję zmiany (rys. 12 i 14).

4. Uwagi i wnioski

Przeprowadzone badania na wybranych, dostępnych na rynku przekładnikach/przetwornikach prądowo-napięciowych wykazały, że ich błędy prądowe i/lub kątowe zależą w dość istotny sposób od wartości mierzonego prądu i jego częstotliwości. Błędy te są szczególnie znaczne w warunkach pomiaru małych wartości prądu pierwotnego i małej jego częstotliwości. Zaszła zatem potrzeba opracowania dedykowanego dla potrzeb zastosowań w elektroenergetycznych sieciach górniczych przetwornika, zwłaszcza prądowo-napięciowego, umożliwiającego identyfikację z dużą dokładnością prądowych przebiegów odkształconych powodowanych zachodzącymi procesami technologicznymi. Dotyczy to zarówno odpowiednio szerokiego zakresu zmian tak częstotliwości jak i amplitudy przy zachowaniu liniowości charakterystyki przetwornika.

Literatura

- [1] Habrych M., et al.: Pomiary odkształconych przebiegów prądów i napięć w układzie przenośnika taśmowego zasilanego przemiennikiem częstotliwości. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa 49 (2011), s. 27-34.

- [2] Wasiak I., Gburczyk P., Pawełek R.: Oddziaływanie przemienników częstotliwości na jakość energii elektrycznej w układzie potrzeb własnych elektrowni. Część II - Badania symulacyjne. Przegląd Elektrotechniczny 90 (2014) nr 1, s. 29-33.
- [3] Szkółka S., Wiśniewski G., Strama P.: Wybrane aspekty zaburzeń generowanych przez przemienniki częstotliwości. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa 48 (2010), s. 60-68.
- [4] Szymański J.: Odształcenia napięć w nieziemionych układach zasilania typu IT wytwarzane przez przemienniki częstotliwości. Przegląd Elektrotechniczny (2012), tom R.88, nr 1b, s. 231-238.
- [5] Swędrowski L., Wilczewski L., Cichosz J.: "Badania przydatności wybranych przetworników prądu do celów diagnostyki łożysk w silniku indukcyjnym." Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej (2004), nr 20, s. 141-146.
- [6] Szymański Z.: Nowoczesne metody badań diagnostycznych układów napędowych kopalnianych maszyn przepływowych. Maszyny Elektryczne: zeszyty problemowe 4 (97) (2012), s. 17-23.
- [7] Kaczmarek M.: "Badanie charakterystyk transformacji indukcyjnego przekładnika prądowego z rdzeniem toroidalnym Ni80Fe20 dla sinusoidalnych prądów o częstotliwościach 50 Hz ÷ 20 kHz". Przegląd Elektrotechniczny (2011), vol. 87, s. 1-4, 11.
- [8] Nowicz R., Kaczmarek M.: Wymagania normalizacyjne dla przekładników małej mocy dotyczące dokładności transformacji wyższych harmonicznych oraz sygnałów sinusoidalnych wyższych częstotliwości. Pomiary Automatyka Kontrola 60 (2014).

dr inż. Grzegorz Wiśniewski

dr hab. inż. Marcin Habrych, prof. uczelni

prof. dr hab. inż. Bogdan Miedziński

bogdan.miedzinski@pwr.edu.pl

Politechnika Wrocławska, Wydział Elektryczny,

Katedra Energoelektryki

Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

mgr inż. Dariusz Macierzyński

Elgór + Hansen S.A.

ul. Opolska 19, 41-500 Chorzów

Streszczenie:

W artykule przedstawiono opis kompaktowego urządzenia do wspomagania procesu przewijania kabli i lin. Urządzenia tego typu wykorzystywane są podczas przewijania kabli i lin z bębnow, na których dostarcza je producent, na wozy górnicze z przeznaczeniem do dalszego ich transportu. Opisana przewijarka do kabli i lin KUP-01, opracowana przez KOMAG, jest alternatywą dla obecnie stosowanych rozwiązań technicznych.

Abstract:

The compact device aiding the of cables and ropes rewinding is described. Such devices are used during rewinding the ropes and cables from the drums, delivered by the manufacturer, to mine cars for their further transportation. The described cable and rope rewinder of KUP-01 type, developed by KOMAG, is an option for the currently used technical solutions.

Słowa kluczowe: górnictwo, mechanizacja prac, transport kabli i lin, przewijanie kabli i lin

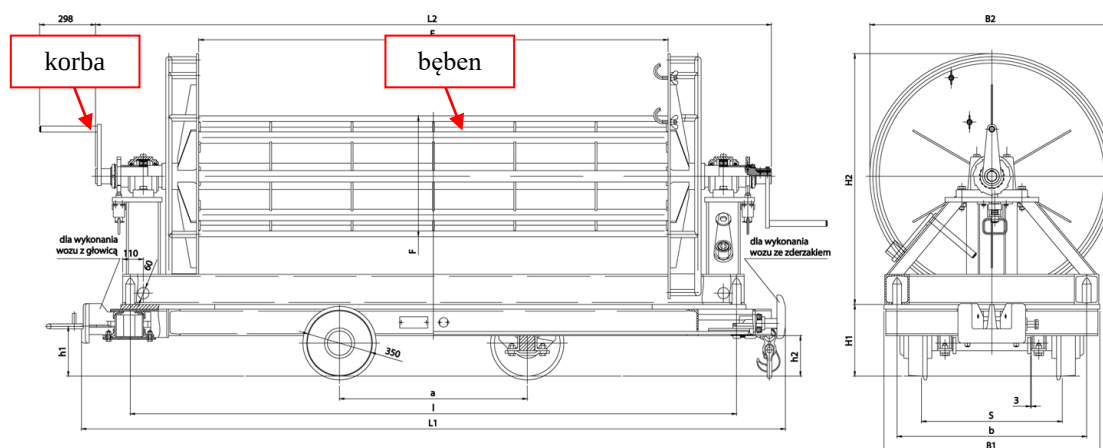
Keywords: mining industry, work mechanization, transport of ropes and cable, cables and ropes rewinding

1. Wprowadzenie

W artykule przedstawiono koncepcję mechanizacji procesu przewijania kabli i lin na wóz kablowy typu WKL.001. Mechanizacja procesu przewijania przewiduje użycie urządzenia składającego się z konstrukcji nośnej oraz układu przeniesienia napędu, które to urządzenie po zabudowaniu go do konstrukcji wozu typu WKL.001 produkcji Śląskiej Fabryki Urządzeń Górniczych Montana S.A. pozwoli wyeliminować ręczny napęd bębna i zastąpienie go napędem opartym o silnik pneumatyczny. W artykule przedstawiono szczegóły konstrukcji urządzenia, podstawowe parametry techniczne oraz sposób wykorzystania urządzenia.

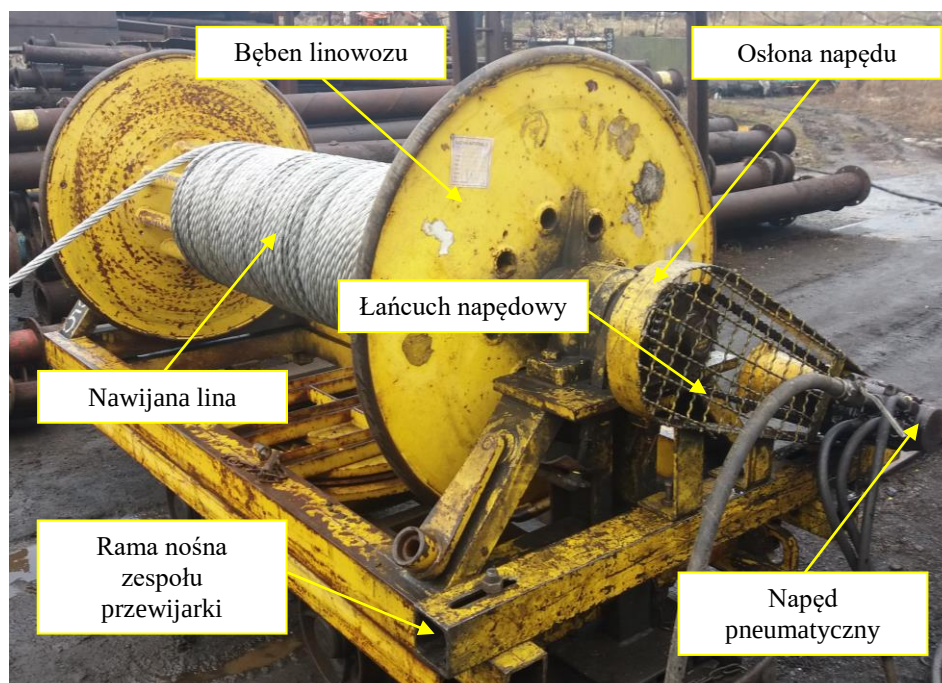
2. Proces przewijania kabli i lin – metody realizacji

W typowym przypadku proces przewijania kabli i lin odbywa się ręcznie, za pomocą korby będącej na wyposażeniu linowozu, np. typu WKL.001 produkcji Montana S.A. (rys. 1).



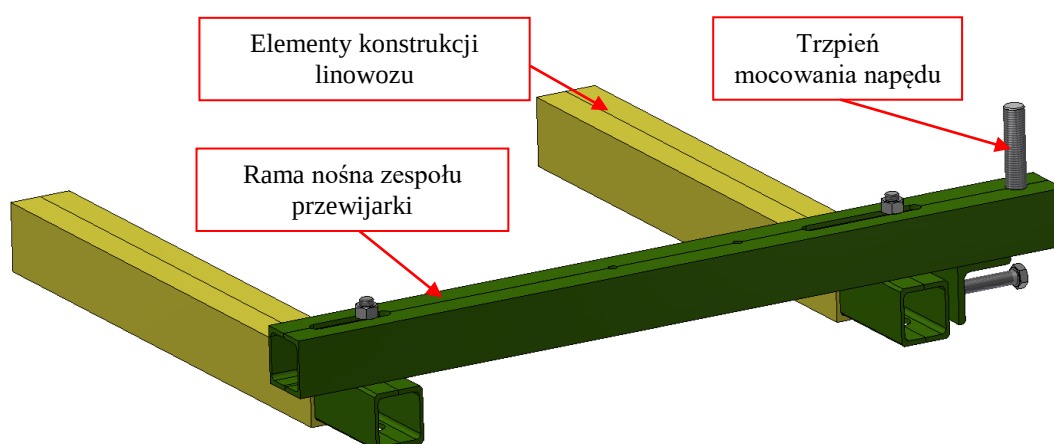
Rys. 1. Linowóz typu WKL.001 produkcji Montana S.A. [1]

W takim przypadku praca jest wykonywana kosztem siły i energii pracownika. Tempo pracy jest zależne od indywidualnych możliwości pracownika oraz poziomu jego zmęczenia. Aby ułatwić proces przewijania, poprzez wyeliminowanie konieczności ręcznego przewijania, w niektórych zakładach górniczych stosowane są urządzenia do mechanizacji procesu przewijania. Wykorzystuje się w tym celu np. wciągnik pneumatyczny PWŁ-3/6, układ przeniesienia napędu oraz specjalną konstrukcję wsporczą, która umożliwia połączenie napędu z konstrukcją linowozu. Przykład takiego rozwiązania przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Linowóz typu WKL.001 wyposażony w pneumatyczne urządzenie do przewijania [1]

Cykl przewijania liny lub kabla ze szpuli, na której został dostarczony przez producenta, rozpoczyna się od montażu na linowozie ramy nośnej (rys. 3) oraz koła zębatego na czopie wału bębna (rys. 4).

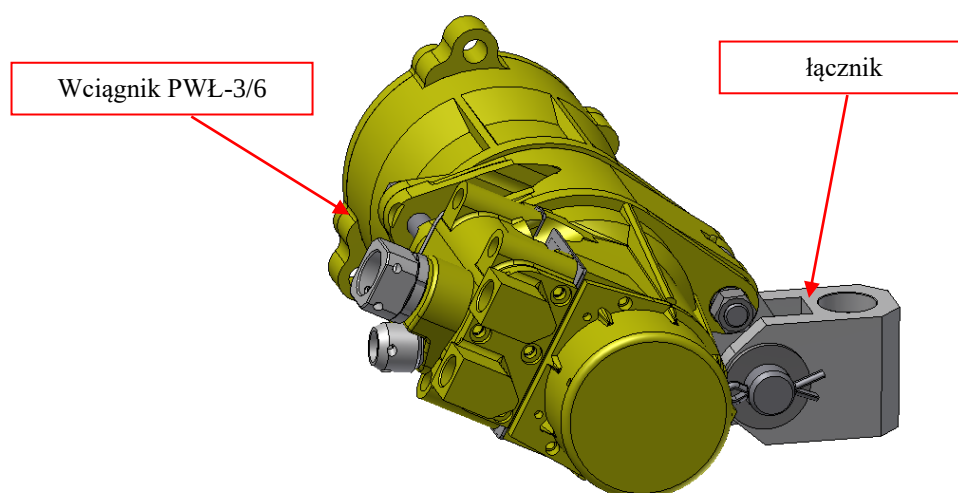


Rys. 3. Rama nośna przewijarki [4]



Rys. 4. Linowóz typu WKL.001 – widok ogólny oraz czop wału [1]

Następnie na trzpieniu zostaje zamocowany zespół (rys. 5), składający się z silnika pneumatycznego, przekładni, łańcucha oraz łącznika.



Rys. 5. Zespół wciągnika PWŁ-3/6 wyposażony w łącznik [4]

Silnik pneumatyczny, poprzez przekładnię planetarną oraz łańcuch, przenosi moment obrotowy na koło zębate zamocowane na czopie bębna, na który jest nawijana lina. Dzięki zastosowaniu przekładni planetarnej oraz przekładni łańcuchowej obroty silnika pneumatycznego zostają zredukowane, umożliwiając bezpieczne prowadzenie procesu przewijania kabli i lin. Sam proces angażuje przynajmniej dwóch pracowników, z których jeden obsługuje napęd, natomiast drugi zajmuje się prowadzeniem oraz układaniem liny na bębnie.

Główne parametry przewijarki bazującej na konstrukcji wciągnika PWŁ-3/6 przedstawiono w tabeli 1.

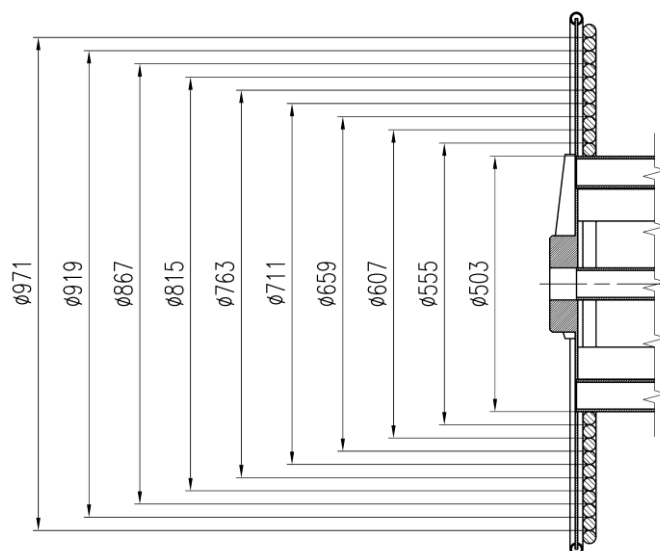
Podstawowe parametry techniczne przewijarki opartej o wciągnik PWŁ-3/6 [oprac. własne]

Tabela 1

Parametr	Wartość
Moc silnika, kW	1,28
Moment obrotowy silnika, Nm	6,8

Prędkość obrotowa silnika, <i>obr/min</i>	1600
Przełożenie przekładni wciągnika	315,5
Przełożenie całkowite układu przeniesienia napędu	631

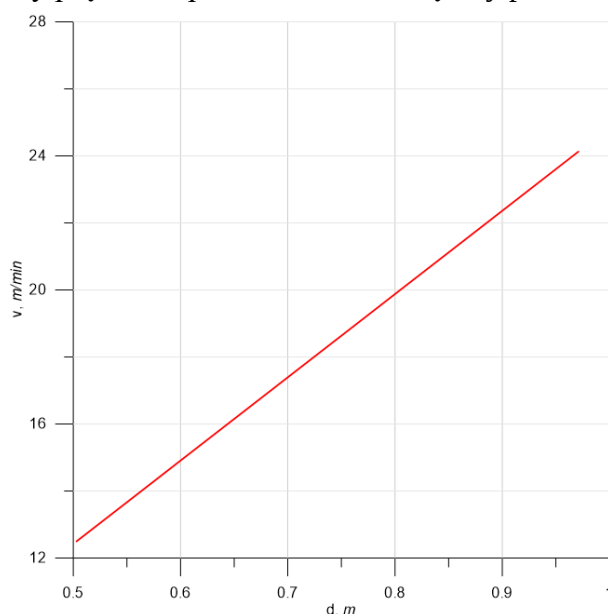
W przypadku nawinięcia na bęben 10 warstw liny o średnicy wynoszącej 26 mm, średnica nawojowa zmienia się w zakresie od 503 mm do 971 mm. Zakres średnic nawijania poszczególnych zwojów liny (kabla) przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Zmiana średnicy nawijania z uwagi na powstawanie kolejnych warstw liny na bębnie linowozu [oprac. własne]

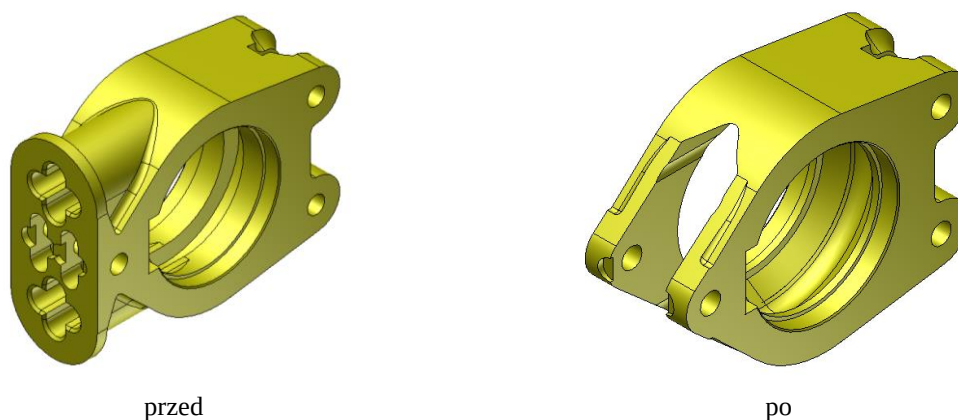
Uwzględniając parametry geometryczne bębna nawojowego linowozu określono prędkość przemieszczania liny podczas procesu nawijania.

Przy stałej prędkości obrotowej bębna prędkość przemieszczania się liny będzie się zmieniała. Wykres zmiany prędkości przemieszczania się liny przedstawiono na rysunku 7.

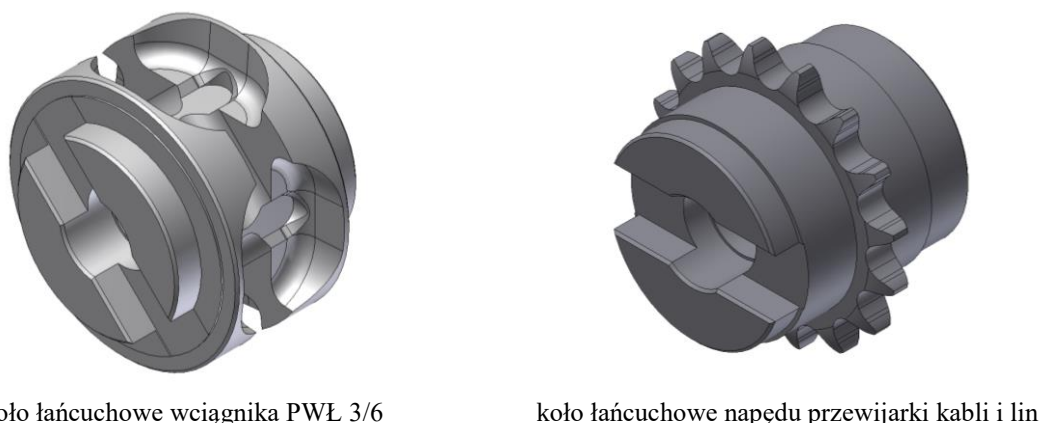


Rys. 7. Prędkość liniowa nawijania liny na kolejnych warstwach [oprac. własne]

Wciągnik PWŁ-3/6, używany jako przewijarka, wykorzystuje zmodyfikowane elementy, takie jak korpus koła łańcuchowego (rys. 8) oraz koło łańcuchowe (rys. 9). W oryginalnej konstrukcji wciągnik PWŁ-3/6 współpracuje z łańcuchem pierścieniowym (ogniwowym), natomiast w opisywanym zastosowaniu wykorzystywany jest łańcuch Galla.



Rys. 8. Korpus nośny (korpus koła łańcuchowego) wciągnika pneumatycznego przed i po dokonaniu przeróbek [3]



Rys. 9. Koło łańcuchowe wciągnika oraz przewijarki [3]

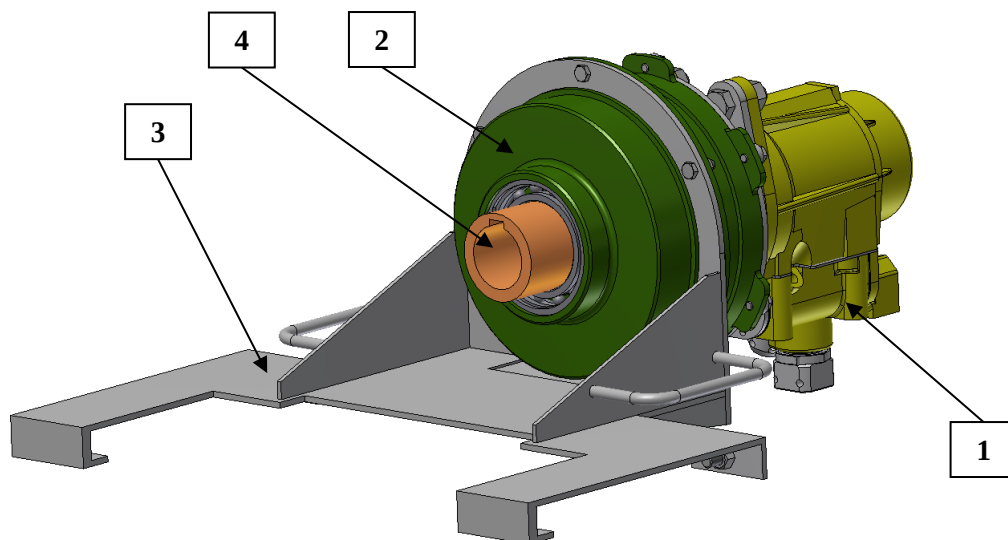
Z uwagi na powyższe można przyjąć, że wykorzystanie wciągnika łańcuchowego wymaga nakładów związanych z koniecznością przeróbki oraz wykonania nowych elementów napędu. Ponadto należy wykonać konstrukcję nośną napędu, którą przed rozpoczęciem każdego cyklu pracy należy zamontować do konstrukcji wozu, a następnie, po zakończonym cyklu zdemonstrować.

Niedogodności przedstawionego napędu bębna linowozu sprawiły, że w ITG KOMAG podjęto prace nad jego nowym rozwiązaniem w postaci kompaktowej przewijarki do kabli i lin KUP-01, przedstawionej szczegółowo w dalszej części publikacji. W porównaniu z dotychczas stosowanym napędem, istotne nowum stanowi nowy zespół przekładni, umożliwiający montaż napędu bezpośrednio na czopie wału bębna linowozu.

3. Kompaktowa przewijarka do kabli i lin KUP-01

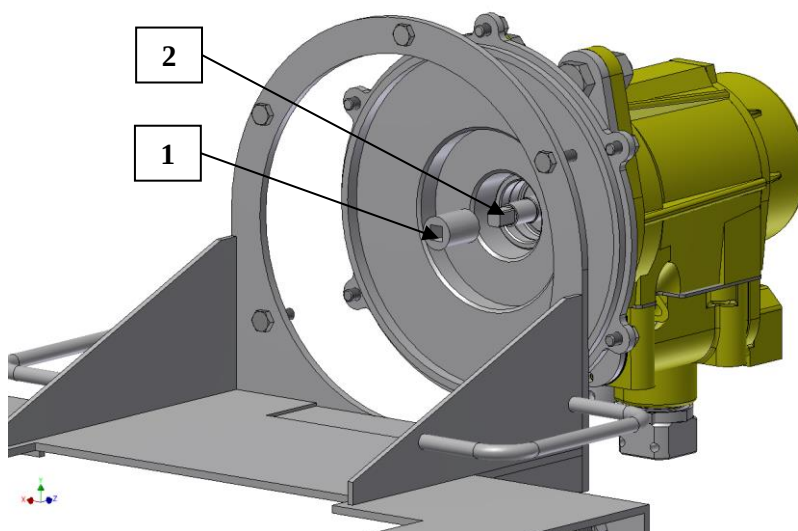
Na podstawie cech przewijarki, opartej o wciągnik pneumatyczny, opracowano projekt nowego urządzenia przeznaczonego do wspomagania przewijania kabli i lin. Ogólny widok przewijarki KUP-01 przedstawiono na rysunku 10.

Źródłem napędu przewijarki KUP-01 jest silnik pneumatyczny (poz. 1). Jako przekładnię, zapewniającą realizację wymaganego przełożenia, zastosowano przekładnię mimośrodową (poz. 2), o przełożeniu wynoszącym 616. Silnik i przekładnia zamocowane są w konstrukcji wsporczej przewijarki (poz. 3) i łączone z czopem bębna linowozu przy pomocy specjalnie ukształtowanego jarzma przekładni (poz. 4).



Rys. 10. Przewijarka typu KUP-01 [3]

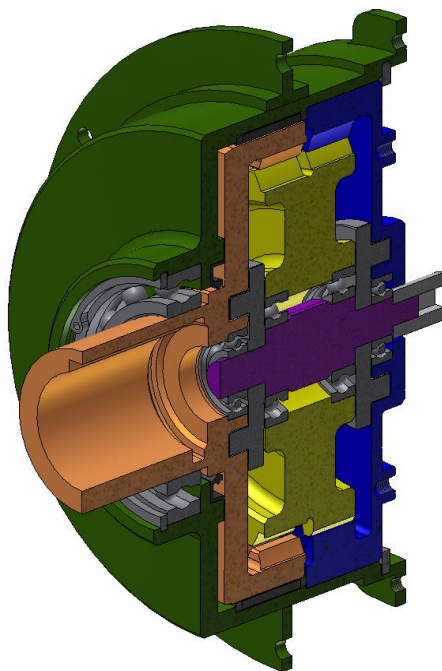
Na **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.** rysunku 11 przedstawiono widok elementu sprzęgającego silnik pneumatyczny z zespołem przekładni. W celu lepszego pokazania sprzęgła (poz. 1) przedstawiono je odsunięte od wałka silnika (poz. 2).



Rys. 11. Widok sprzęgła łączącego przekładnię z silnikiem pneumatycznym [3]

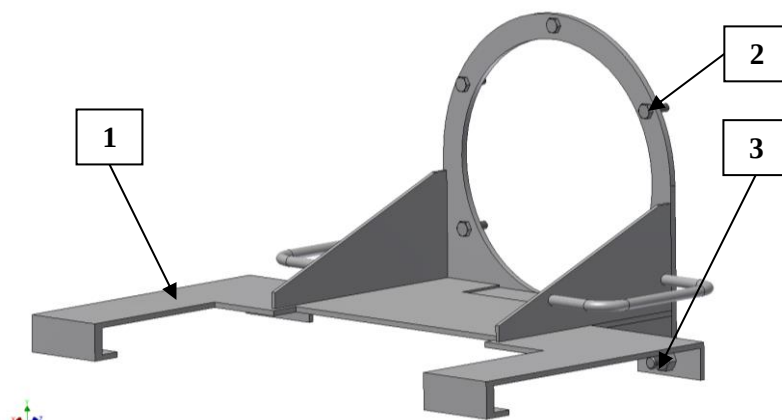
Osiągnięcie wymaganej prędkości obrotowej bębna linowozu umożliwia przekładnia mimośrodowa. Wybór przekładni tego typu podyktowany był jej prostą budową oraz stosunkowo zwartą konstrukcją przy realizacji wymaganego przełożenia. Przekładnia mimośrodowa składa się z jednego dwuwieńcowego satelity, którego średnice wieńców różnią się nieznacznie (różnica ilości zębów $2 \div 4$) od średnic współpracujących z nimi kół

(jarzm) o zazębieniu wewnętrznym. Model przekładni mimośrodowej o przełożeniu $i=616$ przedstawiono na rysunku 12.



Rys. 12. Przekładnia mimośrodowa $i=616$ [3], [5]

Przewijarkę typu KUP-01 mocuje się do konstrukcji linowozu przy pomocy zespołu przedstawionego na rysunku 13.

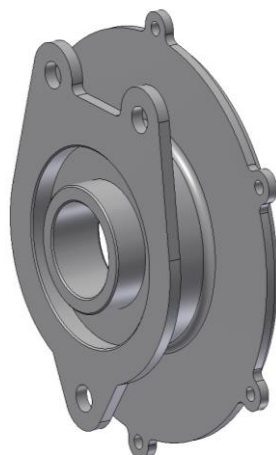


Rys. 13. Zespół mocowania przewijarki KUP-01 [3]

Rama mocująca (poz. 1) posiada specjalną obejmę kołnierзовą, która przy pomocy śrub (poz. 2) umożliwia zamocowanie przekładni. Unieruchomienie przewijarki względem linowozu następuje dzięki specjalnemu ukształtowaniu elementów zespołu mocowania, z uwagi na samo podłączenie przewijarki do czopu bębna nawojowego oraz dodatkowo dzięki dokręceniu śrub (poz. 3) do konstrukcji linowozu. Zespół mocowania wyposażony został w uchwyty, ułatwiające operowanie przewijarką w trakcie montażu i demontażu.

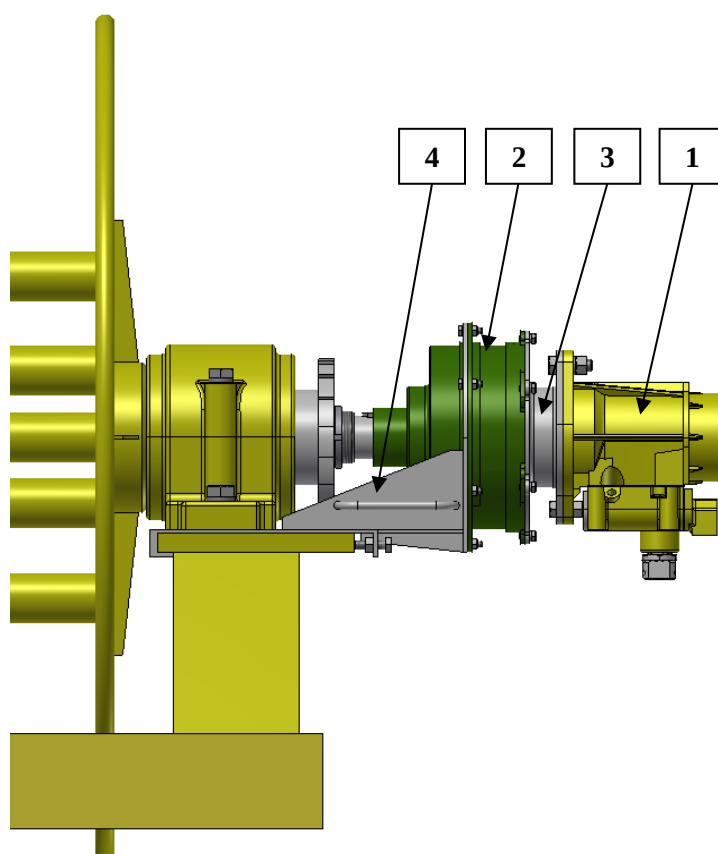
Celem połączenia silnika pneumatycznego z przekładnią opracowano specjalny łącznik odwzorowujący z jednej strony otwory mocujące silnika, z drugiej zaś otwory mocujące przekładnię. Łącznik łączy się również z węzłem łożyskowym silnika pneumatycznego

oraz jest pasowany na średnicy wewnętrznej korpusu przekładni. Łącznik przedstawiony został na rysunku 14.



Rys. 14. Łącznik silnika i przekładni [3]

Kompletne urządzenie przewijające KUP-01 zamocowane w linowozie przedstawiono na rysunku 15.



Rys. 15. Przewijarka KUP-01 zamocowana w linowozie WKL.001 [3]

Główne podzespoły tego urządzenia to:

- silnik pneumatyczny (poz.1),
- zespół przekładni (poz. 2),
- łącznik (poz. 3),
- mocowanie przewijarki (poz. 4).

4. Podsumowanie

Przedstawiona przewijarka KUP-01, w przeciwieństwie do obecnie stosowanych przewijarek w zakładach górniczych, jest urządzeniem, które nie wymaga stosowania ciężkiej konstrukcji mocującej silnik z układem napędowym bębna w linowozie. Zastosowana przekładnia mimośrodowa zapewnia wymagane przełożenie, jednocześnie odznacza się prostą budową, w odróżnieniu od typowych przekładni obiegowych stosowanych w istniejących konstrukcjach.

Konstrukcję przewijarki charakteryzuje:

- a) prosty sposób montażu i demontażu przewijarki, co zapewnia krótki czas prac przygotowawczych,
- b) prosta konstrukcja układu przeniesienia napędu, co zapewnia niezawodność urządzenia,
- c) zastosowanie sprężonego powietrza jako źródła energii zasilającej, zapewniającego bezpieczeństwo w warunkach górniczych.

Literatura

- [1] Witryna internetowa – <http://www.montana.pl/urządzenia-gornicze/wozy-kopalniane/wozy-specjalne/wozy-transportowe/> (09.2019 r.).
- [2] Dokumentacja fotograficzna ITG KOMAG.
- [3] Dobrzaniecki P. i in.: Projekt wstępny kompaktowego urządzenia wspomagającego proces przewijania kabli i lin. ITG KOMAG, Gliwice 2017 r. (materiały niepublikowane).
- [4] Dobrzaniecki P. i in.: Koncepcja mechanizacji przewijania kabli i lin na bębny wozów WKL.001. ITG KOMAG, Gliwice 2017 r. (materiały niepublikowane).
- [5] Dobrzaniecki P. i in.: Przekładnia mimośrodowa $i=616$ – projekt wstępny. ITG KOMAG, Gliwice 2018 r. (materiały niepublikowane).

dr inż. Piotr Dobrzaniecki
e-mail: pdobrzaniecki@komag.eu

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

Czy wiesz, że

... Na zdegradowanych działalnością górniczą gruntach we wschodniej Wielkopolsce powstanie kompleks największej w Europie Środkowej elektrowni fotowoltaicznej. Umowę dotyczącą tej budowy podpisały odpowiedzialna za projekt Energia Przykona, spółka z portfela NeoInvestments, która zrealizuje go przy udziale specjalizującej się w realizacji międzynarodowych projektów związanych z wytwarzaniem prądu chińskiej spółki państwowej – China Sinogy Electric Engineering (CSEE) i jej partnera – Strategic Swiss Partners AG (SSP), z siedzibą w Zurichu. Budowa dwóch pierwszych etapów kompleksu elektrowni, która docelowo będzie produkować ok. 3% wytwarzanej w Polsce energii z OZE (630 GWh rocznie) powinna rozpocząć się w 2020 r. Docelowo Energia Przykona planuje również wyposażenie wchodzących w skład projektu elektrowni fotowoltaicznych w magazyny energii.

Przegląd Techniczny 2019 nr 22-23, s.5

Bezpieczeństwo eksploatacji ścian zawałowych w świetle danych z systemów monitoringu

Sylwester Rajwa
Zbigniew Lubosik
Marek Płonka

Safety of longwall mining with caving in the light of data from monitoring system

Streszczenie:

Obudowy zmechanizowane zwykle postrzega się jako urządzenia składające się głównie z części mechanicznej i hydraulicznej, natomiast pozostałe wyposażenie, głównie związane z elektroniką, traktowana jest często jako konieczne uzupełnienie systemu, zapewniające możliwość jego sterowania. Jednak rozwinięcie funkcjonalności związanych ściśle z najnowszą elektroniczną częścią wyposażenia kompleksów wydobywczych, głównie o możliwości pomiarowe i rejestracyjne, pozwala również na coraz częstsze stosowanie różnego rodzaju monitoringu, umożliwiającego obserwację pracy kompleksu wydobywczego w czasie rzeczywistym lub z niewielkim opóźnieniem czasowym, także sygnalizację stanów zagrożeń lub nieprawidłowości. Najbardziej zaawansowane systemy wyposażane są w funkcje analizujące zmiany monitorowanych parametrów, dla wypracowania ostrzeżeń o możliwych przyszłych zagrożeniach, by z wystarczającym wyprzedzeniem czasowym umożliwić reakcję operatora. Stworzenie takiego systemu predykcji wymaga zgromadzenia, a następnie przeanalizowania odpowiednio dużej i kompletnej bazy pomiarów i obserwacji, związanych przede wszystkim z różnymi utrudnieniami w prowadzeniu obudowy zmechanizowanej, a szczególnie z wydarzeniami stricte awaryjnymi, takimi jak np. obwały, stany zaciśnięcia sekcji itp. Odpowiednio opracowane zależności i wyniki analiz mogą optymalizować bezpieczeństwo pracy załogi, ograniczać trudności w utrzymaniu stropu wyrobisk ścianowych i co za tym następuje pozytywnie wpłynąć na uzyskiwane wyniki ekonomiczne.

Słowa kluczowe: górnictwo, obudowa zmechanizowana, monitoring, podporność

Keywords: mining, shield support, monitoring, load bearing capacity

Abstract:

Shield supports are usually perceived as devices consisting mainly of mechanical and hydraulic parts, while other apparatus, mainly related to electronics, is often treated as a necessary supplement to the system which ensures its control. However, the development of features closely related to the latest electronic equipment in the mining complexes, mainly connected with measuring and registration possibilities, also allows for more and more frequent use of various types of monitoring. It enables observation of the operation of the mining complex in real time or with a slight time delay. What is more, it also enables signalling the operating states of the shield constituting specific threats or irregularities. The most advanced systems found abroad are equipped with functions analysing changes in specific monitored parameters to develop warnings about possible future threats to allow the operator to react with sufficient time in advance. Developing such a forecast system requires gathering and then analysing a sufficiently large and complete database of measurements and observations. These are primarily associated with various difficulties in operating a shield support, and especially with strictly emergency states, such as rock slides, shield clamping conditions, etc. The data from monitoring of shield support operation, through proper development of dependencies and analysis results, can optimize the safety of crew, reduce difficulties in maintaining the roof of longwall excavations and thus have a positive impact on the obtained economic results.

1. Wprowadzenie

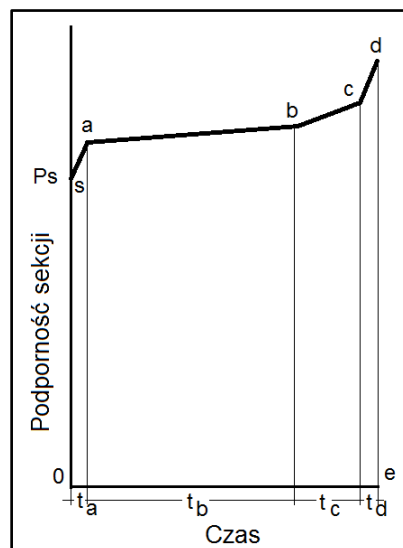
Zadaniem obudowy zmechanizowanej, określając w skrócie, jest jej współpraca ze stropem na skutek rozwijania odpowiedniej podporności i wpływ na utrzymywanie właściwej stateczności wyrobiska. Czynniki te są równocześnie zależne od konkretnych warunków geologiczno-górnictwowych charakteryzujących dane pole eksploatacyjne. Dobór konkretnego

typu obudowy zmechanizowanej wykonywany jest na ogół wcześniej, drogą wyliczeń analitycznych. W Polsce np. najczęściej stosowana jest w tym celu metoda obliczeniowa na podstawie teorii ugięcia warstw stropowych, opracowana przez A. Bilińskiego [1], nadal rozwijana w GIG (wyznaczanie wskaźnika nośności stropu „g”).

Każde obliczenia analityczne doboru obudowy zmierza zawsze do obliczenia konkretnej wartości podporności obudowy wynikającej z jej parametrów konstrukcyjnych oraz przyjęcia gabarytów wyrobiska, mającego zasadniczy wpływ na wartość obciążenia górotworu. Aż do pojawienia się systemów skutecznego monitorowania parametrów pracy obudowy zmechanizowanej nie było równocześnie możliwości weryfikowania tych założeń z warunkami rzeczywistej eksploatacji. Realizowano jedynie wybrane wyrwykowe pomiary kontrolne, które przeprowadzano sporadycznie, o skromnym zwykle zakresie, podczas okazyjnych akcji pomiarowych. Dopiero od kiedy elektroniczne pomiary parametrów procesu mogły być wykonywane przy okresie czasu rzędu sekund oraz dotyczyć wszystkich lub większości sekcji, można mówić o skutecznej obserwacji pracy zestawu obudowy zmechanizowanej.

Pomiary ciśnienia medium w przestrzeniach podtłokowych stojaków sekcji obudów zmechanizowanych względem czasu są obecnie głównym źródłem informacji określających rozwijaną podporność obudowy. Dla dokładnego wyznaczenia podporności sekcji niezbędne jest jeszcze wprowadzić określenie jej chwilowej geometrii, niemniej w praktyce jest ono bardzo rzadko realizowane ze względu na koszty i komplikacje techniczne związane z tym pomiarem. Koniecznym dla zrozumienia sposobu pracy obudowy jest przedstawienie cyklu pracy sekcji obudowy zmechanizowanej.

Najczęściej pomiary dotyczące ciśnienia w podtłokowych częściach stojaków i ich przebiegi odnosi się do wzorcowego przebiegu ciśnienia przedstawionego na rysunku 1.



Rys. 1. Przebieg zmian ciśnienia w stojakach podczas cyklu obudowy [2]

Odcinek $0 - s$ odpowiada okresowi rozparcia sekcji, po czym następuje wzrost podporności na odcinku $s - a$ powodowany wzrostem obciążenia na skutek rabowania sąsiedniej sekcji. Następnie rozpoczyna się dość stabilny i długi okres wzrostu ciśnienia górotworu na odcinku $a - b$. Odcinek $b - c$ przedstawia wpływ wzrastającego obciążenia, na skutek urabiania calizny

węglowej na wysokość sekcji, tym samym wzrostu rozpiętości wyrobiska. Natomiast szybko wzrastający odcinek *c - d* ukazuje wzrost ciśnienia związany z rabowaniem sąsiedniej sekcji. Odcinek *d - e* przedstawia gwałtowny spadek ciśnienia podczas rabowania.

W praktyce górniczej szybkości zmian, wartości ciśnień, czasy poszczególnych odcinków mogą podlegać dużym wahaniom, zależnym od wielu czynników natury geologicznej, górniczej i technicznej. Wg posiadanych dotychczasowych doświadczeń pomiarowych, wartości dla skrajnych punktów odcinka *s - a* są trudne do jednoznacznej identyfikacji/uzyskania, ze względu na bardzo zmienny kształt przebiegów ciśnienia podczas rozpierania sekcji w naszych kopalniach - na ogół ze względu na zbyt niskie ciśnienia rozpierania (niską podporność wstępną), spotykane najczęściej w przypadkach ręcznego rozpierania sekcji w ścianach kombajnowych. Natomiast w przypadkach ścian strugowych obudowa zmechanizowana prowadzona jest najczęściej automatycznie, a stosowane algorytmy przesuwania sekcji nie wymagają zawsze sekwencyjnego, kolejnego przesuwania sekcji, w związku z czym określone odcinki mogą podlegać zmianom w stosunku do prezentowanego, wzorcowego cyklu obudowy w ścianach kombajnowych.

Przedstawiony wzorcowy przebieg może być ponadto zmieniany i uzupełniany takimi zjawiskami jak np. okresami zadziałania zaworów roboczych rozpoczynanymi spadkami ciśnienia od poziomu maksymalnego (kolejne odcinki zmian zbliżone do „kształtu zębów piły”) lub szybkimi wzrostami ciśnienia na skutek dociążeń (zjawisk dynamicznych) ze strony górotworu, rozpoczynanymi nagłymi wzrostami ciśnienia. W przypadkach pojedynczych zjawisk np. łamania się warstw skalnych, zmiany odpowiadających im kształtów zmian ciśnienia będą miały też charakter jednorazowy, nieokresowy [3, 4].

Podstawową funkcją zaawansowanego systemu monitoringu jest więc możliwość zastosowania algorytmu skutecznej identyfikacji wszystkich cykli pracy sekcji (na podstawie zmian ciśnienia – lub np. hipotetycznej sprzętowej sygnalizacji początku i końca cyklu) zgodnie z przedstawionym schematem cyklu obudowy, oraz możliwych opisanych uzupełniających go zmian i modyfikacji. Na podstawie określonych na jego podstawie parametrów cykli (czasu i wartości) można dopiero budować algorytmy automatycznego rozpoznawania stanów awaryjnych i zagrożeń (przy przyjęciu odpowiednich wartości granicznych dopuszczalnych zmian). Kolejnym dopiero zagadnieniem, po analizie statystycznej zbiorów (możliwie licznych) takich zdarzeń, i powiązaniu ich z różnymi rodzajami występujących następnie podczas eksploatacji utrudnień, skonstruowanie systemu przewidywania zagrożeń [5, 6].

Systemy wcześniejsze, charakteryzujące się mniejszą częstotliwością pomiarów ciśnienia, są mniej użyteczne dla rozpoznawania zagrożeń, niemniej również można uzyskać na ich podstawie szereg interesujących informacji.

2. Przykład monitorowania zagrożeń z wykorzystaniem systemów o mniejszej częstotliwości wykonywania pomiarów

Ścianę A prowadzono na głębokości od około 440 m do 530 m, gdzie pokład charakteryzował się miąższością brutto od 3,3 do 5,3 m, a jego nachylenie wahało się od 15° do 25°. W stropie pokładu występowała warstwa łupku z węglem o miąższości do 0,3 m, a następnie cienka warstwa węgla oraz iłowca i iłowca zapiaszczonego. Powyżej zalegał pakiet warstw mułowcowo-piaskowcowych o grubości ($7 \div 17$) m.

Spąg pokładu stanowiła warstwa łupku z węglem oraz zalegającego poniżej iłowca. Niemniej jednak, z uwagi na dużą zmienność miąższości pokładu na wybiegu ściany prowadzono ją po spodku węglowym.

Wytrzymałość na ściskanie (R_c), zarówno węgla w pokładzie, jak i skał otaczających pokład cechowała znaczna zmienność.

Wytrzymałości na ściskanie R_c węgla pokładu oraz skał otaczających zawierały się w zakresach:

- węgiel pokładu (7,1 ÷ 10,0) MPa,
- strop pokładu
 - badania laboratoryjne (37,1 ÷ 56,8) MPa,
 - badania polowe (0,0 ÷ 65,4) MPa,
- spąg pokładu (22,8 ÷ 31,4) MPa.

W analizowanym polu ścianowym spodziewano się zaburzeń w zaleganiu pokładu i skał otaczających, posiadających charakter zarówno sedymentacyjny jak i tektoniczny, powodujących zmiany miąższości pokładu oraz zmiany stateczności skał stropowych. Utrudnienia w utrzymaniu stropu występowały także lokalnie, co wiązało się z zaleganiem w stropie bezpośrednim cienkiej warstwy skał skłonnej do opadania po odsłonięciu. Stwierdzono ponadto, że powyżej pokładu prowadzono liczne eksploatacje, które także miały istotny wpływ na warunki stropowe.

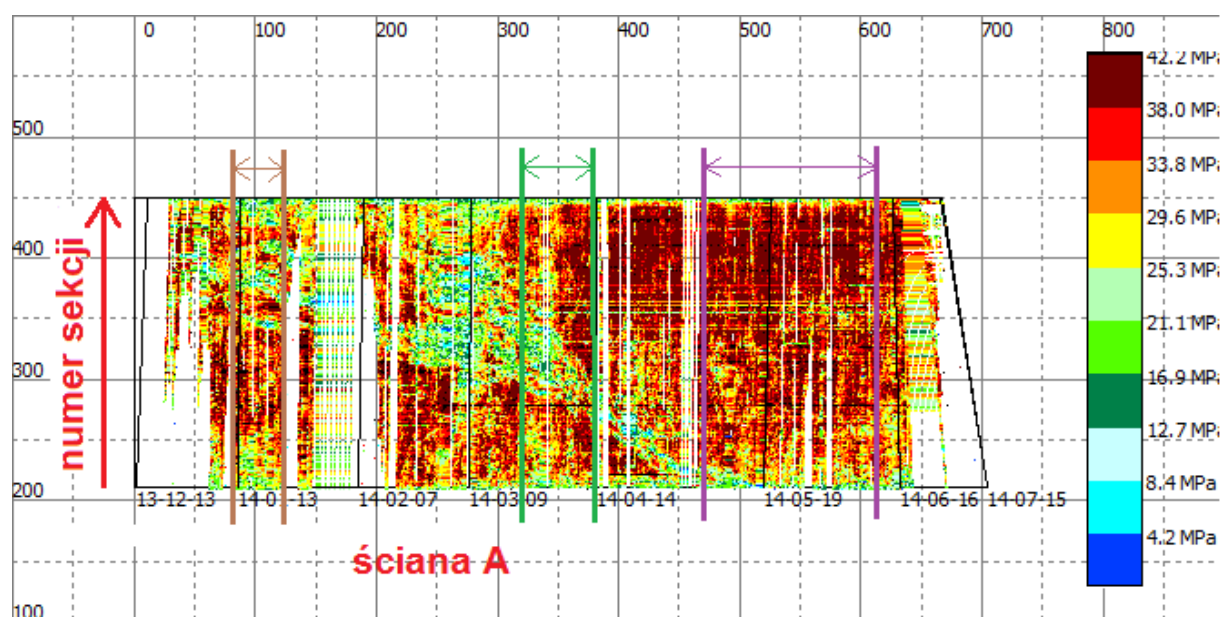
Ściana A prowadzona była systemem podłużnym z zawalem skał stropowych, na wybiegu około 670 m. Długość ściany wynosiła do 250 m.

W ścianie A kopalnia zastosowała sekcje obudowy zmechanizowanej o wysokości roboczej do 4,4 m. Obudowa ta stanowiła konstrukcję podporowo-osłonową opartą o czworobok przegubowy z lemniskatowym układem stabilizacji stropnicy.

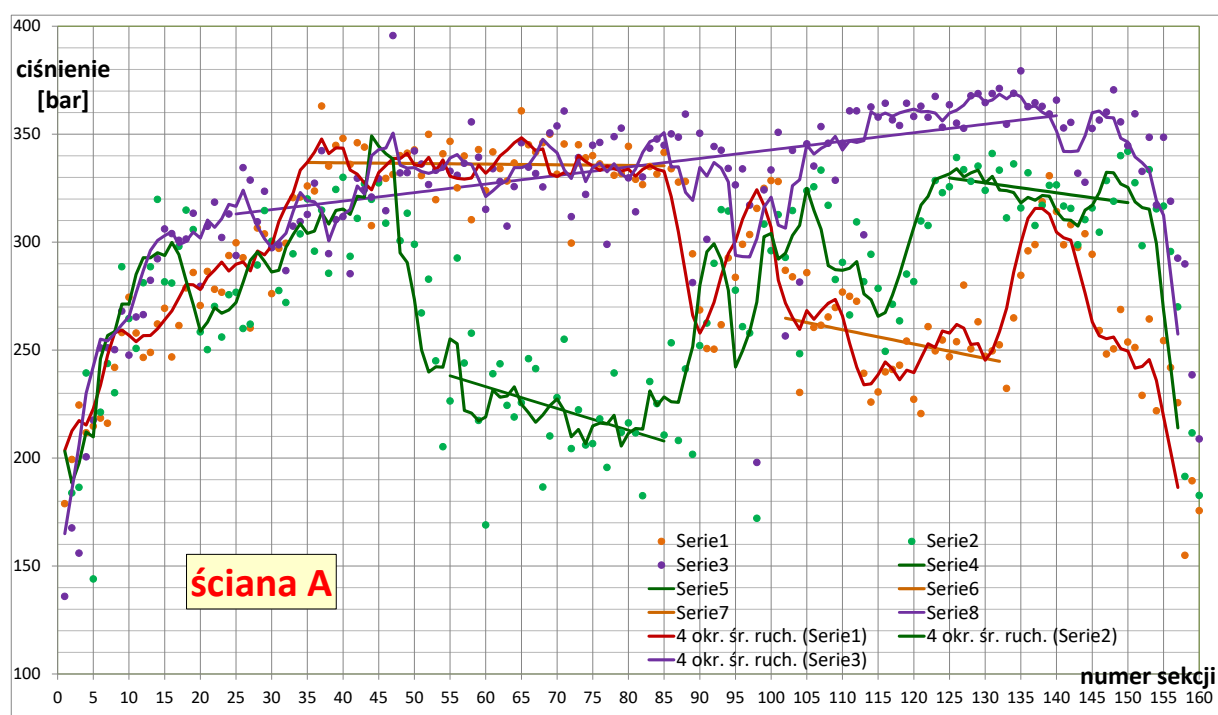
System pomiarowy umożliwiał wykonywanie pomiarów ciśnienia z dokładnością do 1 MPa z częstotnością 1 minuty w każdym ze stojaków wszystkich sekcji obudowy zmechanizowanej. Podczas rabowania sekcji pomiarów nie wykonywano. Parametry układu pozwalały więc na prowadzenie pomiarów ciśnienia w przestrzeniach podtłokowych stojaków w warunkach w zasadzie wyłącznie statycznych. Pomiary ciśnienia objęły zakresem ilościowym 160 sekcji podczas 208 dni pomiarowych.

Zmierzone wartości ciśnień w przestrzeniach podtłokowych stojaków odniesiono do obszaru pola ściany, co przedstawiono na rysunku 2. Na wykresie pojedynczy barwny punkt swoim rozmiarem odpowiada szerokości sekcji na długości wybiegu 1 m. Do lokalizacji położenia sekcji posłużono się danymi z uśrednionych postępów miesięcznych na mapach kopalnianych.

W miejscach wystąpienia maksymalnych ciśnień można było spodziewać się maksymalnych obciążeń ze strony górotworu podczas eksploatacji (którym poddana została obudowa zmechanizowana), pod warunkiem zachowania takiej samej wysokości pracy sekcji i rozmiaru wyrobiska. Zmienność ciśnień w polu ścianowym ilustrują rysunki 2 i 3.



Rys. 2. Wartości maksymalne ciśnień w polu ściany A z wyznaczonymi fragmentami wybiegu



Rys. 3. Uśrednione wartości maksymalne ciśnień na długości ściany A na wyznaczonych fragmentach wybiegu

Dla trzech fragmentów wybiegu ściany A, na których zaobserwowano istotną zmienność ciśnień na długości ściany, zaznaczonych i ograniczonych na rysunku 2 liniami w kolorach: brązowym, zielonym i fioletowym, wyliczono średnie ciśnienie dla każdej sekcji i przedstawiono na rysunku 3 w postaci barwnych punktów. Krzywymi w tych samych barwach wykreślono średnie ruchome obliczane dla czterech sąsiadujących sekcji. Natomiast krótszymi odcinkami, określonymi z obliczeń regresji liniowej, zaznaczono dodatkowo fragmenty długości ściany charakterystyczne ze względu na poziomy ciśnień.

Dla „brązowego” fragmentu wybiegu, średnia zmienność poziomów zmierzonych ciśnień pomiędzy grupami sekcji $35 \div 85$ a $102 \div 132$ osiąga około 81 bar (odpowiednio 336 bar i 255 bar), natomiast dla „zielonego” fragmentu wybiegu, średnia zmienność poziomów zmierzonych ciśnień pomiędzy grupami sekcji $55 \div 85$ a $125 \div 150$ osiąga około 101 bar (odpowiednio 223 bar i 324 bar). Na fioletowym fragmencie wybiegu, w grupie sekcji $25 \div 140$ przeciętne ciśnienie wzrasta praktycznie równomiernie od około 313 bar do 359 bar.

Tak prowadzona analiza podczas monitoringu może umożliwiać wyznaczanie rejonów zmiennych obciążeń górotworu, powodowanych zróżnicowanymi warunkami stropowymi.

Można ponadto zauważyć, że generalnie na końcówkach ściany występują niższe wartości ciśnień w odniesieniu do centralnej części ściany. Zjawisko występowania większych obciążeń w centralnej części ściany jest reprezentowane w wielu teoriach i potwierdzone na drodze pomiarów.

3. Przykłady monitorowania zagrożeń z wykorzystaniem identyfikacji pomiarowych w ścianach kombajnowych

Ściana B prowadzona była z zawałem stropu w pokładzie o głębokości zalegania maksymalnie około 845 m, przy nachyleniu warstw od około 16° do 30° . Nad pokładem zalegały głównie iłowce, lokalnie występowały bezpośrednio w stropie skały mułowcowe lub piaskowce. Spąg stanowił iłowiec.

Według uzyskanych danych (ściana prowadzona była po spodku węglowym), wytrzymałości R_c węgla pokładu oraz skał otaczających, wynosiły:

- węgiel pokładu 14,9 MPa,
- naturalny strop pokładu (21,8 ÷ 33,8) MPa,
- spąg (spodek węglowy) 14,9 MPa.

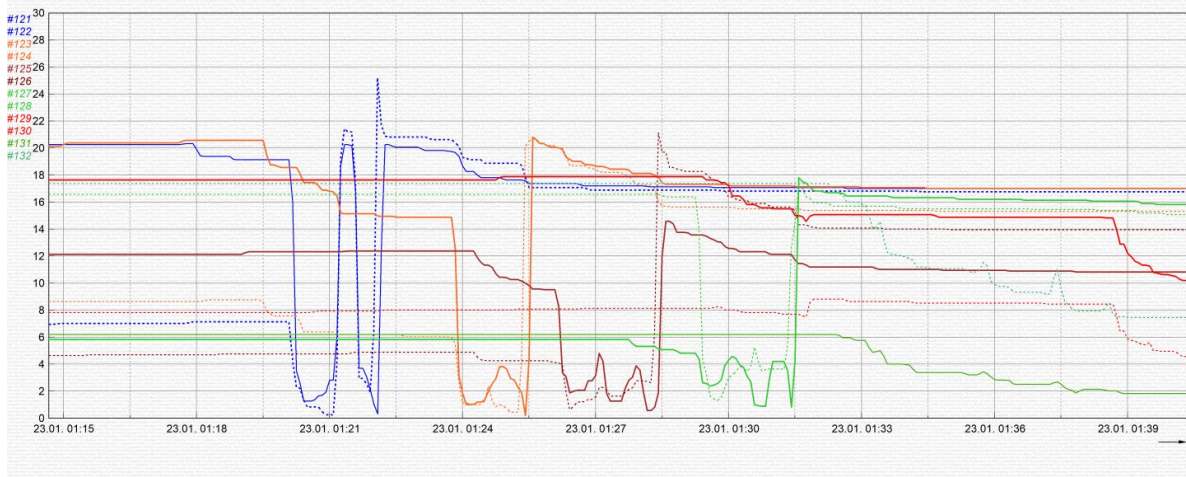
W polu eksploatacyjnym ściany B, w odległości do 160 m nad pokładem oraz poniżej, do głębokości 60 m, jak dotychczas eksploatacji nie prowadzono.

Ścianę B prowadzono z zawałem stropu, z maksymalną wysokością (2,8 ÷ 3,0) m, w jednostronnym sąsiedztwie zrobów. Wybieg ściany 2 osiągnął około 470 m, a jej długość wynosiła około (190 ÷ 210) m.

W ścianie B zastosowano obudowę zmechanizowaną o wysokości roboczej do 4,5 m.

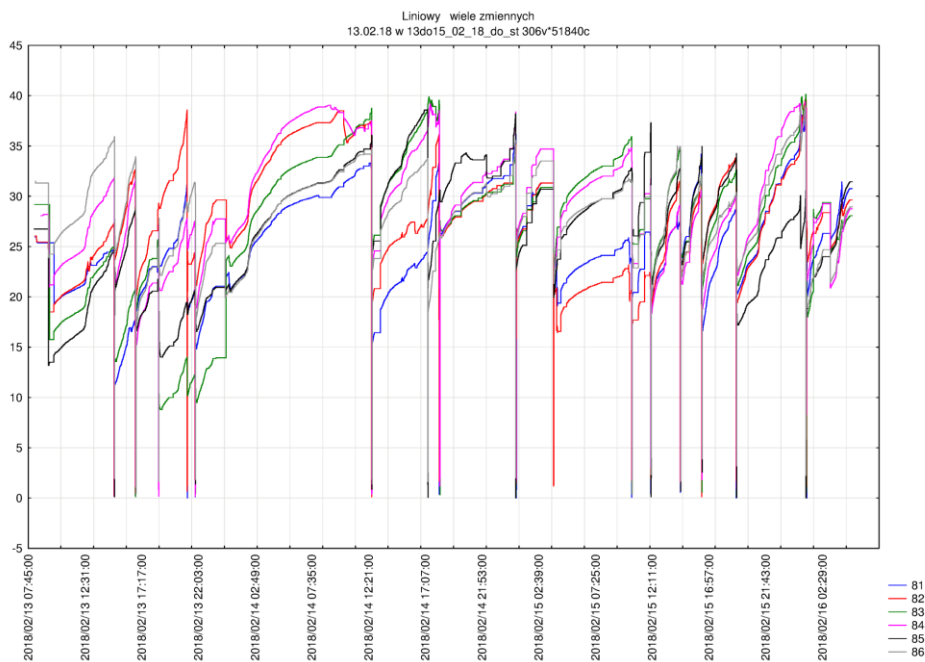
System pomiarowy umożliwiał wykonywanie pomiarów ciśnienia z dokładnością do 1 MPa z częstotliwością do 5 s w każdym ze stojaków wszystkich sekcji obudowy zmechanizowanej. Pomiar ciśnienia objęły zakresem ilościowym 135 sekcji. Parametry systemu pomiarowego umożliwiały już śledzenie cykli obudowy z większą częstotliwością (co 5 s), jednak nadal niezidentyfikowane mogły być zdarzenia przebiegające krócej, trwające poniżej 5 sekund.

Zarejestrowano podczas rozruchu i na początku biegu ściany przebiegi wskazujące na obniżanie się ciśnienia po rozparciu sekcji, jak na rysunku 4, występowały także opady warstw stropowych.



Rys. 4. Przykładowe przebiegi obniżających się ciśnień w ścianie B (źródło FAMUR)

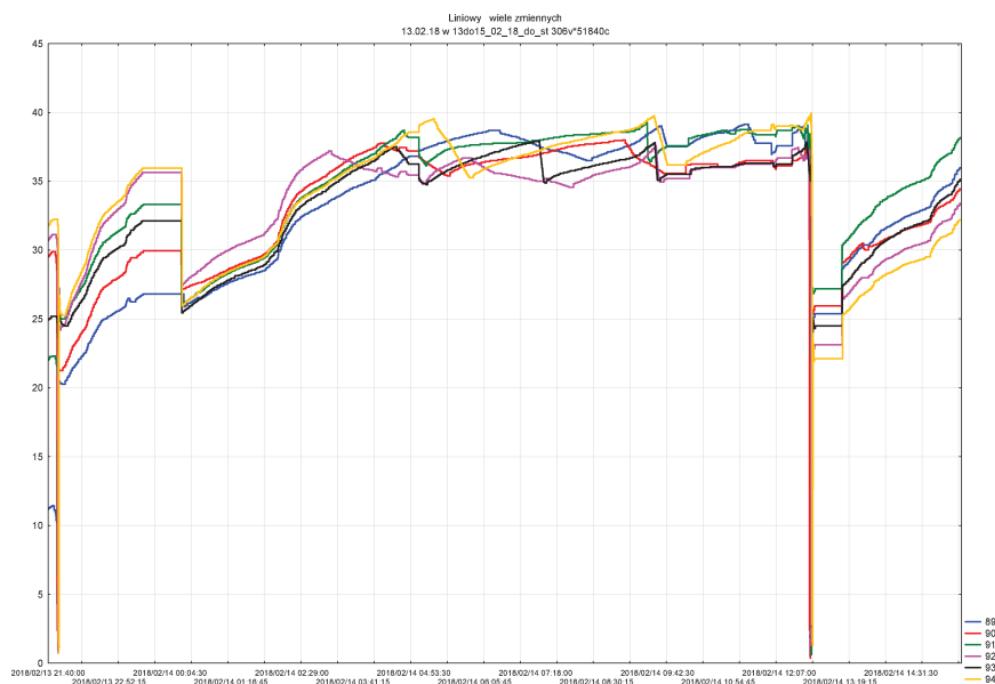
Został przeprowadzony zjazd pracowników do wyrobiska ściany B celem oceny sytuacji, przeprowadzono kolejne analizy związane z następnymi przebiegami ciśnień. Przyczynami trudności okazały się komplikacje związane z niedokończonym rozruchem ściany oraz występujące niestaranności podczas rozpierania sekcji. Na dalszych fragmentach wybiegu ściany oraz przy starannym prowadzeniu przekładki i rozpierania sekcji cykle obudowy uzyskały poprawną postać, jak przedstawiono to na rysunku 5.



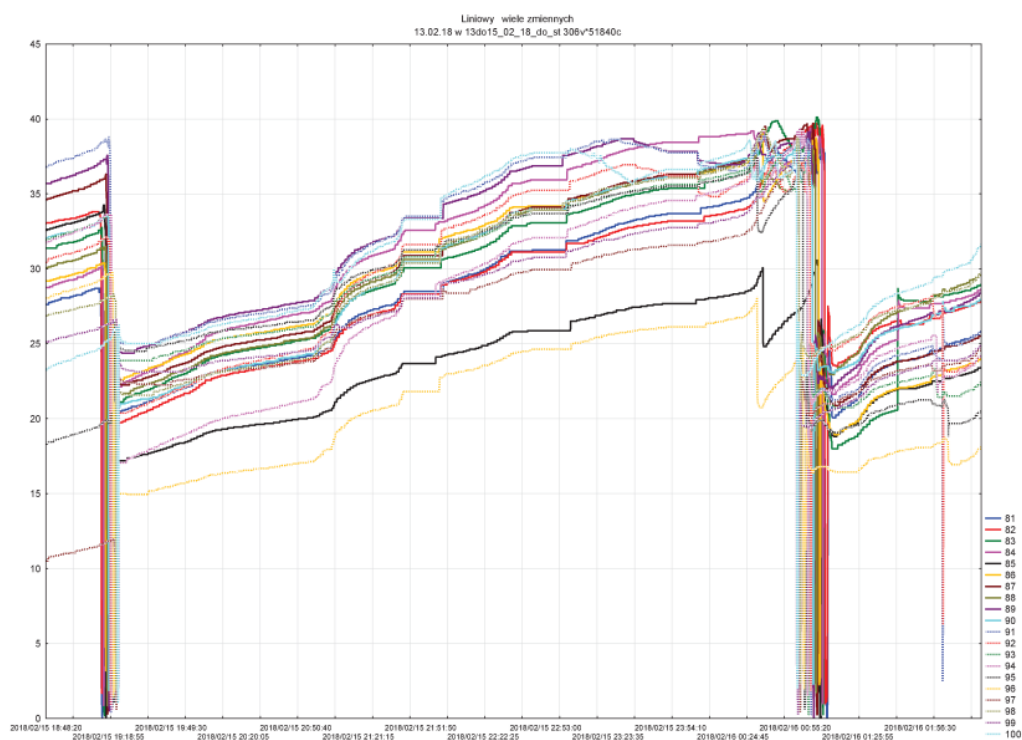
Rys. 5. Przykładowe poprawne przebiegi ciśnień w ścianie B po fazie rozruchu ściany

Podczas obserwacji ciśnień w stojakach sekcji można było lokalnie zauważyć okresy zadziałania zaworów roboczych wynikające z warunków stropowych, co przedstawiono na rysunku 6, w postaci przebiegów ciśnienia o kształcie „piły”, przed rabowaniem. Innym identyfikowanym zjawiskiem były grupy sekcji z rosnącym lub zmniejszającym się kolejno ciśnieniem. Prawdopodobną przyczyną sekwencyjnych zmian ciśnienia były różnice

obciążenia łamiących się warstw piaskowców w stropie bezpośrednim, jak pokazano na rysunku 7.



Rys. 6. Przykładowe przebiegi ciśnień podczas działania zaworów roboczych w ścianie B

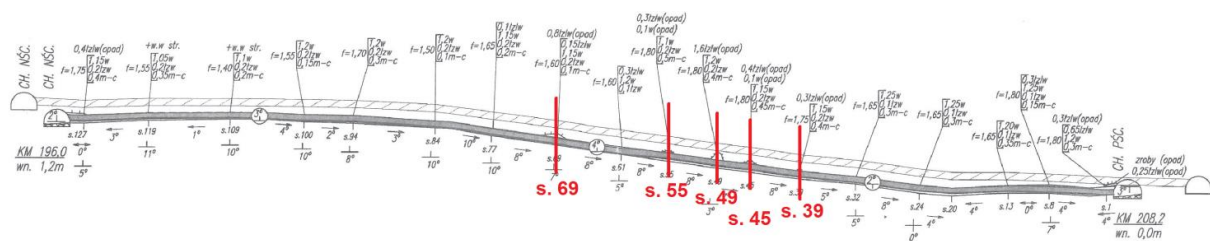


Rys. 7. Przykładowe przebiegi zmniejszających się sekwencyjnie ciśnień w ścianie B

4. Przykłady monitorowania zagrożeń z wykorzystaniem identyfikacji cykli pomiarowych w ścianach strugowych

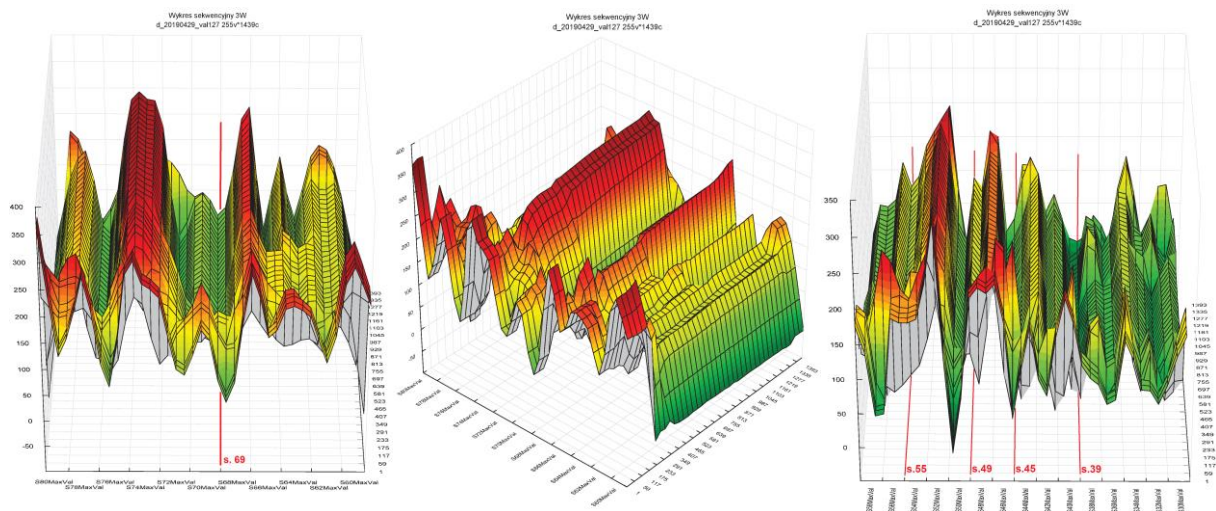
W ścianie strugowej C notowano utrudnienia związane z utrzymaniem stropu, objawiające się licznymi opadami jego warstw. Ze względu na podobieństwo charakterystyk wytrzymałościowych do ściany D, gdzie sytuacja była poprawna, a postępy ściany wyjątkowo duże, postanowiono porównać dane z obu systemów monitoringu obudowy zmechanizowanej, dotyczące pojedynczego wybranego dnia pomiarowego z każdej z kopalń.

Sytuację utrudnień na ścianie C ilustruje rysunek 8, na którym zaznaczono numery sekcji przy których obserwowano opady stropu.



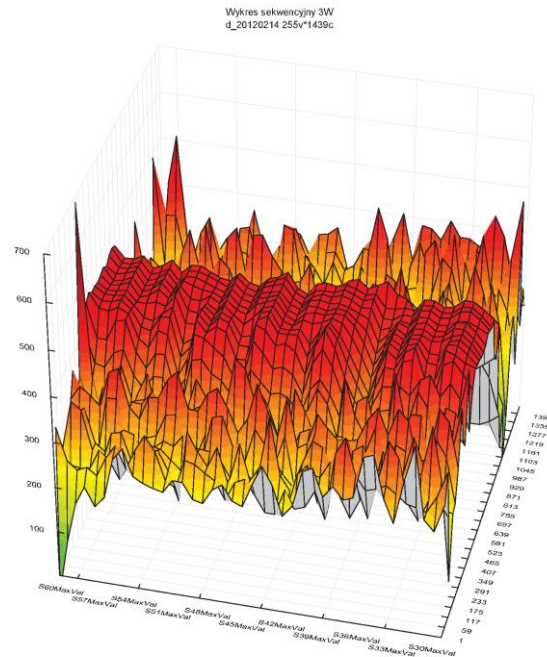
Rys. 8. Lokalizacja utrudnień w ścianie C

Następnie przedstawiono przebiegi ciśnień dla tych grup sekcji, dla jednego dnia, w postaci przestrzennej na rysunku 9, gdzie ciśnienia na osi pionowej wyrażone są w barach.



Rys. 9. Wykres przestrzenny ciśnienia w ścianie C

Zaobserwować można łatwo bardzo duże różnice rozwijanego ciśnienia pomiędzy sąsiednimi sekcjami obudowy zmechanizowanej. Opady stropu zlokalizowane były w rejonach obniżonych ciśnień. Dla porównania wykresy przestrzenne ze ściany D, gdzie sytuacja była bardzo korzystna, zaprezentowano na rysunku 10.



Rys. 10. Wykres przestrzenny ciśnienia w ścianie D

Zauważyć można nie tylko znacznie bardziej równomierny rozkład ciśnienia pomiędzy sąsiednimi sekcjami, ale także zdecydowanie wyższy generalnie poziom ciśnień. Różnice ciśnień w niewielkim stopniu można tłumaczyć nieco innymi warunkami wytrzymałościowymi i parametrami stosowanych typów obudowy, niemniej trudno je było dokładnie oszacować ze względu na brak wyraźnie udokumentowanych danych związanych m. in. z chwilową wysokością eksploatacji w obu ścianach. Wydaje się jednak, że główną przyczyną utrudnień w ścianie C było bardzo duże zróżnicowanie utrzymywanych ciśnień (a tym samym podporności) pomiędzy sąsiadującymi sekcjami, przy przeciętnie dość niskim ich średnim poziomie liczonym wzdłuż długości ściany.

5. Podsumowanie

Na podstawie przedstawionych przykładów i analiz można sformułować następujące uwagi:

1. Zakres sygnalizacji możliwych utrudnień związany jest ściśle z możliwościami technicznymi i stosowanym oprogramowaniem systemu monitoringu.
2. Jednak każdy stosowany poprawnie system monitoringu dostarczyć może cennych informacji na temat prowadzonego procesu wydobywczego.
3. Za pomocą zwykłych obserwacji poziomów mierzonych ciśnień można wyeliminować łatwo podstawowe trudności związane z np. niedostatecznym rozparciem sekcji przy przekładce sekcji lub brakiem szczelności stojaków.
4. Sygnalizacja stanów pracy o większym poziomie złożoności wymaga już określenia zestawu wartości granicznych dla mierzonych parametrów, potrzebnych do zainicjowania konkretnych ostrzeżeń. Odpowiedzialne ich wyznaczenie wymaga zgromadzenia odpowiedniej bazy danych pomiarowych i obserwacyjnych oraz przeprowadzenie odpowiedniej analizy zmierzającej do ich identyfikacji.
5. Można zaobserwować naturalną chęć nie dzielenia się wiedzą o swoich trudnościach, występujących w czasie eksploatacji ścianowej, niemniej w ten sposób ograniczamy

wyraźnie zakres analizy takich stanów. Czy możliwym jest jednak osiągnięcie innego sposobu myślenia i postępowania, by wiedza na temat możliwych do sygnalizowania zagrożeń stała się wartością dominującą?

6. Monitoring obudowy zmechanizowanej oraz właściwa analiza danych dostarczyć mogą wiele pożytecznych informacji poprawiających bezpieczeństwo pracy oraz efektywność procesu wydobywczego.

Podziękowania

W artykule wykorzystano wyniki prac wykonanych w ramach realizacji pracy statutowej finansowanej przez MNiSW: „Opracowanie zestawu metod i wskaźników obliczeniowych służących do oceny jakości i poprawności pracy obudowy zmechanizowanej w ścianie, na podstawie wskazań systemów monitoringu” (Symbol komputerowy pracy w GIG nr 11122018 - 152).

Literatura

- [1] Biliński A.: Metoda doboru obudowy ścianowych wyrobisk wybierkowych i chodnikowych do warunków pola eksploatacyjnego. CMG KOMAG 2005, Gliwice.
- [2] Peng S. S.: Longwall Mining. Syd S. Peng publisher, 2006, pp. 183-190.
- [3] Płonka M. + Zespół (11): Rozkład obciążenia obudowy zmechanizowanej w ścianie zawałowej i jego powiązania z prognozą utrzymania stropu. Dokumentacja z realizacji projektu badawczego własnego, dokumentacja GIG nr 04040316-152, niepublikowana, 2009r.
- [4] Płonka M. + Zespół (11): Charakterystyka podporności obudowy zmechanizowanej w niskiej ścianie kombajnowej w porównaniu do ściany strugowej, Praca statutowa GIG o symbolu: 11130122-152, niepublikowana, 2012 r.
- [5] Płonka M., Rajwa S.: Assessment of Powered Support Loadings in Plow and Shearer Longwalls in Regard to the Pressure Measurements in Props. International Mining Forum 2011. 24-26 November 2011 – Bogdanka, Poland. A Balkema Book. CRC Press, © 2011 Taylor & Francis Group, London, UK, pp. 221-232.
- [6] Płonka M., Rajwa S., Lubosik Z.: Ocena pracy obudowy zmechanizowanej na podstawie danych z systemów monitoringu i postępu sekcji. Przegląd Górniczy 2017, nr 4, s. 25÷33.

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

(<https://iopscience.iop.org/issue/1757-899X/679/1>)

dr inż. Sylwester Rajwa
srajwa@gig.eu

dr inż. Zbigniew Lubosik
zlubosik@gig.eu

dr inż. Marek Płonka
mplonka@gig.eu

Główny Instytut Górnictwa
Pl. Gwarków 1, 40-166 Katowice

Akumulatorowy układ zasilania urządzenia wiercącego realizowanego w ramach projektu INDIRES

Tomasz Trawiński
Marcin Szczygieł
Przemysław Deja
Bartosz Polnik

Battery power supply system for the drilling device
developed as part of the INDIRES project

Streszczenie:

W artykule przedstawiono wyniki pracy jakie zrealizowano w ramach projektu europejskiego INDIRES. Głównym celem realizowanego projektu jest poprawa bezpieczeństwa pracy w górnictwie, poprzez opracowanie nowych technologii wspomagających pracę ratowników górniczych, powiązanych z innowacyjnymi technologiami komunikacyjnymi możliwymi do zastosowania w przestrzeniach potencjalnie zagrożonych wybuchem metanu i/lub pyłu węglowego.

Słowa kluczowe: górnictwo, maszyny elektryczne, zasilanie akumulatorowe, urządzenie wiercące

Keywords: mining, electric machines, battery supply, drilling device

Abstract:

In the list of search results implemented as part of the INDIRES public project. The main goal of the implemented project is to improve work safety in mining, by developing new technologies supporting the work of mining rescuers, using innovative communication technologies that can be used in potentially explosive methane and / or coal dust.

„Praca naukowa finansowana ze środków finansowych na naukę w latach 2017-2020 przyznanych na realizację projektu międzynarodowego współfinansowanego”.

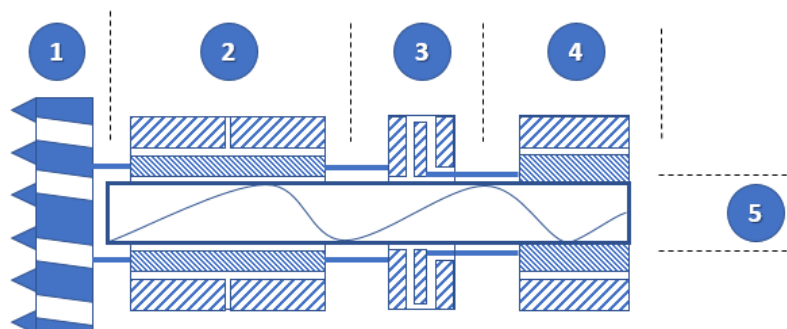
1. Wprowadzenie

INDIRES, to trzyletni projekt badawczy, który otrzymał dofinansowanie z Europejskiego Funduszu Badawczego Węgla i Stali (RFCS). Podstawowym celem Funduszu Badawczego Węgla i Stali jest realizacja programów badań i rozwoju technologicznego, wspierających konkurencyjność sektora badawczego w tych dwóch obszarach [5]. Głównym celem projektu INDIRES jest poprawa bezpieczeństwa pracy w górnictwie, poprzez opracowanie nowych technologii wspomagających pracę ratowników górniczych, powiązanych z innowacyjnymi technologiami komunikacyjnymi możliwymi do zastosowania w przestrzeniach potencjalnie zagrożonych wybuchem metanu i/lub pyłu węglowego. Prace badawcze w projekcie INDIRES prowadzone są przez interdyscyplinarne konsorcjum. Konsorcjum obejmuje cztery instytucje badawcze (DMT Niemcy, polskie instytuty: EMAG, GIG i KOMAG), dwóch producentów węgla (Premogovnik Velenje Słowenia i Polska Grupa Górnicza sp. z o.o.), spółkę inżynierską specjalizującą się w robotach podziemnych (Geocontrol Hiszpania) oraz trzy uniwersytety (University of Exeter Wielka Brytania, Universidad Carlos III de Madrid Hiszpania oraz Politechnika Śląska Polska) [6].

Jednym z zadań projektu jest opracowanie nowej metody wiercenia, która wyeliminuje wady wiercenia udarowego. Zastosowanie drgań skrętnych przy częstotliwościach bliskich lub równych naturalnej częstotliwości urabianego materiału może być bezpieczną metodą wiercenia [2, 3]. Zaproponowany nowy system wiertni składa się z trzech zasadniczych

elementów: generatora momentu skrętnego, indukcyjnego konwertera momentu obrotowego, oraz silnika głównego. Spośród nowatorskich technologii opracowanych w ramach projektu w niniejszym artykule przedstawiono akumulatorowy układ zasilania urządzenia wierzącego.

Urządzenie wierzące (rys. 1) przeznaczone jest do wiercenia otworów w węglu oraz skałach o określonej twardości, przy użyciu wiertel do wierceń obrotowych (maksymalna średnica otworu $\phi = 200$ mm).



Rys. 1. Przekrój urządzenia wierzącego [1]

1- głowica tnąca / ładująca, 2- generator momentu skrętnego, 3- indukcyjny konwerter momentu obrotowego, 4- silnik główny, 5- przenośnik ślimakowy

2. Akumulatorowy układ zasilania urządzenia wierzącego

2.1. Założenia ogólne

Urządzenie wierzące przeznaczone będzie do stosowania w podziemnych zakładach górniczych w wyrobiskach zaliczanych do stopnia „a”, „b” lub „c” niebezpieczeństwa wybuchu metanu oraz klasy „A” lub „B” niebezpieczeństwa wybuchu pyłu węglowego [8].

Wobec powyższego, podzespoły wyposażenia elektrycznego układu zasilania urządzenia wierzącego zostaną umieszczone w obudowie przeciwwybuchowej. Zaprojektowana obudowa przeciwwybuchowa składa się z dwóch komór: aparatury oraz baterii, połączonych elektrycznie. Zasilanie urządzeń odbiorczych jak i połączenie z siecią elektroenergetyczną kopalni realizowane jest za pomocą ognioszczelnych złączy wtykowych.

System zasilania powinien spełniać następujące wymagania techniczne:

- posiadać obudowę zapewniającą stopień ochrony przed dostępem osób do części niebezpiecznych, przed wnikaniami obcych ciał stałych oraz przed szkodliwymi skutkami wnikażącej wody, nie niższy niż IP 54,
- posiadać obwody sterowania, kontroli i blokad jako iskrobezpieczne kat. i_b ,
- zapewnić prowadzenie obwodów iskrobezpiecznych kat. i_b osobnymi kablami lub przewodami z zachowaniem rozdzielania obwodów dla różnych napięć iskrobezpiecznych,
- zapewnić obwody nieiskrobezpieczne w kontrolę upływową oraz prowadzone osobnymi przewodami lub kablami,
- zapewniać ochronę przed dotykiem bezpośrednim poprzez umieszczenie aparatury elektrycznej w obudowach,
- zapewniać ochronę przed dotykiem pośrednim poprzez zastosowanie zabezpieczeń przed skutkami zwarć, przeciążeń,

- posiadać obwody sterowania i sygnałowe,
- zapewnić prawidłową pracę w temperaturze otoczenia od 0°C do 40°C, przy wilgotności względnej do 95%,
- zapewniać rezystancję izolacji nie mniejszą niż 10 MΩ,
- posiadać właściwe odstępki izolacyjne powierzchniowe i w powietrzu,
- zapewniać uruchomienie urządzenia poprzez zamierzone uaktywnienie elementu sterowniczego,
- wyposażyć urządzenie w element sterowniczy umożliwiający w sposób bezpieczny całkowite zatrzymanie,
- wyposażyć urządzenie w co najmniej jeden element do zatrzymywania awaryjnego zapobiegający istniejącemu lub zagrażającemu niebezpieczeństwu,
- zapewnić, by przerwy w zasilaniu, przywrócenie zasilania po przerwie lub dowolnego rodzaju wahania w zasilaniu urządzenia nie mogły doprowadzać do niebezpiecznej sytuacji oraz niekontrolowanego zachowania maszyny.

Silnik główny, jak i generator momentu skrętnego urządzenia wierzącego zasilane będą napięciem 3x230 V; 50 Hz. W związku z powyższym akumulator posiada napięcie znamionowe 400 V DC. Ponieważ odbiorniki są zasilane prądem przemiennym, wymusza to konieczność zastosowania w pełni kontrolowanego przetwornika, który spełnia funkcje falownika dwukierunkowego. Z kolei akumulator wymaga ładowania, konieczna więc jest instalacja wewnętrznej ładowarki. Ładowarka zasilana jest z kopalnianej sieci elektroenergetycznej z izolowanym punktem neutralnym transformatora o napięciu 3x500 V; 50 Hz.

2.2. Bateria akumulatorów

Założono, że urządzenie wierzące będzie zasilane z baterii akumulatorów przez co najmniej 3 godziny. Sumaryczna moc znamionowa odbiorników wynosi około 10 kW. Pozostałe podzespoły wyposażenia elektrycznego ok. 0,5 kW. Moc znamionowa nie przekracza 11 kW. Zakładając, że układ napędowy zostanie obciążony znamionową mocą równą 11 kW, pojemność akumulatora urządzenia wierzącego wynosi:

$$C = P \cdot t \text{ [kWh]}$$

$$C = 11 \cdot 3 = 33 \text{ [kWh]}$$

Ponieważ zużycie energii wynosi zwykle około 0,7 mocy znamionowej, zdecydowano, że nominalna pojemność akumulatora wyniesie $C = 24 \text{ kWh}$.

Podczas prac projektowych systemu zasilania przeanalizowano rozwiązania akumulatorów nowej generacji. Jako główne źródło zasilania urządzenia wierzącego zaproponowano oraz poddano analizie następujące ogniwa:

- a) litowo-polimerowe,
- b) litowo-manganowe,
- c) litowo-jonowe,
- d) litowo-fosforanowo-żelazowe.

Ogniwa litowo-polimerowe (rys. 2) zastosowano po raz pierwszy w górnictwie do zasilania kolejki podwieszanej GAD-1 [4]. W tabeli 1 przedstawiono podstawowe parametry techniczne ogniwa litowo-polimerowego.

Parametry techniczne ogniwa litowo-polimerowego [1]

Tabela 1

Napięcie znamionowe	3,7 V
Max. napięcie rozładowania	3 V
Max. napięcie ładowania	4,15 V
Max. prąd ładowania	1 C
Max. prąd rozładowania	2 C
Temperatura podczas rozładowania	10 ~ 45°C
Temperatura podczas ładowania	-10 ~ 55°C



Rys. 2. Ogniwo litowo-polimerowe [1]

Ogniwa te posiadają hermetyczną obudowę o wysokiej elastyczności. Nie wydzielają gazów podczas normalnej pracy. Zaciski ogniwa wykonane są z dwóch metalowych pasków: aluminium i niklu, które dodatkowo pełnią funkcję bezpiecznika. Taki układ zacisków umożliwia fizyczną ochronę ogniwa przed zewnętrznym zwarcie. Producent podaje maksymalne napięcie rozładowania 3 V, poniżej tej wartości należy odłączyć i ładować ogniwo. Nie należy dopuścić do głębszego rozładowania, ponieważ niekorzystnie wpływa to na żywotność ogniwa. Podobnie przy maksymalnym napięciu ładowania producent podaje 4,15 V, dalsze przeładowanie ogniwa może spowodować jego uszkodzenie i niekorzystnie wpłynąć na jego żywotność.

Deklarowany przez producenta czas „życia” ogniwa (liczba cykli roboczych) wynosi ponad 2000 cykli, tj. ogniwo można 2000 razy rozładować i 2000 razy naładować, a jego pojemność nie będzie mniejsza niż 20%. Temperatura robocza zależy od zastosowania ogniwa. Jeśli ma działać tylko w trybie rozładowania, optymalne wykorzystanie ogniwa będzie w zakresie temperatur od 10 do 45°C.

Ogniwa te mają doskonałe parametry pod względem żywotności, a także bardzo wysoką gęstość energii. Ponadto charakteryzują się wysoką odpornością na wstrząsy, co jest ważne z punktu widzenia warunków pracy. Wadą jest możliwość zastąpienia stosunkowo niewielkiej odporności na wysokie temperatury (wymagają układów chłodzenia) i długim czasem ładowania. Ponadto należy wspomnieć, że mogą pracować tylko w pozycji poziomej, co z punktu widzenia ergonomii może być ważne.

Ogniwa litowo-manganowe (rys. 3) są ogniwami przeznaczonymi do pracy w warunkach wysokoprądowych. W tych komórkach anoda wykonana jest z litu, zaś materiałem reakcyjnym jest sproszkowany dwutlenek manganu.



Rys. 3. Ogniwo litowo-manganowe [1]

Energia elektryczna jest uwalniana podczas reakcji utleniania litu na anodzie. Podczas reakcji nie powstaje gaz. Akumulatory litowo-manganowe charakteryzują się niską impedancją wewnętrzną, co zapewnia bardzo korzystne charakterystyki napięcia podczas pracy z dużymi prądami. Zaleca się stosowanie akumulatorów litowo-manganowych wszędzie tam, gdzie możliwe jest działanie urządzenia w podwyższonej temperaturze. Podstawowe dane techniczne dla ogniw litowo-manganowych przedstawiono w tabeli 2.

Parametry techniczne ogniwa litowo-manganowego [1]

Tabela 2

Napięcie znamionowe	3 V
Max. napięcie rozładowania	2 V
Max. napięcie ładowania	4 V
Max. prąd ładowania	8 C
Max. prąd rozładowania	14 C
Temperatura podczas rozładowania	10 ~ 55 °C
Temperatura podczas ładowania	-10 ~ 75 °C

Główną zaletą ogniw litowo-manganowych w porównaniu z ogniwami litowo-polimerowymi jest możliwość ładowania dużym prądem, co znacznie skraca czas ładowania. Ponadto ogniwa te mogą pracować w wyższych temperaturach, a ich konstrukcja pozwala zamknąć więcej energii w mniejszej objętości. Główną wadą tego typu ogniw jest ich wysoka cena, a także brak doświadczenia w trudnych warunkach pracy. Ponadto wady obejmują stosunkowo niskie napięcie pojedynczego ogniwa wynoszące 3 V.

Ogniwa litowo-jonowe (rys. 4) są jednym z najnowszych rozwiązań wśród ogniw wielokrotnego ładowania (wtórnych).



Rys. 4. Ogniwa litowo-jonowe [1]

Głównymi zaletami ogniw litowo-jonowych są niska masa, mała objętość ogniwa, wysokie napięcie jednostkowe, brak efektu pamięci, wysoka gęstość energii, długa żywotność i niskie samorozładowanie. Baterie litowo-jonowe są powszechnie stosowane w nowoczesnym sprzęcie elektronicznym.

Podstawowe dane techniczne dla ogniw litowo-jonowych przedstawiono w tabeli 3.

Parametry techniczne ogniwa litowo-jonowego [1]

Tabela 3

Napięcie znamionowe	3,6 V
Max. napięcie rozładowania	2,5 V
Max. napięcie ładowania	4,2 V
Max. prąd ładowania	0,5 C
Max. prąd rozładowania	1 C
Temperatura podczas rozładowania	-20 ~ 60 °C
Temperatura podczas ładowania	0 ~ 45 °C

Ogniwa litowo-żelazowo-fosforanowe (rys. 5) są obecnie coraz częściej stosowane zarówno w przemyśle motoryzacyjnym, jak i przemyśle ciężkim.



Rys. 5. Ogniwa litowo-żelazowo-fosforanowe [1]

W górnictwie tego typu ogniwa zastosowano po raz pierwszy w układzie napędowym ciągnika podwieszono PCA-1. Ogniwa litowo-żelazowo-fosforanowe łączą zalety wysokiej wydajności prądowej, wysokiej gęstości energii, bezpieczeństwa i długiej żywotności. Ogniwa te są szczególnie odpowiednie do zastosowań wysokoprądowych. Cykl życia ogniwa sięga kilku tysięcy cykli ładowania / rozładowania. Ogniwa wykazują zwiększoną odporność na nieodpowiednie warunki pracy w porównaniu z innymi technologiami litowo-jonowymi.

Jednak zgodnie z dobrymi praktykami budowania systemów zasilania na bazie litu wymagają one zastosowania odpowiedniego systemu bezpieczeństwa.

Należy podkreślić, że ogniwa tego typu charakteryzują się wysoką stabilnością podczas pracy, a zatem nie występują gwałtowne zjawiska elektrochemiczne w przypadku np. przeładowywania.

Podstawowe dane techniczne dla ogniw litowo-żelazowo-fosforanowych przedstawiono w tabeli 4.

Parametry techniczne ogniwa litowo-żelazowo-fosforanowe [1]

Tabela 4

Napięcie znamionowe	3,2 V
Max. napięcie rozładowania	2 V
Max. napięcie ładowania	3,65 V
Max. prąd ładowania	3 C
Max. prąd rozładowania	3 C (10 C peak)
Temperatura podczas rozładowania	-20 ~ 60 °C
Temperatura podczas ładowania	0 ~ 45 °C

Na podstawie przedstawionego przeglądu ogniw litowych do zasilania urządzenia wierzącego wybrano ogniwa litowo-żelazowo-fosforanowe.

2.3. System nadzoru baterii akumulatorów

System nadzoru baterii akumulatorów (BMS) jest ważnym elementem maszyn i urządzeń zasilanych z akumulatorów litowych pracujących w podziemnych kopalniach. Należy stosować monitorowanie i kontrolę procesu magazynowania energii w zestawach ogniw akumulatorowych, aby ogniwa mogły funkcjonować tak długo, jak to możliwe, jako niezawodne i stabilne źródła energii elektrycznej, charakteryzując się jednocześnie wysoką wydajnością i wysokim poziomem ochrony. System BMS wykonuje kilka zadań, takich jak: pomiar napięcia, prądu i temperatury systemu, poziom naładowania ogniwa, ochrona ogniwa, zarządzanie temperaturą, kontrola ładowania / rozładowania, akwizycja danych, komunikacja z modułami wewnętrznymi i zewnętrznymi, monitorowanie i przechowywanie poprzednich danych, oraz wyrównanie napięcia na ogniwach akumulatorowych zwane równoważeniem ogniw. Jedną z najważniejszych funkcji BMS jest wyrównywanie pojemności poszczególnych ogniw baterii. Wyrównywanie pojemności ogniw polega na wyrównywaniu poziomu pojemności wszystkich ogniw, co odbywa się poprzez specjalnie zaprojektowany do tego celu system. Jest to konieczne, ponieważ poszczególne ogniwa, nawet te dostarczane przez tego samego producenta, mogą różnić się poziomem maksymalnego rozładowania, pojemności i rezystancji wewnętrznej. Różnice te mogą pogłębiać się podczas pracy. Dodatkowym niekorzystnym czynnikiem może być praca poszczególnych ogniw w różnych temperaturach. Powoduje to końcowy inny poziom naładowania, co z kolei wpływa na wartość całkowitej pojemności akumulatora. Dlatego wyrównywanie pojemności zestawu ogniw jest już zalecane w przypadku akumulatorów składających się z co najmniej trzech ogniw, a w przypadku większej liczby staje się koniecznością.

Konieczna jest skuteczna diagnostyka pakietu akumulatorów, aby mogły one działać tak długo, jak to możliwe, jako niezawodne i stabilne źródła energii elektrycznej, charakteryzując się jednocześnie wysoką efektywnością energetyczną i wysokim poziomem bezpieczeństwa.

W przypadku opracowanego systemu zasilania urządzenia wierzącego zdecydowano się na system BMS 2.0 ORION (rys. 6).



Rys. 6. BMS 2.0 ORION [7]

System BMS 2.0 ORION jest systemem komercyjnym, powszechnie stosowanym w przemyśle motoryzacyjnym z pasywnym układem wyrównywania pojemności baterii.

System BMS 2.0 ORION [7] charakteryzuje się:

- możliwością pomiaru do 180 ogniw połączonych szeregowo,
- wysoką odpornością na zakłócenia elektromagnetyczne,
- możliwością obliczania stanu naładowania (SOC),
- profesjonalnymi złączami blokującymi klasy motoryzacyjnej,
- możliwością obliczania limitu prądu rozładowania (DCL) oraz limitu prądu ładowania (CCL),
- możliwością pomiaru napięcia pojedynczego ogniwa między 0,5 a 5,0 V,
- podwójnymi interfejsami CANBUS 2.0B (w pełni programowalnymi),
- możliwością obsługi protokołu diagnostycznego OBD2.

2.4. Obudowa przeciwybuchowa

Prace projektowe obudowy przeciwybuchowej dla urządzenia wierzącego przeprowadzono w środowisku oprogramowania Autodesk Inventor i Autocad Mechanical z wykorzystaniem modułów weryfikacji wytrzymałości MES. Zespół projektowy zaangażowany w realizację zadania wykonał szereg modeli przestrzennych. Szczegółowe modele 3D pozwoliły na weryfikację funkcjonalności oraz określenie możliwości i ograniczeń w montażu poszczególnych elementów wyposażenia elektrycznego. Prace projektowe przeprowadzono w oparciu o następujące założenia:

- obudowa przeciwybuchowa powinna składać się z dwóch komór: komory akumulatora oraz komory aparatury elektrycznej,
- obudowa przeciwybuchowa powinna spełniać wymagania dotyczące stosowania w obszarach zagrożonych wybuchem metanu i / lub pyłu węglowego,

- obydwie komory powinny być niezależnymi konstrukcjami spawanymi połączonymi ze sobą za pomocą śrub i podkładek,
- falownik oraz ładowarka zabudowane w osłonie ognioszczelnej powinny być wyposażone w wymiennik ciepła,
- komory zostaną połączone ze sobą za pomocą ognioszczelnych izolatorów przepustowych,
- rozmieszczenie elementów wyposażenia elektrycznego powinno maksymalnie uprościć czynności montażowe i serwisowe.

W oparciu o powyższe założenia konstrukcyjne i na podstawie bieżących uzgodnień technicznych między zespołami projektowymi opracowano formę konstrukcyjną (część mechaniczną) obudowy ognioszczelnej. Przeprowadzona analiza wytrzymałości MES obudowy wykazała poprawność wytrzymałości konstrukcji obudowy.

3. Podsumowanie

W artykule przedstawiono wyniki pracy jakie zrealizowano w ramach projektu europejskiego INDIRES. Głównym celem realizowanego projektu jest poprawa bezpieczeństwa pracy w górnictwie, poprzez opracowanie nowych technologii wspomagających pracę ratowników górniczych, powiązanych z innowacyjnymi technologiami komunikacyjnymi możliwymi do zastosowania w przestrzeniach potencjalnie zagrożonych wybuchem metanu i/lub pyłu węglowego. W artykule przedstawiono akumulatorowy układ zasilania urządzenia wierzącego. Opracowany w ramach projektu INDIRES akumulatorowy układ zasilania urządzenia wierzącego zapewnia bezpieczne i prawidłowe działanie. Wyposażenie elektryczne zaprojektowano zgodnie z wymaganiami dla urządzeń stosowanych w przestrzeniach zagrożonych wybuchem, wynikającymi z Dyrektywy 2014/34/UE (ATEX) [8], Dyrektywy 2006/42/WE [9] oraz norm zharmonizowanych. Urządzenie wierzące jest przystosowane do pracy w podziemnych zakładach górniczych, w polach niemetanowych i metanowych o stopniu „a”, „b”, „c” niebezpieczeństwa wybuchu metanu oraz klasy „A” lub „B” niebezpieczeństwa wybuchu pyłu węglowego.

Literatura

- [1] INDIRES Sprawozdanie Task 4.4 – Drilling Rig: Power Supply and Control System Design D4.4 – Report on Drilling Rig Power Supply and Control System Design (praca niepublikowana).
- [2] Kowol P., Szczygieł M., Burlikowski W., Trawiński T.: Electromagnetic field calculations of multimodule electromechanical device for drilling process - main motor calculations. W: Applications of Electromagnetics in Modern Techniques and Medicine (PTZE), Račławice, 9-12 September 2018. Piscataway: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2018, s. 137-140.
- [3] Trawiński T., Szczygieł M., Tomas A., Electromagnetically excited torsional vibration to rock drilling suport. W: 19th International Symposium on Electromagnetic Fields in Mechatronics, Electrical and Electronic Engineering, 29-31 August 2019, Nancy, France.
- [4] Mróz J., Skupień K., Drwięga A., Budzyński Z., Polnik B., Czerniak D., Dukalski P.,

Brymora L. Akumulatorowy ciągnik podwieszany GAD-1 z innowacyjnym napędem jako alternatywa rozwiązań z napędem spalinowym. Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne 2012 nr 3 (96) s. 83-90.

- [5] Strona internetowa: https://ec.europa.eu/info/rfcs_en (06.12.2019 r.)
- [6] Strona internetowa: <http://indires.eu/> (06.12.2019 r.)
- [7] Strona internetowa: <https://www.orionbms.com/> (06.12.2019 r.)
- [8] Dyrektywa 2014/34/UE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 26 lutego 2014 r. w sprawie harmonizacji ustawodawstw państw członkowskich odnoszących się do urządzeń i systemów ochronnych przeznaczonych do użytku w atmosferze potencjalnie wybuchowej.
- [9] Dyrektywa 2006/42/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 17 maja 2006 r. w sprawie maszyn, zmieniająca dyrektywę 95/16/WE.

dr hab. inż. Tomasz Trawiński, prof. PŚ

dr inż. Marcin Szczygieł

Politechnika Śląska

Wydział Elektryczny Katedra Mechatroniki

ul. Akademicka 10a, 44-100 Gliwice

mgr inż. Przemysław Deja

bpolnik@komag.eu

dr inż. Bartosz Polnik

bpolnik@komag.eu

Instytut Techniki Górniczej KOMAG

ul. Pszczyńska 37, 44-101 Gliwice

Czy wiesz, że

... Po czterech latach przerwy Kopalnia Pniówek ponownie uruchomiła wydobywanie z użyciem technologii strugowej. Ściana strugowa PW -1 w pokładzie 358/1 ma wybieg początkowy 720 metrów i długość 200 metrów. Eksploatacja jest prowadzona w pokładzie o miąższości od 1 do 1,4 metra. Na razie prace są na etapie początkowym, ale w przyszłości planowany jest dzienny postęp o odległości 8,2 m co pozwoli na wydobywanie ok. 3000 t węgla. Kompleks ścianowy, w którego skład wchodzi: strug GH9-38/VE, sekcje obudowy zmechanizowanej JZR-11/25 oraz przenośnik ścianowy PF4/932, pozwala na eksploatację pokładów o miąższości od 1 do 1,7 metra. Głowica strugowa może wykonać nawet 21 centymetrowy skraw węgla z prędkością 1,9 metra na sekundę. Tak duży postęp dobowy frontu ścianowego wymaga od załogi sprawnego przygotowania chodników przyścianowych. Ściana strugowa jest prawie w pełni zautomatyzowana, jej sterowanie odbywa się za pomocą pulpitu sterowniczego znajdującego się z w chodniku podścianowym. Obsada pracowników w ścianie jest ograniczona do minimum i wynosi trzy, cztery osoby. Warto nadmienić, że w ścianie eksploatowanej w sposób tradycyjny, obsada wynosi 12 osób. Planowane zakończenie eksploatacji ściany PW-1 zaplanowano na połowę marca 2020 roku.

<https://www.jsw.pl/media/wydarzenia/artukul/powrot-struga/> (dostęp 26.11.2019)

Agregaty konstrukcji KOMAG przeznaczone do chłodzenia silników elektrycznych dużych mocy

Krzysztof Nieśpiałowski
Mateusz Wójcicki

Cooling devices designed by KOMAG intended
for cooling the high-power electric motors

Streszczenie:

Powszechnie stosowane w krajowym górnictwie chłodzenie maszyn wyposażonych w napędy elektryczne dużych mocy wodą z magistrali ppoż. odprowadzaną po zużyciu do kanału ściekowego, generuje duże problemy technologiczne i ekonomiczne związane z jej ponownym odprowadzeniem na powierzchnię. W artykule przedstawiono koncepcję otwartego i zamkniętego układu chłodzenia górniczych maszyn dużych mocy. Stanowią one alternatywę dla metody powszechnie wykorzystywanej. Porównano wady i zalety omawianych układów w zależności od warunków zastosowania.

Słowa kluczowe: górnictwo, maszyny górnicze, napędy elektryczne, układ chłodzenia

Keywords: mining industry, mining machines, electric drives, cooling system

Abstract:

Cooling of the machines used in the mining industry, equipped with high-power electric drives, by water from the mine fire system generates technological and economic problems associated with re-transportation of water to the surface. The concept of open and closed system for cooling the high-power mining machines is presented. This is an alternative to the commonly use method. Advantages and disadvantages of the discussed systems are compared.

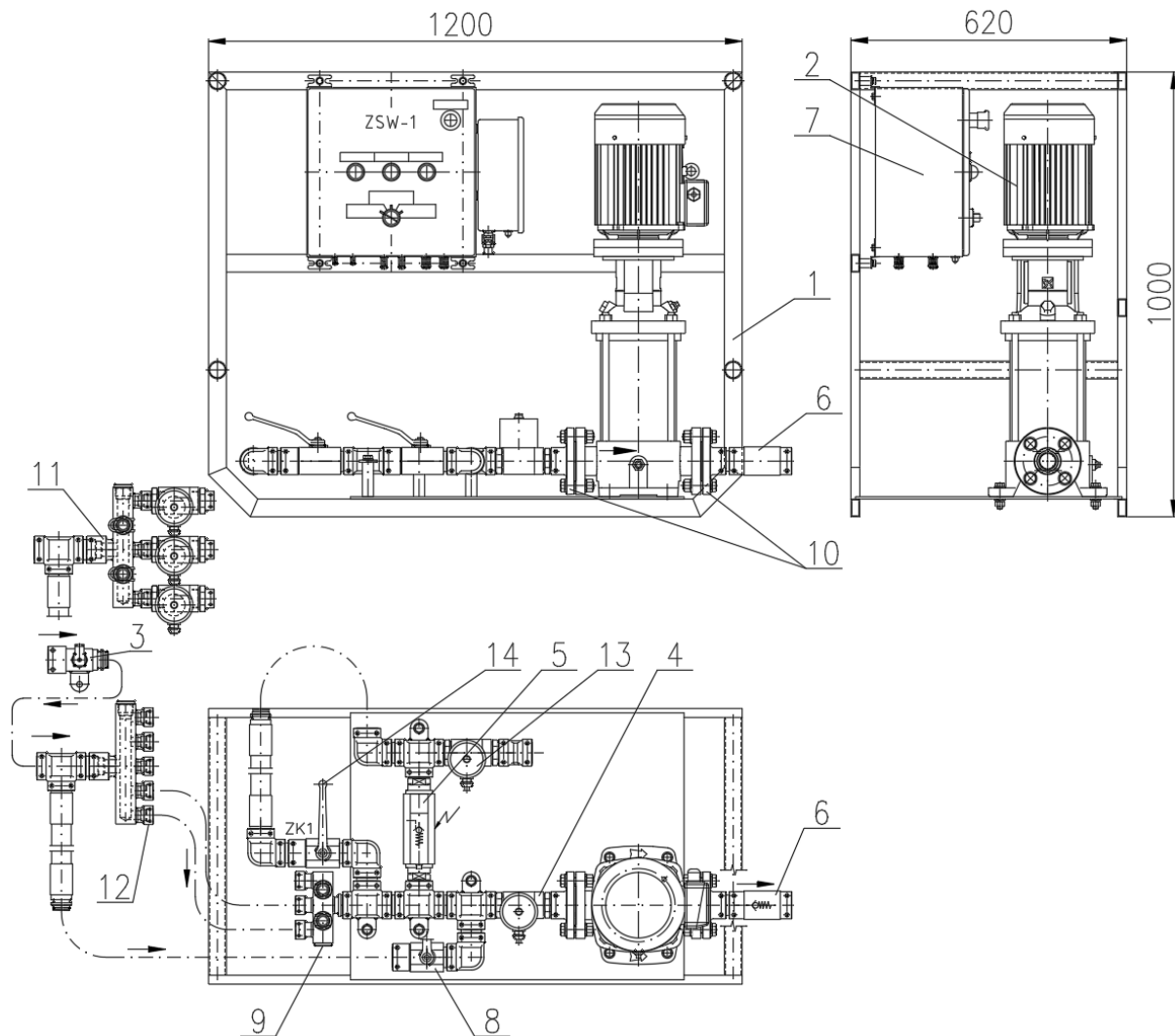
1. Wstęp

W wyrobiskach podziemnych w napędach maszyn i urządzeń stosowane są silniki elektryczne dużych mocy (do 500 kW). Silniki te zbudowane są jako przeciwwybuchowe i z reguły wymagają chłodzenia wymuszonego [11, 13, 14]. Chłodzenie to realizowane jest za pomocą wody dostarczanej z rurociągów p.poż. [1, 2, 3]. Zużywana woda, po schłodzeniu silnika elektrycznego, odprowadzana jest bezpośrednio na spąg lub do kanałów ściekowych. Zużycie wody dla opisywanego modelu jest stosunkowo duże, co niekorzystnie wpływa na bilans ekonomiczny stosowania silników chłodzonych wodą oraz wymaga dodatkowego zużycia energii elektrycznej, celem wypompowania zużytej wody z powrotem na powierzchnię.

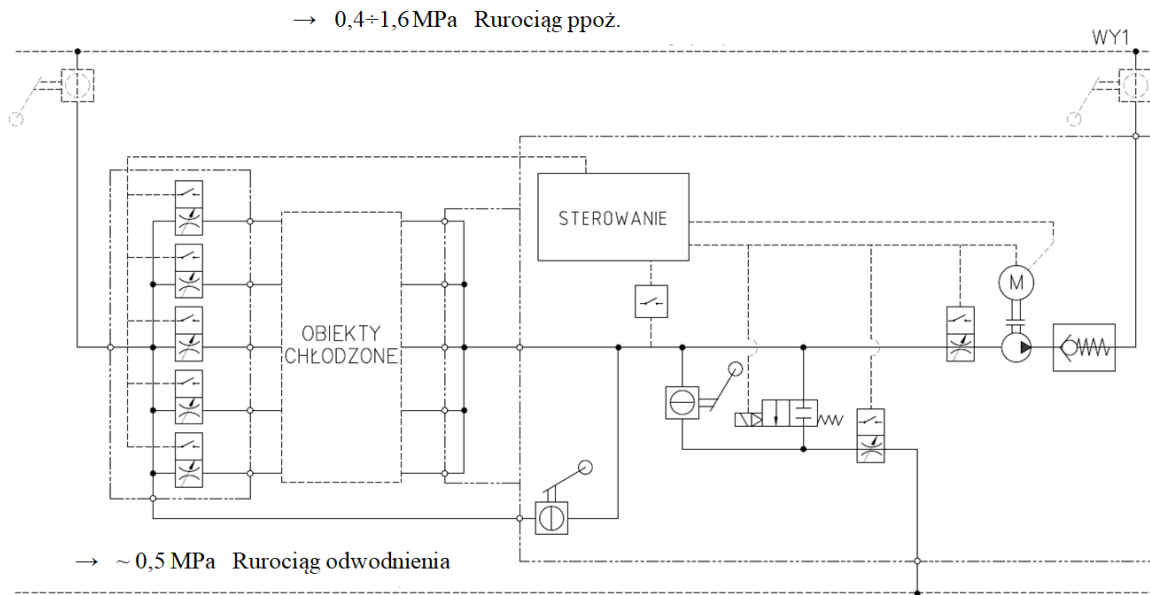
Alternatywą opisywanej metody chłodniczej jest zastosowanie jednego z dwóch układów chłodzenia opracowanych w Instytucie Techniki Górniczej KOMAG. W układzie otwartym, woda pobierana z układu ppoż., po odebraniu energii cieplnej z pracujących silników elektrycznych, jest z powrotem wtłaczana do magistrali ppoż. Eliminuje to konieczność wypompowywania jej na powierzchnię celem ponownego uzdatniania oraz pozwala na powtórne wykorzystanie w innych procesach technologicznych realizowanych w kopalni. Drugim opisywanym wariantem chłodzenia jest układ zamknięty, który całkowicie eliminuje potrzebę korzystania z magistrali ppoż. Układ wyposażony jest w zbiornik chłodziwa i chłodnicę, które na bieżąco studzą medium użyte w procesie chłodzenia maszyn. W dalszej części artykułu opisano zasadę działania obydwu układów.

2. Koncepcja agregatu chłodniczego w układzie otwartym

Urządzenie chłodnicze przeznaczone jest do ciągłej pracy w sprzężeniu z układami chłodniczymi maszyn różnego typu (silniki elektryczne, przekładnie itp.). Zasada działania układu opiera się na pobieraniu wody z górniczej magistrali ppoż., kierowaniu jej do kanałów chłodniczych studzonych zespołów, a następnie ponownemu wtłaczaniu (za pośrednictwem pompy wirowej) do magistrali ppoż. Rysunek koncepcyjny zespołu pompowego układu chłodzenia przedstawiono na rysunku 1, natomiast schemat hydrauliczny układu zaprezentowano na rysunku 2.



Rys. 1. Koncepcja zespołu pompowego układu chłodzenia w układzie otwartym [6, 9]:
1-rama montażowa, 2-pompa wodna, 3-przetwornik temperatury, 4-przepływomierz, 5-elektrozawór, 6-zawór zwrotny, 7-podzespół sterowania elektronicznego, 8,14-zawór kulowy, 9,11,12-kolektor, 10-gniazdo typu Stecko, 13-sygnalizator przepływu



Rys. 2. Schemat hydrauliczny otwartego układu chłodzenia [6, 9]

Zespół pompowy umożliwia pobór wody z rurociągu p.poż., wykorzystanie jej w układzie chłodzenia maszyn stacjonarnych i zwrot jej do rurociągu. Składa się on z ramy montażowej (rys. 1, poz. 1), na której zamontowano wirową pompę wodną (poz. 2), napędzaną silnikiem elektrycznym. Do pompy wodnej, od strony ssącej, zabudowano przepływomierz (poz. 4), natomiast od strony tłocznej zawór zwrotny (poz. 6). Do strony ssącej doprowadzono również odrębny przewód hydrauliczny, zakończony zaworem kulowym ZK2 (poz. 8). Przewód ten stanowi niezależny układ zasilania pompy, który poprzez odpowiednie ustawienie zaworu ZK2, ma za zadanie nie dopuścić do pracy urządzenia w warunkach kawitacji (pojawienie się w określonym obszarze cieczy poddanej podciśnieniu lub gwałtownemu spadkowi ciśnienia pęcherzyków gazu [5, 8]). Ilość przepływającej przez pompę wirową cieczy wskazywana będzie przez sygnalizator przepływu (poz. 4). Do gniazd wejściowych zostaną podłączone hydraulicznie obiekty chłodzone, natomiast gniazdo wyjściowe połączone będzie z zespołem pompowym [6].

Równoległe do linii przepływu wody przez pompę, przewidziano linię jej awaryjnego przepływu. W przypadku uszkodzenia lub postoju pompy, woda, poprzez elektrozawór sterowany automatycznie (poz. 5), kierowana będzie z układu chłodzenia do koryta ściekowego. W linii tej umieszczono również sygnalizator przepływu (poz. 13), współpracujący z podzespołem sterowania elektronicznego. Ponadto, zastosowano ręcznie sterowany zawór kulowy ZK1 (poz. 14), umożliwiający udrożnienie przepływu wody w przypadku uszkodzenia podzespołu sterowania elektronicznego [6].

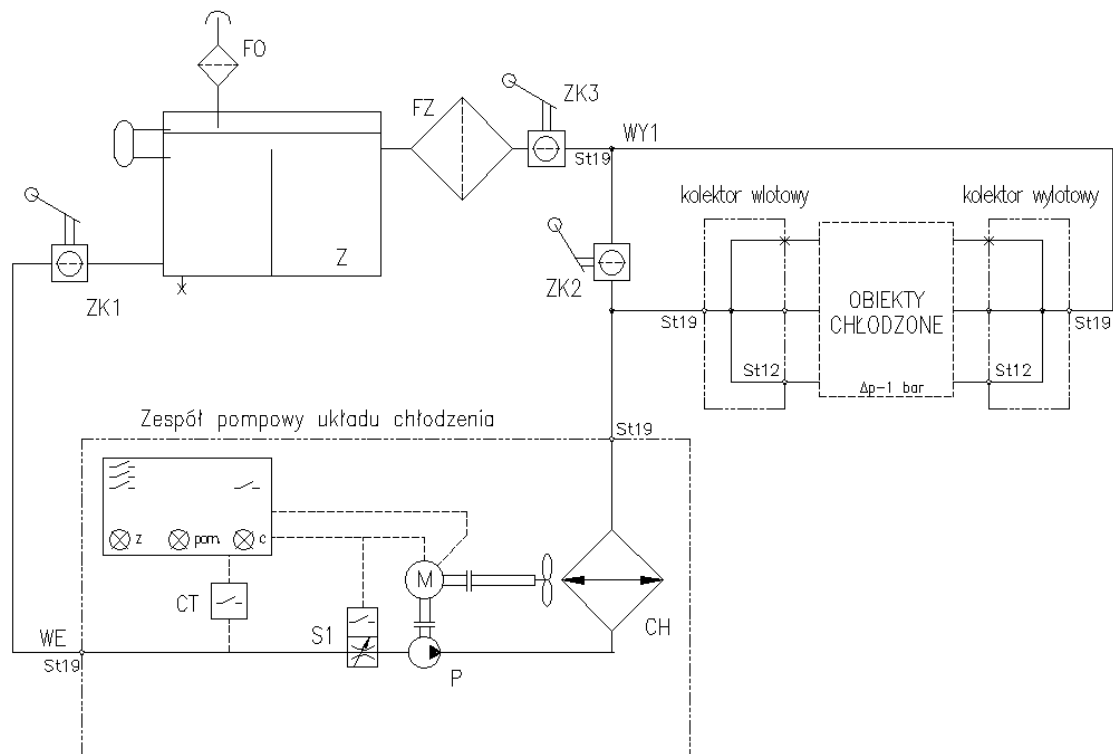
Za właściwą pracę pompy wirowej [12] odpowiada podzespół sterowania elektronicznego (poz. 7).

Połączenie poszczególnych odbiorników chłodzonych wodą z układu ppoż. realizowane jest za pomocą kolektora (poz. 12). Kolektor w wykonaniu specjalnym (poz. 11), wyposażono w sygnalizatory przepływu, zabudowane w każdym gnieździe wyjściowym, umożliwiające obserwację wielkości przepływu cieczy chłodzącej przez poszczególne odbiorniki. W obu przypadkach liczbę wykorzystywanych dróg zasilających określi użytkownik [6].

Ze względu na zanieczyszczenia pochodzące z układu ppoż. oraz układów chłodniczych studzonych maszyn, stosowanie otwartego układu chłodzenia wymaga ciągłej współpracy z dodatkowym układem filtrującym.

3. Rozwiązania koncepcyjne układu zamkniętego

Podczas prowadzonych prac konstrukcyjnych opracowano trzy rozwiązania zamkniętego układu chłodzenia. Kolejno stanowią one proces rozwojowy opracowywanej koncepcji układu zamkniętego, a każde kolejne rozwiązanie stanowi wersję rozwojową poprzedniego. Pierwsze z nich w swej budowie opiera się o zbiornik hydrauliczny, za którym zabudowano pompę hydrauliczną, napędzaną silnikiem elektrycznym w wykonaniu przeciwwybuchowym. Cechą charakterystyczną dobranego silnika elektrycznego jest wyprowadzony z obydwu stron silnika wał napędowy, umożliwiający równoczesny napęd pompy oraz wentylatora chłodnicy co schematycznie przedstawiono na rysunku 3 [4, 7].



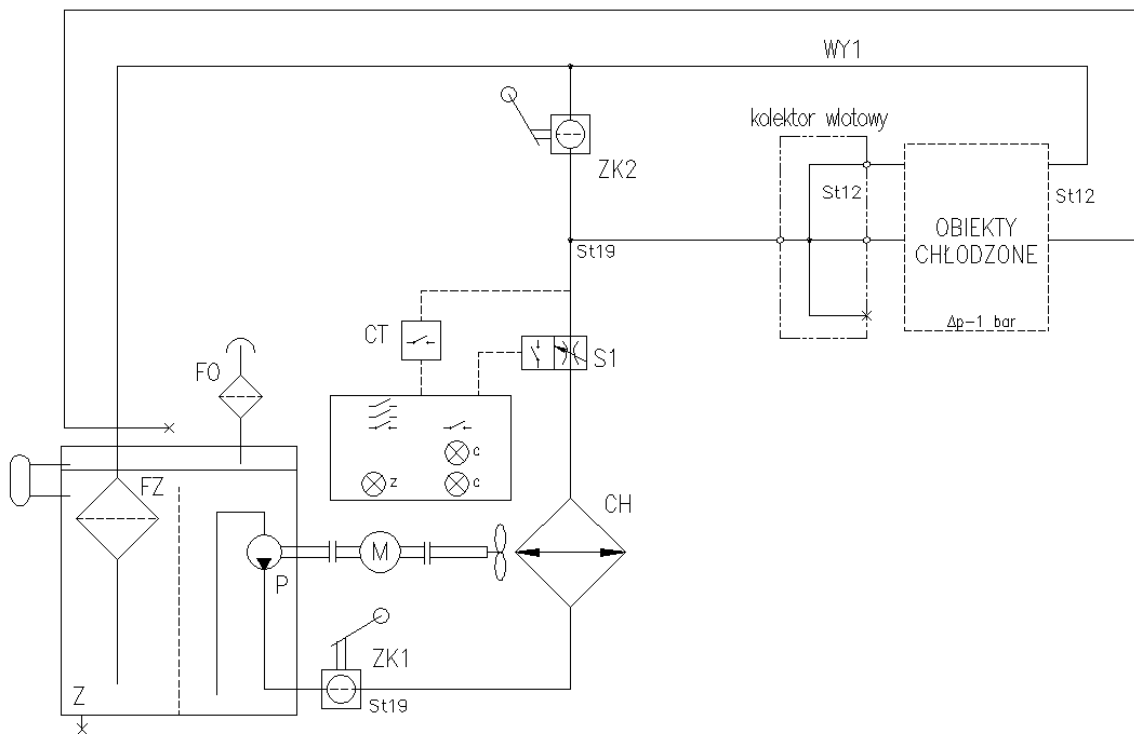
Rys. 3. Schemat hydrauliczny pierwszej koncepcji zespołu zamkniętego układu chłodzenia [7, 10]:
Z-zbiornik, ZK-zawór kulowy, P-pompa hydrauliczna, M-silnik elektryczny, CH-chłodnica powietrzno – wodna, S1-sygnalizator przepływu, CT-przetwornik temperatury, FZ-filtr zlewowy, FO-filtr oddechowy

W przedstawionym rozwiązaniu medium hydrauliczne będzie zasysane przez pompę ze zbiornika i tłoczone do kolektora wlotowego, odpowiadającego za dostarczenie go do obiektów chłodzonych. Po odebraniu ciepła, ciecz będzie wpływać do kolektora wylotowego, z którego przez filtr zlewowy, będzie przepływać do zbiornika. Układy przepływowe maszyn elektrycznych połączono z kolektorem wylotowym przewodami elastycznymi. Na linii ssania pompy zabudowano sygnalizator przepływu, współpracujący z układem sterowania. Na podstawie jego wskazań, układ sterowania „zdecyduje” o uruchomieniu silnika elektrycznego napędzającego pompę oraz zasygnalizuje możliwość pracy pompy w kawitacji.

Na doprowadzeniu wody chłodzącej do zbiornika zastosowano zawory odcinające. Zawór ZK2, połączony równolegle z obiektami chłodzonymi, służyć będzie do uzyskania pełnego przepływu przez układ, bez dławienia na pompie. Zawory ZK1 i ZK3 posłużą do odcięcia zbiornika płynu chłodzącego podczas prac serwisowych. Zbiornik hydrauliczny wyposażono w filtr odpowietrzający, wskaźnik poziomu cieczy oraz korek spustu cieczy chłodzącej [4, 7].

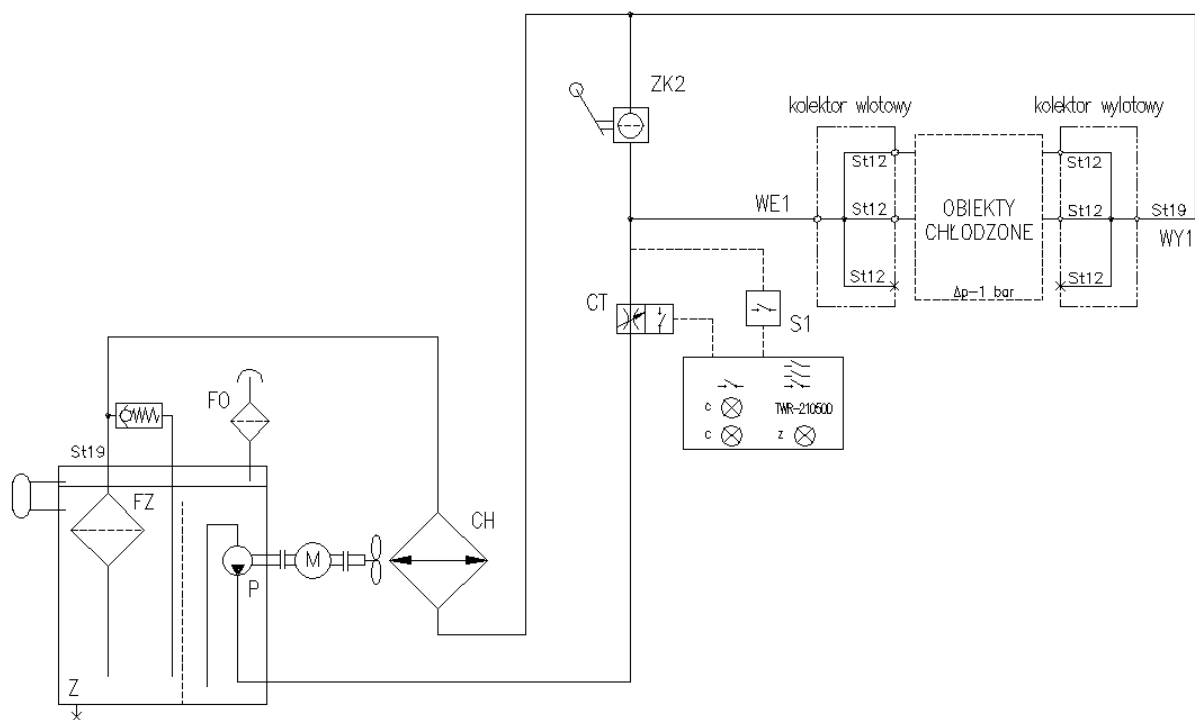
Po przeanalizowaniu przez zespół autorski powyższego rozwiązania, zdecydowano o zabudowaniu pompy hydraulicznej wewnątrz zbiornika hydraulicznego, a kolektor wyjściowy przeniesiono na filtr zlewowy, który również został wprowadzony do wnętrza zbiornika (poza jego pokrywę serwisową) [4, 7]. Wprowadzenie pompy do zbiornika czyni agregat bardziej kompaktowym oraz eliminuje konieczność stosowania przewodu ssawnego. Natomiast przeniesienie kolektora uprosi proces podłączania odbiorników.

Na rysunku 4 pokazano zmodyfikowany układ chłodzenia w obiegu zamkniętym.

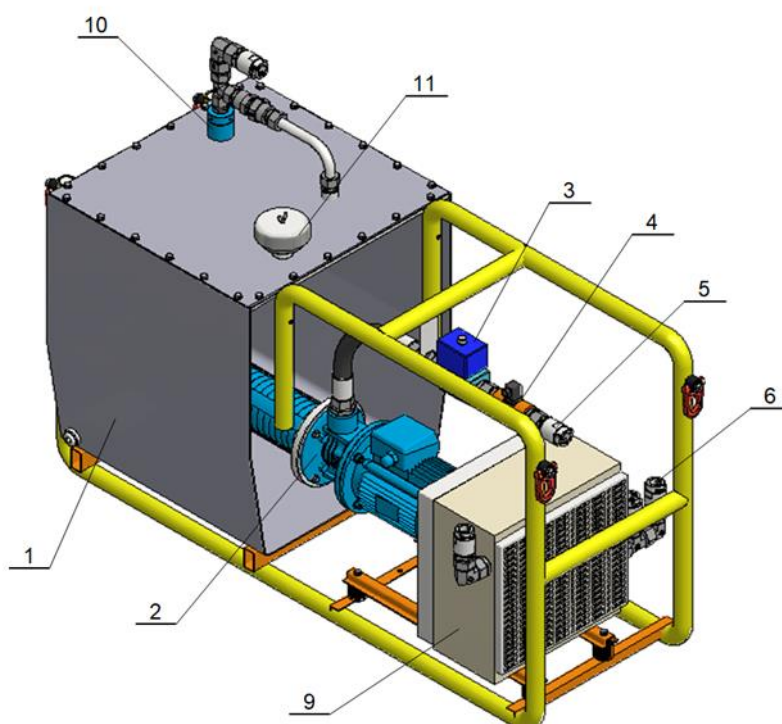


Rys. 4. Schemat hydrauliczny drugiej koncepcji zespołu zamkniętego układu chłodzenia [7, 10]: Z-zbiornik, ZK-zawór kulowy, P-pompa hydrauliczna, M-silnik elektryczny, CH-chłodnica powietrzno – wodna, S1-sygnalizator przepływu, CT-przetwornik temperatury, FZ-filtr zlewowy, FO-filtr oddechowy

Biorąc pod uwagę teoretyczne koszty wykonania oraz usprawnienie podłączenia obiektów chłodzonych zdecydowano, że kolektory wlotowy i wylotowy mogą zostać przeniesione na ramę zespołu pompowego. Zachowano również jedno gniazdo rezerwowe dla podłączenia dodatkowego obiektu chłodzonego o podobnych parametrach przepływowych, jak pozostałe. Rozwiązanie to schematycznie pokazano na rysunku 5, i jako model 3D, na rysunku 6 [4, 7].



Rys. 5. Schemat hydrauliczny trzeciej koncepcji zespołu zamkniętego układu [7, 10]:
Z-zbiornik, ZK-zawór kulowy, P-pompa hydrauliczna, M-silnik elektryczny, CH-chłodnica powietrzno – wodna, S1-sygnalizator przepływu, CT-przetwornik temperatury, FZ-filtr zlewowy, FO-filtr oddechowy



Rys. 6. Model zespołu zamkniętego układu chłodzenia [4, 7]:
1-podzespół zbiornika, 2-podzespół pompowo – silnikowy, 3-sygnalizator przepływu, 4-przetwornik temperatury, 5-podzespół kolektora zlewowego, 6-podzespół kolektora tłocznego, 9-podzespół chłodnicy, 10-podzespół filtra zlewowego, 11-filtr oddechowy

4. Podsumowanie

W artykule przedstawiono koncepcję otwartego i zamkniętego układu chłodzenia maszyn napędzanych silnikami elektrycznymi dużych mocy, przewidzianych do zastosowania w podziemnych wyrobiskach górniczych.

Zastosowanie zamkniętego układu chłodzenia, w którym czynnik roboczy będzie krążył na drodze zbiornik – obiekt chłodzony – chłodnica, pozwoli na wyeliminowanie poboru wody z rurociągu p.poż. W układzie zamkniętym będzie można stosować ciecz z dodatkami o własnościach antykorozyjnych, konserwującymi układy chłodnicze maszyn. Takie podejście powinno ograniczyć koszty użytkowania i serwisowania maszyn napędzanych silnikami elektrycznymi. Mimo całkowitego uniezależnienia agregatu pracującego w układzie zamkniętym od dostaw wody rurociągiem p.poż., jego podstawową wadą (w stosunku do układu otwartego) są znacząco wyższe koszty wykonania, związane głównie z koniecznością zastosowania chłodnicy i zbiornika hydraulicznego. W układzie otwartym, dzięki ciągłemu pobieraniu wody z układu p.poż. oraz po odebraniu energii cieplnej ze studzonych urządzeń i ponownym jej wtłaczaniu do układu p.poż., całkowicie wyeliminowano konieczność stosowania wspomnianych podzespołów.

Wobec powyższego, układy otwarte i zamknięte mogą być stosowane zamiennie w zależności od wymagań związanych z miejscem eksploatacji.

Literatura

- [1] Bojjko I.G., Omel'chenko A.N., Shikhova L.K.: Dwuobwodowy układ chłodzenia silników elektrycznych przeciwwybuchowych. Ugol' Ukr. 2007 nr 5 s. 43-47.
- [2] Krok R.: Modele stosowane w systemach komputerowego wspomaganie projektowania silników górniczych. Napędy i Sterowanie 2019 nr 7/8 s. 90-94.
- [3] Niewiara M., Bartnik D.: Nowe konstrukcje w ofercie produkcyjnej DFME DAMEL SA w tym silniki stosowane w napędach przenośników taśmowych, Materiały na konferencję: Transport taśmowy a optymalizacja pracy pod ziemią, XXII Międzynarodowe Sympozjum, Zakopane, 8-9 maja 2014 s. 85-94.
- [4] Nieśpiałowski K. i inni: Agregat chłodniczy w układzie zamkniętym dla silników elektrycznych maszyn górniczych. Masz. Gór. 2018 nr 3 s. 47-56, ISSN 2450-9442.
- [5] Osiecki A.: Hydrostatyczny napęd maszyn. WNT Warszawa 1998.
- [6] Rawicki N. i inni: Koncepcja zespołu pompowego układu chłodzenia. ITG KOMAG, 2018 (materiały niepublikowane).
- [7] Rawicki N. i inni: Opracowanie koncepcji zamkniętego układu chłodzenia silników elektrycznych. ITG KOMAG, 2018 (materiały niepublikowane).
- [8] Stryczek S.: Napęd hydrostatyczny. WNT Warszawa 1990.
- [9] Dokumentacja techniczna: Zespół pompowy układu chłodzenia; ITG KOMAG, 2017.
- [10] Dokumentacja techniczna: Zamknięty układ chłodzenia silników elektrycznych; ITG KOMAG, 2018.
- [11] <https://automatykab2b.pl/temat-miesiaca/39636-silniki-i-napedy-do-stref-zagrozonych-wybuchem/strona/1> (20-05-2019).

- [12] <https://pl.grundfos.com> (24-05-2019).
 [13] <http://www.damel.com.pl> (20-05-2019).
 [14] <http://www.komel.katowice.pl> (20-05-2019).

dr inż. Krzysztof Nieśpiałowski
 kniespialowski@komag.eu

mgr inż. Mateusz Wójcicki
 mwojcicki@komag.eu

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

Czy wiesz, że

... Specjaliści firmy EMCO stworzyli model 3D kopalni Solntsevsky znajdującej się w Sachalinie w Rosji. Tego typu model daje dokładniejszy obraz nie tylko powierzchni, ale także struktury rezerw złożowych dla całej badanej głębokości: złoża pokładów węgla, objętości rezerw, jakości i właściwości fizyko-mechanicznych węgla oraz ilości nadkładu. Od 2020 r., dzięki nowemu cyfrowemu modelowi szybu, pracownicy będą w stanie dokładniej przewidzieć perspektywę zagospodarowania złoża, a tym samym szybciej wybrać najbardziej optymalny wariant wydobywania węgla w kopalni. Aby stworzyć cyfrową wersję kamieniołomu wykorzystano możliwości systemu informatycznego Micromine, najbardziej zaawansowanego w górnictwie i pracach geologicznych. Do stworzenia trójwymiarowego modelu wykorzystano dane z wcześniejszych prac poszukiwawczych i geologicznych, zdigitalizowane rysunki z poprzednich lat, dane z klasycznych badań kopalni i zdjęcia lotnicze. Informacje te zostały zintegrowane z systemem i przetworzone w jeden kompleksowy model złoża w kopalni Solntsevsky. Jedną z kluczowych opcji programu jest możliwość przewidywania cech złóż węgla, co pozwala EMCO na zapewnienie produkcji wysokiej jakości paliwa stałego. Jest to niezwykle ważne na konkurencyjnym rynku Azji i Pacyfiku. Specjaliści planują opracowanie automatycznego algorytmu przebudowy modelu jednostki produkcyjnej z uwzględnieniem nowych danych eksploracyjnych i eksploatacyjnych. Pozwoli to w razie potrzeby na szybkie dostosowanie modelu.

www.worldcoal.com/special-reports/25112019/new-digital-technologies-will-help-emco-mine-coal-more-efficiently/ (dostęp 26.11.2019)

Drażenie pomocniczych tuneli ratowniczych

Sebastian Janas
Marek Kalita
Zbigniew Szkudlarek

Driving the auxiliary rescue tunnels

Streszczenie:

W artykule przedstawiono metodę drażenia pomocniczych tuneli ratowniczych z wykorzystaniem mało średnicowej głowicy tnąco-ładującej, która wykorzystuje pulsujący moment obrotowy o częstotliwościach odpowiednio dobranych dla urabianej skały. Jest ona zabudowana na platformie wiertniczej. Zaprezentowano budowę i opisano główne elementy głowicy.

Słowa kluczowe: inżynieria mechaniczna, budowa i eksploatacja maszyn, ratownictwo górnicze, tunel ratowniczy, sprzęt wiertniczy

Keywords: mechanical engineering, machine design and use, main rescue operations, rescue tunnel, drilling equipment

Abstract:

Method of driving auxiliary rescue tunnels using the small-diameter cutting-loading head, with the pulsating torque of the frequencies selected for the type of mined rock is presented. The head is installed on a drilling platform. The design and main components of the head are presented.

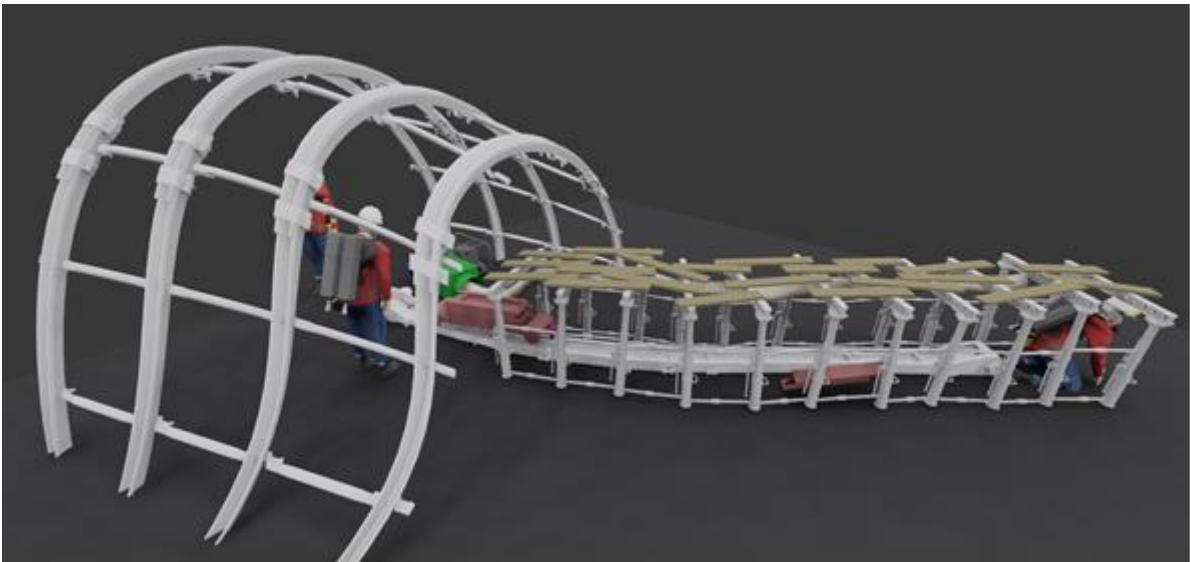
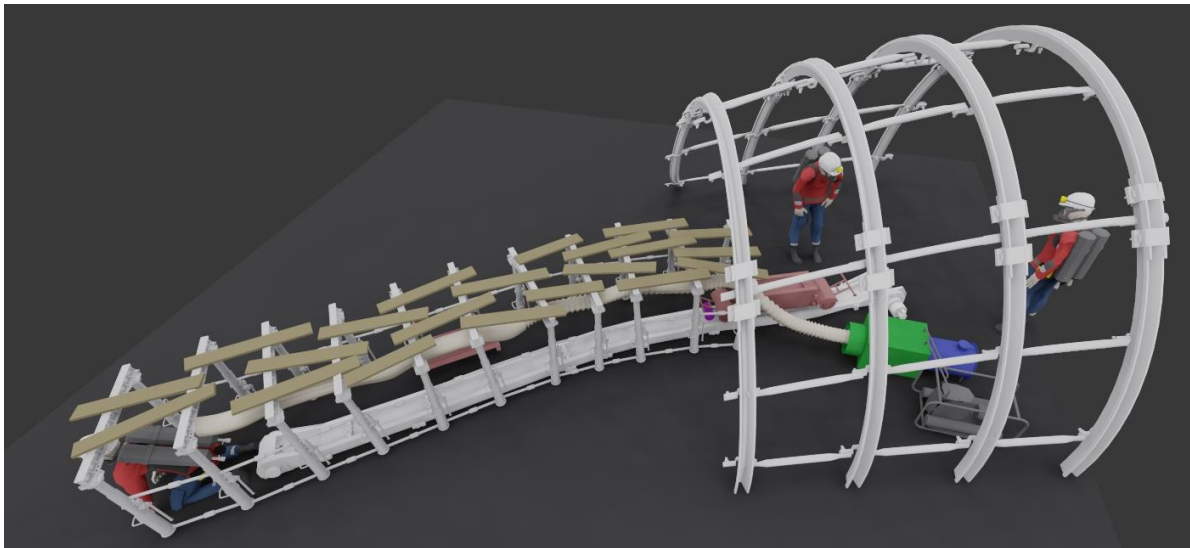
„Praca naukowa finansowana ze środków finansowych na naukę w latach 2017-2020 przyznanych na realizację projektu międzynarodowego współfinansowanego”.

1. Wstęp

Osoby zatrudnione w kopalniach są narażone w trakcie wykonywania prac górniczych na różne zagrożenia. Kluczową sprawą warunkującą skuteczną reakcję na poważny incydent górniczy jest zatem kwestia szybkiego pozyskiwania i dostarczania informacji o stanie zdrowia poszkodowanych oraz o parametrach środowiska w jakim znajdują się poszkodowani.

Jeśli chodnik zawalony jest rumowiskiem, wymaga to szybkiego usunięcia brył skalnych oraz zabezpieczenia stropu (i ewentualnie ociosów) tak, aby tym wyrobiskiem można było bezpiecznie dotrzeć do uwięzionych osób. W przypadku, gdy jest to niemożliwe np. ze względu na duże rozmiary brył skalnych zalegających w wyrobisku, należy podjąć próby normalnego drażenia wyrobiska (chodnika) ratowniczego o stosunkowo małych wymiarach (np. 1,5m×1,3m), aby możliwe było przetransportowanie osób poszkodowanych. Wyrobisko takie ze względów bezpieczeństwa musi być drażone bez użycia materiałów wybuchowych, a jego wielkość powinna zapewnić wprowadzenie do niego specjalistycznego sprzętu do drażenia, przenośnika odprowadzającego urobek i obudowę zabezpieczającą (rys. 1).

Jednak nie zawsze drażenie wyrobiska ratowniczego jest na tyle efektywne, aby zastępy ratowników mogły na czas dotrzeć do poszkodowanych. Wiąże się to głównie z czasochłonnym, ręcznym wybieraniem skał i pozostałości urządzeń zlokalizowanych w rejonie rumowiska. W wielu przypadkach postęp prac jest niezadowolający w stosunku do oczekiwań.



Rys. 1. Model 3D wyrobiska ratowniczego - dla akcji ratowniczej związanej z zawalem wyrobiska [4]

Również w przypadku niektórych zdarzeń bezpośrednie wykorzystanie bezzałogowego pojazdu rozpoznawczego w celu dotarcia do zagrożonego rejonu kopalni, jak również komunikacja z tym obszarem, może być mocno utrudniona z powodu występującego zawалу stropu, wypiętrzenia spągu lub innego zakłócenia na trasie przemieszczania się sprzętu ratowniczego.

W takiej sytuacji wiercenie pomocniczego, mało średnicowego tunelu awaryjnego jest istotnym pierwszym krokiem, pozwalającym na uzyskanie fizycznego dostępu do odciętych obszarów kopalni, w celu pozyskania informacji przed wysłaniem ratowników na miejsce zdarzenia. Taki tunel mógłby również zostać potencjalnie wykorzystany do tymczasowego ratowania uwięzionych poszkodowanych [7].

Potrzeba mechanizacji prac ratowniczych zaowocowała udziałem ITG KOMAG w projekcie: „Informacyjne wsparcie planowania i kierowania akcją ratowniczą (Information

Driven Incident Response)” o akronimie INDIRES, którego celem jest ocena technologii i opracowanie rozwiązań pozwalających na gromadzenie i wymianę informacji podczas planowania i realizacji akcji ratowniczych po poważnych zdarzeniach w podziemnych kopalniach węgla.

2. Opis nowej platformy wiertniczej

Istnieje kilka metod wiercenia, które mogą być stosowane przez ratowników, w tym wiercenie udarowe, wiercenie udarowo-obrotowe oraz wiercenie przez zniszczenie masy skalnej [1, 5].

Wiercenie skał można przeprowadzić metodą udarową, wykorzystując uderzenie z wysoką częstotliwością. Idea wiercenia wibracyjnego polega na wywołaniu bardzo dużej liczby mikropęknięć w wyniku drgań o wysokiej częstotliwości podczas wiercenia w twardych skałach. Częstotliwość uderzenia zależy od prędkości obrotowej używanych silników hydraulicznych. Z tego powodu wiercenie wibracyjne można podzielić na dwa zakresy. Pierwszym z nich jest wiercenie roto-wibracyjne, w którym stosowany zakres częstotliwości wynosi 60–850 Hz. Drugi to wiercenie ultradźwiękowe, w którym częstotliwość uderzeń wynosi 90-130 Hz [8]. Ta metoda wiercenia zastosowana podczas akcji ratowniczych może jednak spowodować niepożądane zawalenie się skały lub może spowodować niechciane obwały.

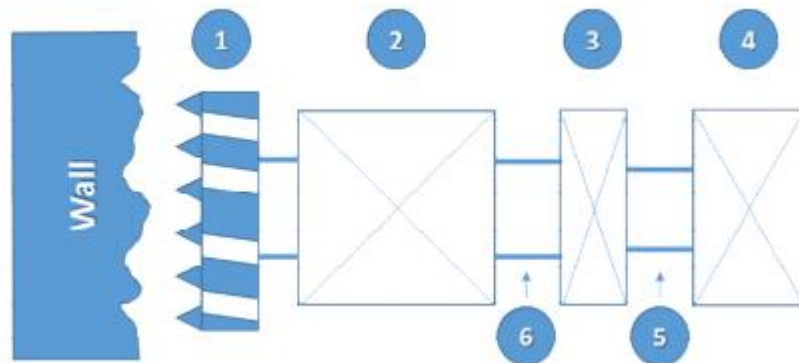
Metody wiercenia oparte wyłącznie na ruchu obrotowym nie są skuteczne w górnictwie skalnym. Instytut Techniki Górniczej KOMAG w swojej pracy [2] zaproponował obiecującą, alternatywną metodę wiercenia. Polega ona na wierceniu w czole przodka chodnika ratowniczego otworów, do których wkładany jest element rozszerzający. Po zaklinowaniu rozszerzającego się elementu w dnie otworu jest on wyciągany, powodując fragmentację skał na stosunkowo dużym obszarze w otoczeniu otworu. Ta metoda wiercenia może być mniej energochłonna, ponieważ wyciągnięcie elementu rozszerzającego z otworu następuje po przekroczeniu wytrzymałości skał na rozciąganie, około dziesięciokrotnie mniejszej od wytrzymałości skały na ściskanie. Jest ona jednak czasochłonna.

Prowadzenie robót górniczych w warunkach konieczności ratowania uwięzionych górników w podziemiach kopalń wymaga poszukiwań nowych rozwiązań specjalistycznego sprzętu, łatwego do transportu i obsługi w obszarze zawalonego wyrobiska [6].

W pracy realizowanej przez ITG KOMAG w ramach projektu INDIRES opracowano nowatorską małą średnicową głowicę wierzącą opartą na wierceniu obrotowym, ale zastępującej uderzenia działające w kierunku prostopadłym do powierzchni skały, przez drgania skrętne o odpowiedniej częstotliwości.

W typowych systemach wiercenia niszczenie spójności materiału osiąga się przez wygenerowanie odpowiednich sił lub momentów obrotowych, które działają na podłoże, powodując jego zniszczenie. Głowice udarowe są stosowane w celu zwiększenia wydajności. W ramach projektu INDIRES opracowano wiertnicę, która dla poprawy efektywności wiercenia wykorzystuje pulsujący moment obrotowy o częstotliwościach bliskich lub równych częstotliwości naturalnej wydobywanej skały (rys. 2). Pulsujący moment obrotowy jest wytwarzany za pomocą elektromagnetycznego generatora skrętnego.

W niniejszej publikacji przedstawiono koncepcję wybranych elementów projektowanej innowacyjnej platformy wiertniczej.



Rys. 2. Schemat blokowy platformy wiertniczej [3]

(1) głowica urabiająco-ładująca, (2) generator wibracji skrętnych, (3) magnetyczny przekładnia zębata lub przekładnia hydrokinetyczna, (4) napęd silnikowy, (5) wałek szybkoobrotowy, (6) wałek niskoobrotowy

Zastosowanie platformy wiertniczej wymaga przygotowania pola roboczego w rumoszu lub litej skale (rys. 3). Związane z tym jest również zabezpieczenia stropu i ociosów w obszarze pracy zastępów ratowniczych obsługujących wiertnicę. Szacuje się, że pole robocze komory ratowniczej, niezbędna dla zabudowy i swobodnego operowania wiertnicą powinno mieć maksymalne wymiary:

- szerokość min. $S=1300$ mm,
- wysokość maks. $H=2000$ mm,
- długość min. $L=4000$ mm.

Tunel ratowniczy wykonywany przez wiertnicę nie powinien przekraczać średnicy 250 mm.

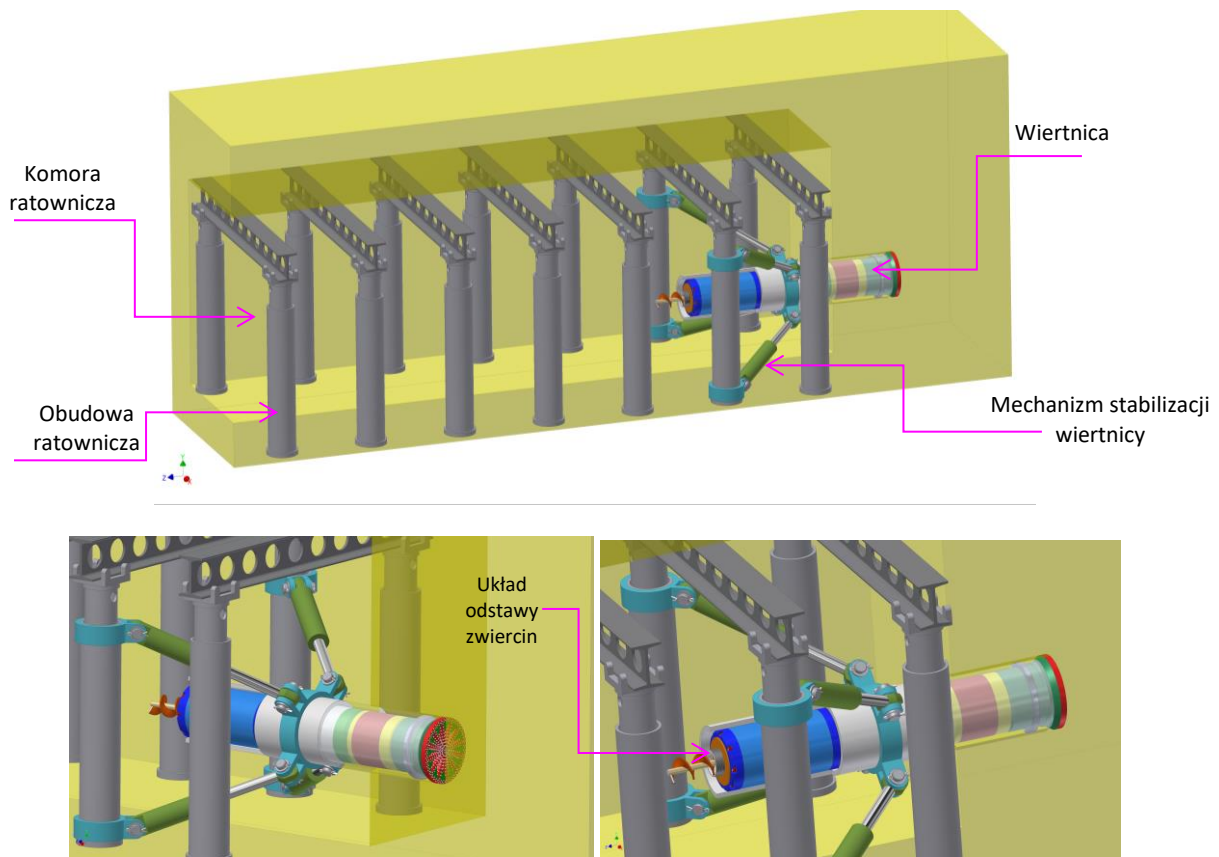
Zabudowa komory ratowniczej jest realizowana za pomocą obudowy wyposażonej w stojaki z własnym niezależnym zasilaniem hydraulicznym, stropnice, układ stabilizacji sąsiednich odrzwi oraz elementy przeciwdziałające odrywaniu stropnicy od głowicy koronowej stojaka.

Właściwości układu podporowego są podobne do obecnie stosowanych podpór w ratownictwie górnictwa węglowego.

Wiertnica jest wyposażona w mechanizm stabilizacji sprzężony z układem przemieszczania głowicy i zespołem odstawy zwiercin.

Założeniem przyjętym przy projektowaniu głowicy tnąco/ładującej i zespołu odstawczego jest zapewnienie ciągłego odbierania urobionego materiału, który powstaje w czasie wykonywania otworu. Skruszony przez głowicę materiał podawany jest bezpośrednio na zwoje i transportowany jest na zewnątrz otworu.

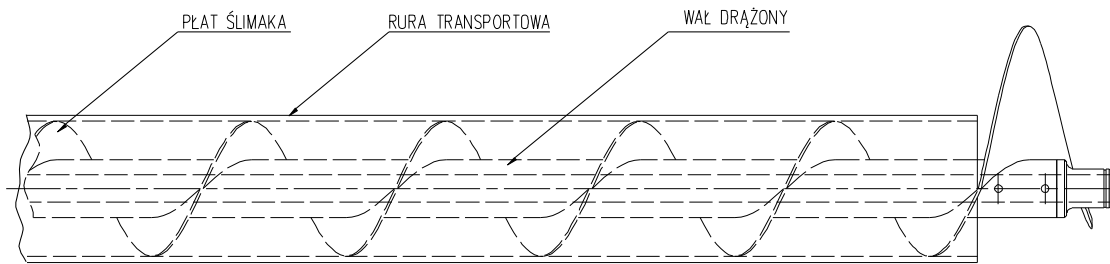
Głowica urabiająca i zespół odstawczy posiadają niezależne napędy, co pozwala kontrolować postęp w czasie wykonywania otworu oraz szybkość odprowadzania skruszonego materiału.



Rys. 3. Widok ogólny platformy wiertniczej w komorze ratunkowej [3]

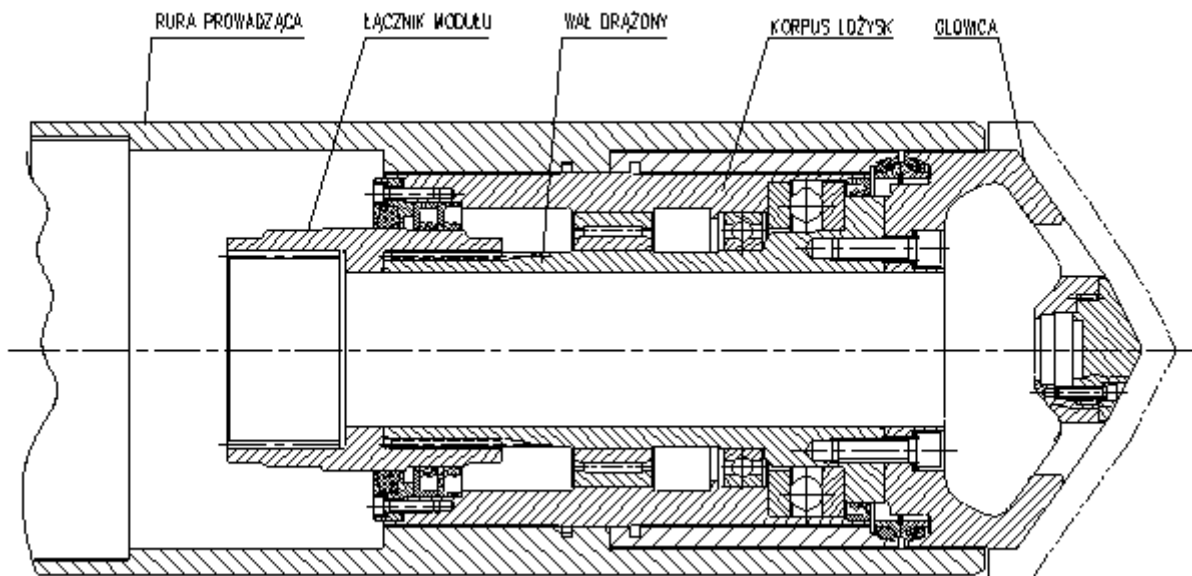
Zespół odstawczy może pracować wewnątrz każdego komponentu układu napędowego znajdującego się w otworze podczas jego drążenia. Powstająca w procesie wiercenia otworu objętość skruszonego materiału powinna być skutecznie odprowadzona przez ślimak zespołu. Zespół odstawczy posiada konstrukcję, która wymiarowo wpisuje się w pozostałe urządzenia tworzące platformę wiertniczą. Ograniczeniem jest budowa elementów elektrycznych: generatora momentów skrętnych, indukcyjnego przetwornika momentu skrętnego i silnika elektrycznego. Komponenty te posiadają drążony otwór, w którym można umieścić zespół. Zatem możliwości wydajnościowe zespołu są ograniczone średnicą tego otworu. Istotne jest, że wydajność zespołu będzie wyznaczała maksymalne możliwe do osiągnięcia postępy w czasie wiercenia otworu. Wiąże się to z optymalizacją procesu wiercenia czyli doborem dwóch podstawowych parametrów jakimi są: nacisk na głowicę i jej prędkość obrotowa.

Na rysunku 4 pokazano koncepcję zespołu odstawczego. Zbudowany jest on z drążonego wału, na którym znajdują się żebra w postaci spiralnie nawiniętego ślimaka. Płat ślimakowy został umieszczony w rurze aby kontrolować płynność przemieszczania się urobionego materiału. Wykonanie drążonego wału pozwala na zastosowanie wody w procesie odstawy zwiercin. Wymiary geometryczne zespołu wynikają z wymiarów konstrukcyjnych obwodów magnetycznych generatora momentów skrętnych, indukcyjnego przetwornika momentu skrętnego i silnika elektrycznego.



Rys. 4. Koncepcja zespołu odstawczego [3]

Na rysunku 5 przedstawiono koncepcję głowicy urabiającej, która realizuje funkcję urabiania czoła otworu oraz podaje urobiony materiał na zespół odstawczy. Średnica wykonywanego otworu przez głowicę jest większa od średnicy zewnętrznej pozostałych zespołów biorących udział w procesie drążenia otworu.



Rys. 5. Koncepcja głowicy urabiającej [3]

3. Podsumowanie

Przedstawione rozwiązanie drążenia pomocniczego tunelu ratowniczego z wykorzystaniem mało średnicowej głowicy tnąco-ładującej, która wykorzystuje pulsujący moment obrotowy o częstotliwościach odpowiednio dobranych dla urabianej skały pozwala na znacznie szybsze osiągnięcie informacji o warunkach środowiskowych w zagrożonym rejonie oraz na szybszą ocenę ryzyka w odniesieniu do znajdujących się tam poszkodowanych.

Kompaktowa budowa opracowanej głowicy realizuje funkcję urabiania czoła otworu oraz podaje urobiony materiał na zespół odbierający. Jednocześnie, z uwagi na niewielkie gabaryty, odznacza się małą masą co jest istotne z punktu widzenia transportu i montażu. Zainstalowana mała moc i wykorzystanie własnego zasilania wewnętrznego, pozwala na

uniezależnienie się od stacjonarnej sieci energetycznej, która w czasie wystąpienia zagrożenia może być niedostępna.

Literatura

- [1] Bęben A.: Technika wiertnicza w odkrywkowym górnictwie skalnym. Śląskie Wydawnictwo Techniczne, Katowice 1992.
- [2] Cebula D., Kalita M.: Badania i analiza naprężeń krytycznych w materiale skalnym wywołanych mechanicznym odspajaniem. Maszyny Górnicze nr 3/2016.
- [3] INDIRES "Information Driven Incident Response" - RFCS Grant Agreement 748632 – December 2018 (materiał niepublikowany).
- [4] INREQ "Enhanced effectiveness and safety of rescuers involved in high risk activities by designing innovative rescue equipment systems". Sprawozdanie, grudzień 2013 (materiał niepublikowany).
- [5] Wojnar K.: Wiertnictwo – Technika i Technologia. Wydawnictwa AGH, Kraków 1997.
- [6] Wojnar K.: Wiercenia ratunkowe w górnictwie. Wyd. „Śląsk”, Katowice 1980.
- [7] <http://indires.eu/> (4.11.2019).
- [8] <https://inzynieria.com/geoinzynieria/wiadomosci/42923> (4.11.2019).

mgr inż. Sebastian Janas
sjanas@komag.eu

dr inż. Marek Kalita
mkalita@komag.eu

dr inż. Zbigniew Szkudlarek
zszkudlarek@komag.eu

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

Czy wiesz, że

... Kombajn urabiająco-kotwiący Bolter Miner 12CM30 od niedawna pracuje w polskiej kopalni. Jest to pierwsza taka maszyna w rodzimym górnictwie. Kompleks pomyślnie przeszedł wszystkie próby rozruchowe i we wtorek, 12 listopada, rozpoczął drążenie chodnika Bw-In badawczego w pokł. 401 w kopalni Budryk, która wchodzi w skład JSW [...]. Maszynę wyprodukowano w Stanach Zjednoczonych, a do Polski trafiła na początku sierpnia 2019 r. Urządzenie przetransportowano do polskiej siedziby firmy Komatsu w Tychach. Tam kombajn złożono, przeprowadzono wszystkie próby i przeszkolono załogę, która go obecnie obsługuje. Następnie maszynę ponownie rozłożono i przetransportowano do kopalni, gdzie trafiła na dół. Tam, w specjalnie przygotowanej komorze montażowej, kombajn kolejny raz złożono i przygotowano do eksploatacji. W końcu cały kompleks rozpoczął drążenie chodnika w technologii kotwowej. Bolter Miner jest niezwykle wydajny. Według producenta maksymalna prędkość pracy wynosi 27 t urobku na minutę, a to przekłada się na obniżenie kosztów.

Trybuna Górnicza 14.11.2019 r. s.1