

MASZYNY GÓRNICZE

2/2017

KWARTALNIK NAUKOWO-TECHNICZNY



PROJEKTOWANIE I BADANIA

Kowol D., Matusiak P., Łagódka M.: Badania laboratoryjne skuteczności osadzarkowego wzbogacania odpadów powęglowych w klasach ziarnowych 35-3 mm oraz 35-0 mm	3
---	---

MASZYNY URABIAJĄCE

Jaszczyk M., Królak J.: Skutki utraty stateczności kombajnu ścianowego w trakcie urabiania calizny węglowej	16
---	----

TRANSPORT I ODSZAWA

Konsek R.: Szacowanie czasu pracy górnich maszyn transportowych z napędem akumulatorowym	24
--	----

KOMBAINY CHODNIKOWE

Bartoszek S., Jura M., Jagoda J., Libera K., Słowiński A.: Badania systemu pozycjonowania kombajnu chodnikowego w wyrobisku doświadczalnym	30
---	----

PRZERÓBKA MECHANICZNA

Matusiak P., Kowol D.: Technologia odzysku koncentratu węglowego z odpadów pogórnich poprzez wdrożenia urządzeń typu KOMAG	42
---	----

**SYSTEMY STEROWANIA,
MONITORINGU I DIAGNOSTYKI**

Jendrysik S., Bartoszek S., Jasiulek D., Gawliński A.: Układ sterowania i kontroli pracy przenośnika kubełkowego w osadzarkowym węźle wzbogacania	53
Jura M.: Biblioteka graficzna do sterownika z wyświetlaczem OLED	62
Jagoda J.: System pomiaru koncentracji operatora maszyn i urządzeń górniczych ...	71

DESIGNING AND TESTING

Kowol D., Matusiak P., Łagódka M.: Laboratory tests for efficiency of jig beneficiation of coal wastes of grain classes 35-3 mm and 35-0 mm	3
--	---

MINING MACHINES

Jaszczyk M., Królak J.: Results of loss of stability by longwall shearer during cutting of the body of coal	16
---	----

TRANSPORT AND CONVEYING SYSTEM

Konsek R.: Assessment of operational time of the mining machines with battery drive systems	24
---	----

ROADHEADERS

Bartoszek S., Jura M., Jagoda J., Libera K., Słowiński A.: The roadheader positioning system testing in experimental roadway	30
--	----

MECHANICAL MINERAL PROCESSING

Matusiak P., Kowol D.: Technology of recycling coal from mining waste through implementation of KOMAG device	42
--	----

**SYSTEMS FOR CONTROL,
MONITORING AND DIAGNOSTICS**

Jendrysik S., Bartoszek S., Jasiulek D., Gawliński A.: Control system for the bucket conveyor in the jig node of beneficiation system	53
Jura M.: Graphics library for the controller with an OLED display	62
Jagoda J.: Attention measurement system of mining machine and equipment operators	71

MASZYNY GÓRNICZE

MINING MACHINES

2(150)2017

Kwartalnik naukowo-techniczny
Rok XXXV, czerwiec 2017

Zespół Redakcyjny:

Redaktor Naczelny:
dr inż. Antoni Kozieł

Z-ca Redaktora Naczelnego:
dr inż. Edward Pieczora

Sekretarz Redakcji:
mgr inż. Romana Zając

Redaktor statystyczny:
dr inż. Jarosław Tokarczyk

Redaktor językowy:
mgr Anna Okulińska

Redaktorzy tematyczni:
dr hab. inż. Beata Grynkiewicz-Bylina,
prof. nadzw. w ITG KOMAG
prof. dr hab. inż. Adam Klich
prof. dr hab. inż. Zdzisław Kłeczek
prof. dr hab. inż. Aleksander Lutyński
dr hab. inż. Stanisław Szweda,
prof. nadzw. w Pol. Śl.
prof. dr hab. inż. Teodor Winkler

Wydawca:
Instytut Techniki Górniczej KOMAG
ul. Pszczyńska 37, 44-101 Gliwice
tel. 32 2374 528
fax 32 2374 304
<http://www.komag.eu>

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

Wersję elektroniczną wydawanego
kwartalnika należy traktować jako
wersję pierwotną.



ISSN 2450-9442

Szanowni Państwo

Z dniem 1 kwietnia 2017 r., powstała Polska Grupa Górnicza Sp. z o.o., której celem jest osiągnięcie pozycji silnego producenta węgla energetycznego. Wyraźnie zintensyfikowano inwestycje związane z udostępnieniem nowych pokładów, uruchomieniem nowych ścian, transportem i magazynowaniem węgla oraz przeróbką mechaniczną.

Duży nacisk położono na bezpieczeństwo pracy z zastosowaniem innowacyjnych technologii, które wyprzedzająco mają zapobiegać potencjalnym zagrożeniom.

Również w branży producentów maszyn i urządzeń dla górnictwa następują duże zmiany. Pomimo wzrostu inwestycji w przemyśle wydobywczym, w tym na zakupy maszyn i urządzeń, nie należy się spodziewać znacznego przyrostu przychodów wśród ich producentów. Poszukują oni zatem nowych obszarów działalności, nie związanych z polskim górnictwem, w tym na rynkach zagranicznych.

Szansą mogą być uruchamiane programy dla małych i średnich przedsiębiorstw ukierunkowane na innowacyjną gospodarkę.

Również w jednostkach naukowych kładzie się nacisk na podejmowanie prac i wykorzystywanie potencjału intelektualnego na tworzenie rozwiązań, które w przyszłości dadzą efekty.

W niniejszym numerze Maszyn Górniczych prezentujemy kolejne wyniki prac naukowo - badawczych z nadzieją, że część z nich okaże się interesująca dla tej właśnie grupy przedsiębiorców.

Życzymy naszym Czytelnikom przyjemnej lektury i tradycyjnie zapraszamy do współpracy z redakcją naszego kwartalnika.

Redaktor Naczelny

dr inż. Antoni Kozieł

Badania laboratoryjne skuteczności osadzarkowego wzbogacania odpadów powęglowych w klasach ziarnowych 35-3 mm oraz 35-0 mm

dr inż. Daniel Kowol
dr inż. Piotr Matusiak
Michał Łagódka
Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Streszczenie:

Składowiska kopalniane odpadowe stanowią źródło materiałów użytecznych, w postaci energetycznego koncentratu węglowego oraz kruszywa alternatywnego. Efektywną metodą pozyskiwania ww. produktów jest zastosowanie klasyfikatora pulsacyjnego, urządzenia do grawitacyjnego wzbogacania materiału w pulsującym ośrodku wodnym. Jednym z czynników mającym wpływ na skuteczność rozdziału, jest skład granulometryczny materiału poddawanego wzbogacaniu. W artykule przedstawiono wyniki badań wpływu drobnych ziaren na skuteczność wzbogacania odpadów powęglowych, z wykorzystaniem materiałów o uziarnieniu 35-3 mm oraz 35-0 mm.

Abstract:

Dump sites are a good source of useful materials, such as concentrate of steam coal and aggregates. Use of pulsating classifier, a device for gravitational separation of material in liquid medium is an effective method for recovery of abovementioned products. Granulometric composition of separated material is one of the factors affecting efficiency of separation. The results of testing the impact of small grain on beneficiation of coal waste for grain class 35-3 mm and 35-0 mm are presented.

Słowa kluczowe: odpady kopalniane, skład ziarnowy, skuteczność wzbogacania

Keywords: mining waste, granulation, efficiency of separation

1. Wprowadzenie

Składowiska odpadów kopalnianych, nieodłączny element krajobrazu Górnego Śląska, są efektem działalności górniczej. Wpływają one na degradację środowiska i stwarzają wiele zagrożeń w postaci pożarów, wydzielania gazów zanieczyszczających atmosferę oraz zanieczyszczania wód powierzchniowych i gruntowych [1].

W ostatnim czasie podejmowane są działania w kierunku eliminacji ww. zagrożeń mogące przyczynić się do zmniejszenia ilości terenów zajmowanych przez składowiska oraz do rekultywacji zdegradowanych obszarów i ich ponownego zagospodarowania.

Składowiska odpadów powęglowych traktowane są również coraz częściej jako wtórne złoża surowców. Bezpośrednie pozyskiwanie materiałów ze składowisk odpadów kopalnianych jest jednak ograniczone, z uwagi na ich niejednorodność pod względem właściwości fizykochemicznych i mechanicznych. Zastosowanie metody, pozwalającej na rozdział odpadów i wydzielenie z nich ziaren organicznych, może umożliwić produkcję energetycznego koncentratu węglowego oraz kruszywa alternatywnego [2].

W oparciu o wieloletnie doświadczenia Instytutu Techniki Górniczej w konstruowaniu i doborze urządzeń do grawitacyjnego wzbogacania węgla kamiennego i kruszyw w pulsującym ośrodku wodnym, opracowano konstrukcję urządzenia przeznaczonego do przetwarzania odpadów z hałd kopalnianych – klasyfikator pulsacyjny K-102 [3, 5, 6, 7, 8].

Klasyfikator wyposażono w nowoczesny system elektronicznego sterowania typu KOMAG, który umożliwia uzyskanie odpowiedniej charakterystyki pulsacji wody oraz pozwala na dokładny rozdział wzbogacanego materiału.

Wdrożenia klasyfikatora pulsacyjnego K-102 na składowisku odpadów kopalnianych wykazały możliwość pozyskiwania wysokojakościowego produktu koncentratowego o niskiej zawartości popiołu i wysokiej wartości opałowej [7, 8, 9].

Dotychczasowe egzemplarze klasyfikatora wzbogacają materiał poddany uprzednio klasyfikacji na mokro na przesiewaczach o otworach sit równych 3 mm x 3 mm.

Istotnym czynnikiem wpływającym na skuteczność wzbogacania materiału jest jego skład granulometryczny i udział w nim ziaren najdrobniejszych np. o wymiarach 3-0 mm. Wraz ze wzrostem udziału ww. ziaren ulegać może zmniejszeniu skuteczność rozdziału wzbogacanego materiału, powodując pogorszenie parametrów ilościowo-jakościowych produktów rozdziału.

W celu określenia możliwości rozszerzenia zakresu ziarnowego nadawy kierowanej do wzbogacania w klasyfikatorze pulsacyjnym przeprowadzono laboratoryjne badania porównawcze wpływu drobnych ziaren na skuteczność wzbogacania odpadów powęglowych z wykorzystaniem materiałów o uziarnieniu 35-3 mm oraz 35-0 mm [4].

2. Metodyka badań

Badania wpływu drobnych ziaren na skuteczność rozdziału odpadów kopalnianych zrealizowano na stanowisku laboratoryjnym osadzarki doświadczalnej (rys. 1), o powierzchni roboczej 0,175 m² wyposażonej w dwie komory pulsacyjne oraz elektronicznie sterowane zawory pulsacyjne powietrza roboczego. Pokład sitowy podczas badań stanowiły poliuretanowe sita o rozmiarze szczelin równym 2,5 mm.



Rys. 1. Stanowisko osadzarki doświadczalnej [4]

Materiał, który stanowił podstawę do przygotowania próbek badawczych, pobrano na składowisku odpadowym (hałdzie) w Przezchlebie. Z pobranego materiału wydzielono próbki w 2 klasach ziarnowych: 35-3 mm oraz 35-0 mm, które stanowiły nadawę do badań. W tabeli 1 przedstawiono składy granulometryczno-popiołowe ww. materiałów.

Wyniki analizy granulometryczno-popiołowej materiału w klasie ziarnowej 35-0,5(0) mm [4]

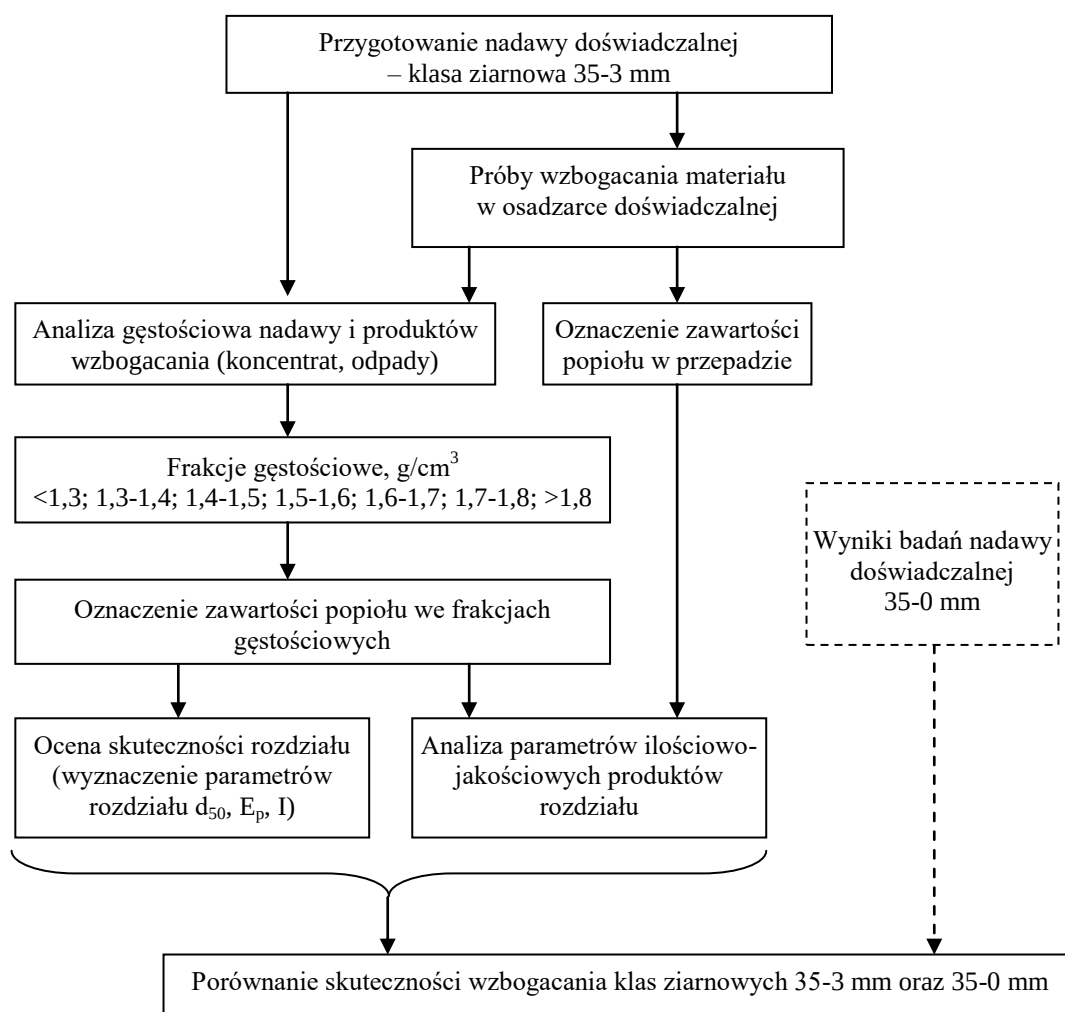
Tabela 1

Klasa ziarnowa [mm]	Wychód [%]		Zawartość popiołu [%]
35-3	75,22	80,41	76,74
3-2	6,46	6,91	76,21
2-1	7,36	7,87	76,60
1-0,5	4,50	4,81	68,39
<0,5	6,46		
Suma/Średnia*	100,00	100,00	76,29

Skład granulometryczny nadawy w klasie ziarnowej 35-0 mm charakteryzował się znacznym udziałem klasy 35-3 mm, wynoszącym 75,2%, o zawartości popiołu 76,7%. Udział klasy ziarnowej 3-0,5 mm wynosił 18,3%, a zawartość w niej popiołu była równa 74,45%. Klasa ziarnowa <0,5 mm stanowiła 6,5% całości nadawy. Skład granulometryczny nadawy będącej przedmiotem analiz gęstościowych o uziarnieniu 35-0,5 mm charakteryzował się 80,4% udziałem ziaren klasy 35-3 mm i 19,6% udziałem ziaren klasy 3-0,5 mm.

Analizy zawartości popiołu w klasach ziarnowych 35-3; 3-2; 2-1 i 1-0,5 mm wykazały, że przy średniej zawartości popiołu w materiale wynoszącej 76,29%, najmniejszym zapopieleniem, równym 68,39%, charakteryzowała się klasa 1-0,5 mm. W pozostałych klasach ziarnowych zawartość popiołu zawierała się w przedziale od 76,74% (35-3 mm) do 76,21% (3-2 mm).

Algorytm prowadzonych prac badawczych przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Algorytm prowadzonych prac badawczych [4]

Na podstawie przeprowadzanych wstępnych prób technologicznych dobrano parametry regulacyjne przepływu powietrza roboczego i wody dolnej w osadzarce, odpowiednio do rozmiaru ziaren materiału przeznaczonego do wzbogacania.

Parametry pracy osadzarki zamieszczono w tabeli 2.

Parametry pracy osadzarki [4]

Tabela 2

Parametr	Jednostka	Wartość
Częstotliwość pulsacji wody	min ⁻¹	70
Czas pojedynczego cyklu	ms	860
Czas otwarcia zaworu wlotowego	ms	200
Czas przerwy 1 międzysygnałowej	ms	310
Czas otwarcia zaworu wylotowego	ms	200
Czas przerwy 2 międzysygnałowej	ms	150
Natężenie dopływu wody dolnej	m ³ /h	3

Każde badanie rozpoczynano wprowadzeniem, uprzednio przygotowanej nadawy, do komory roboczej osadzarki. Następnie napełniano osadzarkę wodą i po załączeniu dmuchawy powietrza roboczego poddawano nadawę wzbogacaniu w czasie 60 s.

W celu oceny procesu wzbogacania, dzielono rozwarstwiony materiał na 2 części, uzyskując w ten sposób produkty wzbogacania koncentratowy i odpadowy.

Dodatkowo, uzyskiwano produkt będący przepadem, poprzez sito komory roboczej osadzarki, który, po określeniu jego ilości, łączono z materiałem dolnej warstwy, stanowiącej produkt odpadowy.

Nadawę oraz produkty wzbogacania, po ich uprzednim odmuleniu (usunięciu ziaren $<0,5$ mm), poddano analizom gęstościowym w cieczach ciężkich o gęstości 1,3; 1,4; 1,5; 1,6; 1,7 oraz 1,8 g/cm³ uzyskując frakcje gęstościowe $<1,3$; 1,3-1,4; 1,4-1,5; 1,5-1,6; 1,6-1,7; 1,7-1,8; $>1,8$ g/cm³. Analizy gęstościowe wykonano zgodnie z normą PN-G-04559:1997.

W oparciu o uzyskane wyniki analiz wyznaczono, zgodnie z normą PN-G-07020:1997, wartości parametrów charakteryzujących proces rozdziału oraz jego skuteczność, takie jak: gęstość rozdziału (d_{50}), rozproszenie prawdopodobne (E_p) i imperfekcję (I).

W celu określenia parametrów jakościowych nadawy i produktów wzbogacania w otrzymanych frakcjach gęstościowych oraz w produkcie przepadu wykonano oznaczenia zawartości popiołu zgodnie z normą PN-ISO 1171:2002 [10]. Dodatkowo we frakcjach gęstościowych nadaw doświadczalnych oznaczono ciepło spalania i wyliczono wartości opałowe zgodnie z normą PN-ISO 1928:2002 [11].

3. Wyniki badań

Parametry jakościowe nadawy

Materiał o uziarnieniu 35-3 mm charakteryzował się porównywalnymi udziałami frakcji koncentratowych (węglowych), o gęstości $<1,5$ g/cm³ i przerostowych, o gęstości 1,5-1,8 g/cm³, których sumaryczny wychód wynosił 13,55%.

Udział frakcji $<1,5$ g/cm³, wynoszący 6,71%, był nieznacznie mniejszy od udziału frakcji 1,5-1,8 g/cm³, równego 6,84%. Pozostałą część materiału, wynoszącą 86,45% stanowiły ziarna odpadowe o gęstości $>1,8$ g/cm³.

Zawartość popiołu w poszczególnych frakcjach gęstościowych $<1,5$ g/cm³; 1,5-1,8 g/cm³ i $>1,8$ g/cm³ wynosiła odpowiednio 9,78% i 40,68% oraz 84,79%, przy średnim zapopieleniu materiału równym 76,74%.

W odniesieniu do parametrów jakościowych nadawy 35-3 mm materiał nadawy w klasie ziarnowej 35-0,5 mm charakteryzował się nieznacznie mniejszą (różnica 0,45%) zawartością popiołu oraz większym o 1% wychodem frakcji węglowych.

Oprócz większego udziału ziaren węglowych w nadawie 35-0,5 mm charakteryzowały się one mniejszą, o 1,06%, zawartością popiołu, w porównaniu do frakcji węglowych nadawy 35-3 mm. Zawartość popiołu ziaren węglowych w nadawie 35-0,5 mm wynosiła 8,72%, a w nadawie 35-3 mm była równa 9,78%.

Udziały frakcji przerostowych w nadawach 35-0,5 mm i 35-3 mm były zbliżone i wynosiły odpowiednio 6,61% i 6,84%, przy czym w materiale o większym uziarnieniu ziarna przerostowe charakteryzowały się mniejszą, o 0,83%, zawartością popiołu.

Zawartość popiołu ziaren przerostowych w nadawie 35-0,5 mm wynosiła 41,51%, a w nadawie 35-3 mm była równa 40,68%.

Udziały frakcji odpadowych w nadawach 35-0,5 mm i 35-3 mm również były podobne i wynosiły odpowiednio 85,67% i 84,45%, przy czym ziarna odpadowe nadawy o mniejszym uziarnieniu charakteryzowały się nieznacznie większą, o 0,27%, zawartością popiołu. Zawartość popiołu ziaren odpadowych w nadawie 35-0,5 mm wynosiła 85,06%, a w nadawie 35-3 mm była równa 84,79%. Składy gęstościowo-popiołowe nadaw doświadczalnych w podstawowych frakcjach gęstościowych ($<1,5$; $1,5-1,8$; $>1,8$ g/cm³) zamieszczono w tabeli 3.

Parametry jakościowe produktów

Produkt koncentratowy uzyskany podczas wzbogacania nadawy 35-3 mm charakteryzował się 8,7% wychodem oraz 21,6% zawartością popiołu.

Wychód produktu koncentratowego, uzyskanego podczas wzbogacania nadawy 35-0,5(0) mm był większy i wyniósł 10% oraz posiadał mniejszą zawartość popiołu równą 20,7%.

Zawartość popiołu w produktach odpadowych rozdziału porównywanych nadaw była zbliżona i wynosiła 82%, dla nadawy 35-3 mm oraz 82,5%, dla nadawy 35-0,5(0) mm. Podstawowe parametry ilościowo-jakościowe produktów rozdziału zamieszczono w tabeli 3.

Porównanie wychodów części produktu odpadowego, odprowadzanego przepadem z komory roboczej osadzarki przez 2,5 mm szczeliny elastycznego sita wykazało, że podczas wzbogacania nadawy 35-3 mm przepad stanowił 8,4% produktu ciężkiego, a podczas wzbogacania nadawy 35-0 mm był ponad dwukrotnie większy i wynosił 18,3%. W tabeli 4 zamieszczono wyniki analizy porównawczej wychodu produktów rozdziału.

W porównaniu do nadawy o uziarnieniu 35-3 mm, materiał nadawy w klasie ziarnowej 35-0,5 m zawierał więcej ziaren węglowych, które dodatkowo charakteryzowały się mniejszą zawartością popiołu. Korzystniejsze, niż w nadawie 35-3 mm, parametry jakościowe materiału nadawy w klasie 35-0,5 mm wpłynęły na wzrost o 15,3% wychodu produktu koncentratowego oraz obniżenie o 0,9% zawartości w nim popiołu.

Porównawcze zestawienie parametrów nadawy i produktów rozdziału [4]

Tabela 3

Gęstość frakcji [g/cm ³]	Nadawa 35-3 mm			Nadawa 35-0 mm		
	Parametry nadawy					
	Wychód [%]	Popiół [%]	Wartość opałowa [kJ/kg]	Wychód [%]	Popiół [%]	Wartość opałowa [kJ/kg]
<1,5	6,71	9,78	28420	7,72	8,72	28957
1,5-1,8	6,84	40,68	17259	6,61	41,51	16979
>1,8	86,45	84,79	1331	85,67	85,06	1077
Suma/Średnia *	100,00	76,74*	4238	100,00	76,29*	4279
Gęstość frakcji [g/cm ³]	Parametry produktów					
	Pr. koncentratowy (wychód=8,71%)			Pr. koncentratowy (wychód=10,04%)		
	Wychód [%]	Popiół [%]		Wychód [%]	Popiół [%]	
<1,5	68,18	9,20		68,89	8,32	
1,5-1,8	21,73	37,16		20,60	37,45	
>1,8	10,09	72,14		10,51	69,09	
Suma/Średnia*	100,00	21,63*		100,00	20,70*	
Gęstość frakcji [g/cm ³]	Pr. odpadowy (wychód=91,29%)			Pr. odpadowy (wychód=89,96%)		
	Wychód [%]	Popiół [%]		Wychód [%]	Popiół [%]	
<1,5	0,85	14,18		0,89	12,20	
1,5-1,8	5,42	42,02		5,05	43,37	
>1,8	93,73	84,92		94,06	85,26	
Suma/Średnia*	100,00	81,99*		100,00	82,49*	

Porównanie wychodu produktów rozdziału [4]

Tabela 4

Produkt	Nadawa 35-3 mm			Nadawa 35-0 mm		
	Wychód [%]			Wychód [%]		
Warstwa koncentratu	8,71	8,71		10,04	10,04	
Warstwa odpadów	83,59	91,29	91,57	73,52	89,96	81,73
Przepad odpadów	7,70		8,43	16,44		18,27
Suma	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Skuteczność wzbogacania

Wyniki analiz grawimetrycznych produktów osadzarkowego wzbogacania nadaw 35-3 mm i 35-0,5(0) mm, przeprowadzonego w warunkach laboratoryjnych wykazały, że zwiększenie zakresu uziarnienia nadawy spowodowało zmniejszenie skuteczności rozdziału materiału o 7,8%, dla wartości rozproszenia prawdopodobnego E_p oraz o 5,5%, dla wartości imperfekcji I , uwzględniającej gęstość rozdziału d_r , która dla nadawy 35-0,5(0) mm była większa o $0,011 \text{ g/cm}^3$. Gęstość rozdziału nadawy 35-3 mm wynosiła $1,558 \text{ g/cm}^3$, a nadawy 35-0,5(0) mm była równa $1,569 \text{ g/cm}^3$.

Przy warstwowej metodzie podziału materiału na produkty uzyskane wartości rozproszenia prawdopodobnego E_p i imperfekcji I dla nadawy 35-3 mm wyniosły odpowiednio $0,102 \text{ g/cm}^3$ i $0,183$, a dla nadawy 35-0,5(0) mm były równe $0,110 \text{ g/cm}^3$ i $0,193$.

Uzyskane parametry procesu rozdziału dla badanych nadaw zestawiono w tabeli 5.

Porównawcze zestawienie parametrów procesu rozdziału [4]

Tabela 5

Parametr	Nadawa 35-3 mm	Nadawa 35-0 mm
d_r	1,558	1,569
E_p	0,102	0,110
I	0,183	0,193

Na podstawie prób porównawczych można stwierdzić, że 24,8% udział ziaren klasy 3-0 mm w nadawie 35-0 mm (w tym 6,5% klasy $<0,5 \text{ mm}$) w nieznacznym stopniu wpłynął na obniżenie skuteczności wzbogacania materiału. Podczas prób technologicznych wzbogacania nadawy 35-0 mm nie nastąpiły zakłócenia prawidłowości ruchu pulsacyjnego wody przy dostarczaniu do osadzarki czystej wody dolnej.

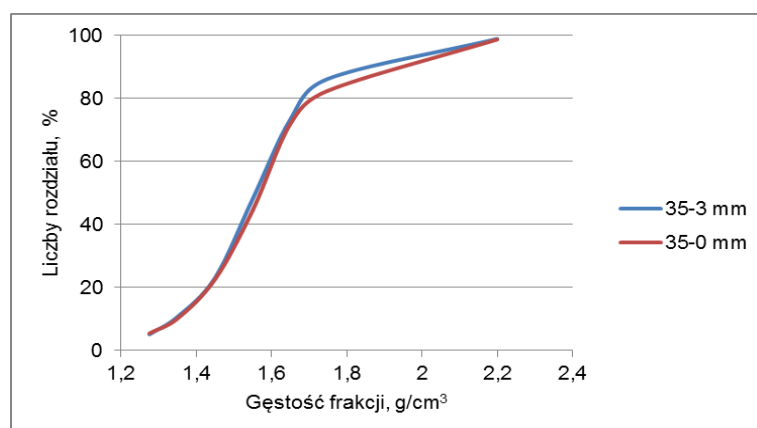
Rozdział frakcji podstawowych o gęstości $<1,5 \text{ g/cm}^3$; $1,5-1,8 \text{ g/cm}^3$ oraz $>1,8 \text{ g/cm}^3$ w produkcie odpadowym dla nadawy 35-3 mm wyniósł odpowiednio 11,6%, 72,4% i 99%, a dla nadawy 35-0,5(0) mm 10,4%, 68,7% i 98,8%.

Liczby rozdziału w podstawowych frakcjach zebrano w tabeli 6, a graficznie, wszystkich frakcji gęstościowych, w postaci krzywych rozdziału dla badanych nadaw, przedstawiono na rysunku 3.

Porównawcze zestawienie liczb rozdziału [4]

Tabela 6

Gęstość frakcji [g/cm^3]	Nadawa 35-3 mm	Nadawa 35-0 mm
$<1,5$	11,62	10,36
$1,5-1,8$	72,37	68,68
$>1,8$	98,98	98,77



Rys. 3. Krzywe rozdziału nadaw 35-3 mm i 35-0 mm [4]

4. Prognozy wzbogacania odpadów powęglowych w warunkach przemysłowych

Wykorzystując informacje o składzie gęstościowym nadaw 35-3 mm i 35-0 mm (dla ziaren $>0,5$ mm) oraz wartości wskaźnika imperfekcji i gęstości rozdziału uzyskanych podczas badań laboratoryjnych opracowano przewidywane parametry dwuproduktowego wzbogacania w klasyfikatorze pulsacyjnym, dla dowolnej zawartości popiołu w koncentracie z przedziału 11-18%.

Parametry jakościowe koncentratu wyznaczono na podstawie obliczeń współrzędnych krzywych wzbogacania, dla dowolnych gęstości rozdziału i wskaźnika imperfekcji.

Z przedziału zawartości popiołu 11-18% w koncentracie wyznaczono jego wychód, gęstość rozdziału, wartość opalową, uzysk ziaren węglowych o gęstości $<1,5$ g/cm³ w produkcie koncentratowym oraz liczbę rozdziału ziaren odpadowych o gęstości $>1,8$ g/cm³.

Obliczenia dla nadawy 30-3 mm zestawiono w tabeli 7, a dla nadawy 30-0 mm w tabeli 8. Krzywe wzbogacania produktu koncentratowego dla obydwu nadaw pokazano na rysunku 4.

Prognozy wzbogacania nadawy w klasie ziarnowej 35-3 mm [4]

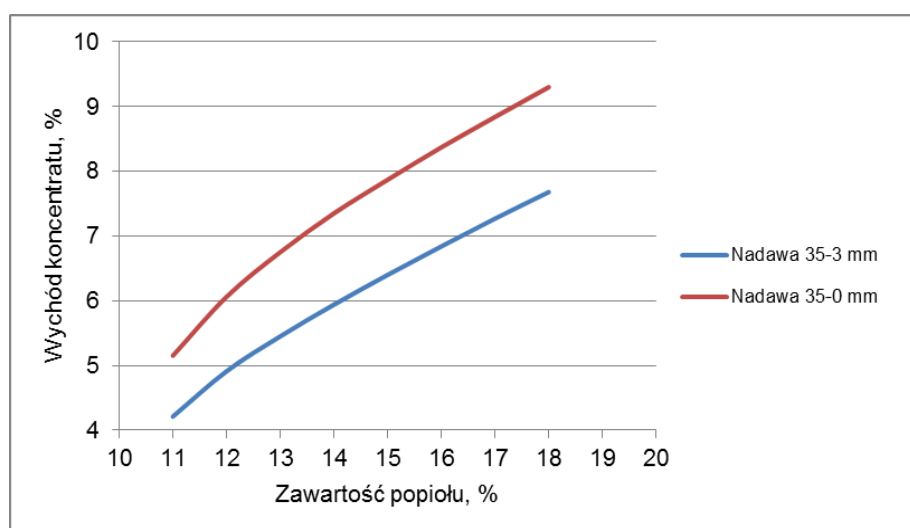
Tabela 7

Zadany popiół koncentratu [%]	Gęstość rozdziału d_r [g/cm ³]	Wychód koncentratu [%]	Wartość opalowa koncentratu [kJ/kg]	Uzysk frakcji $<1,5$ g/cm ³ w koncentracie	Liczba rozdziału frakcji $>1,8$ g/cm ³ w odpadach
18	1,49	7,68	25454	88,17	99,46
17	1,471	7,27	25810	85,62	99,52
16	1,451	6,84	26177	82,58	99,58
15	1,431	6,4	26533	79,11	99,64
14	1,41	5,94	26893	75,33	99,69
13	1,388	5,45	27250	70,27	99,73
12	1,364	4,91	27607	64,44	99,77
11	1,335	4,21	27979	56,35	99,81

Prognozy wzbogacania nadawy w klasie ziarnowej 35-0 mm [4]

Tabela 8

Zadany popiół koncentratu [%]	Gęstość rozdziału d_r [g/cm ³]	Wychód koncentratu [%]	Wartość opałowa koncentratu [kJ/kg]	Uzysk frakcji <1,5 g/cm ³ w koncentracie	Liczba rozdziału frakcji >1,8 g/cm ³ w odpadach
18	1,513	9,30	25560	92,15	99,30
17	1,491	8,84	25935	89,99	99,38
16	1,469	8,37	26300	87,38	99,46
15	1,446	7,87	26670	84,30	99,53
14	1,423	7,35	27024	80,67	99,59
13	1,397	6,75	27400	75,45	99,64
12	1,369	6,06	27764	69,11	99,70
11	1,335	5,15	28128	59,81	99,76



Rys. 4. Krzywe wzbogacania koncentratu [4]

Analizując uzyskane wyniki można stwierdzić, jak duży może być wpływ poszerzenia zakresu uziarnienia nadaw na charakterystykę technologiczną odpadów powęglowych opisywanych poprzez krzywe wzbogacalności oraz na ekonomiczne rezultaty ich wzbogacania w klasyfikatorach pulsacyjnych.

Poszerzenie zakresu uziarnienia nadawy z 35-3 mm do 35-0 mm spowodowało zwiększenie wychodu produktu koncentratowego, przy kolejnych założonych zawartościach popiołu. Powyższe wyniki uzyskano pomimo zmniejszenia dokładności wzbogacania materiału.

Różnice w wychodach, przy zawartościach popiołu w zakresie 11-18% w koncentracie, zawierały się w przedziale od 0,94% do 1,62%.

Powyższe różnice w wychodach produktu koncentratowego przy wartościach, nie przekraczających 10%, spowodowały, że przewidywany wzrost ilości uzyskiwanego z klasyfikatora koncentratu zawierał się w przedziale od 21,0% do 23,9%. Uzyskane przewidywane zmiany wychodu koncentratu zestawiono w tabeli 9.

Przewidywane zmiany wychodu koncentratu [4]

Tabela 9

Zadany popiół koncentratu [%]	Nadawa 35-3 mm Wychód koncentratu [%]	Nadawa 35-0 mm Wychód koncentratu [%]	Różnica wychodów [%]	Wzrost wychodu koncentratu z nadawy 35-0 mm [%]
18	7,68	9,30	1,62	21,1
17	7,27	8,84	1,57	21,6
16	6,84	8,37	1,53	22,4
15	6,4	7,87	1,47	23,0
14	5,94	7,35	1,41	23,7
13	5,45	6,75	1,30	23,9
12	4,91	6,06	1,15	23,4
11	4,21	5,15	0,94	22,3

5. Podsumowanie

Składowiska odpadów powęglowych stanowią źródło cennych surowców wtórnych w postaci energetycznego koncentratu węglowego i kruszywa alternatywnego.

Efektywnym urządzeniem do rozdziału materiałów ze składowisk i pozyskiwania wysokojakościowych produktów jest klasyfikator pulsacyjny typu K-102, którego działanie jest oparte na typowym procesie wzbogacania grawitacyjnego materiału i polega na rozwarstwieniu, w pulsacyjnym ośrodku wodnym, odpowiednio przygotowanej nadawy, według jej składu ziarnowego oraz gęstości składników.

Przeprowadzone badania skuteczności osadzarkowego wzbogacania odpadów powęglowych wykazały, że poszerzenie składu ziarnowego nadawy, przy udziale klasy ziarnowej 3-0 mm równej 24,8%, powodowało jej nieznaczne zmniejszenie skuteczności rozdziału. Wartość rozproszenia prawdopodobnego obniżyła się z 0,102 g/cm³ do 0,110 g/cm³, a wartość imperfekcji z 0,183 do 0,193, przy porównywalnych gęstościach rozdziału wynoszących 1,558 g/cm³ (dla klasy 35-3 mm) oraz 1,569 g/cm³ (dla klasy 35-0,5 mm).

Analiza i ocena składu gęstościowo-popiołowego nadaw wykazała, że poszerzenie zakresu uziarnienia spowodowało zwiększenie rozdziału ziaren węglowych o gęstości <1,5 g/cm³ z 6,7% do 7,7%, przy jednoczesnym zmniejszeniu zawartości w nich popiołu z 9,8% do 8,7%.

W porównaniu do wyników wzbogacania nadawy 35-3 mm, większy udział i lepsze parametry jakościowe ziaren węglowych w nadawie 35-0 mm, pozwoliły na uzyskanie większego wychodu produktu koncentratowego i mniejszej zawartości popiołu, pomimo mniejszej skuteczności wzbogacania.

Stwierdzono zależności pomiędzy zakresem uziarnienia odpadów powęglowych, a skutecznością ich wzbogacania w osadzarkach oraz parametrami produktów, w tym:

- zwiększenie zakresu uziarnienia nadawy 35-3 mm o udziały klas ziarnowych <3 mm powoduje zmniejszenie skuteczności osadzarkowego procesu wzbogacania materiału,
- poszerzenie uziarnienia nadawy 35-3 mm o ziarna mniejsze wymiarowo może zwiększyć wychód produktu koncentratowego jeżeli ich zawartość powoduje wzrost udziału w nadawie frakcji węglowych i zmniejszenie w nich zawartości popiołu.

Wyniki badań wykazały możliwość zwiększenia efektywności odzysku substancji węglowej z odpadów powęglowych w procesie osadzarkowego ich wzbogacania dzięki zwiększeniu zakresu uziarnienia materiału z 35-3 mm do 35-0 mm.

Poprawa parametrów jakościowych materiału, uzyskana poprzez poszerzenie składu granulometrycznego o klasę 3-0 mm, może spowodować zwiększenie ilości produktu koncentratowego, pomimo niekorzystnego wpływu zakresu uziarnienia na dokładność procesu wzbogacania.

Osadzarkowe wzbogacanie odpadów powęglowych w celu osiągnięcia żądanych parametrów jakościowych koncentratu, przy jak największym jego wychodzie, powinno opierać się na analizach charakterystyki nadawy, opisaney krzywymi wzbogalności, dla różnego zakresu uziarnienia materiału oraz znajomości wpływu parametrów nadawy na dokładność wzbogacania.

Literatura

- [1] Góralczyk S. i inni, 2009, Przywęglowa skała płonna – odpad czy surowiec?, Prace Naukowe Instytutu Górnictwa politechniki Wrocławskiej Nr 125, s. 95-103
- [2] Kowol D., Matusiak P.: Możliwości zastosowania klasyfikatora pulsacyjnego do rewitalizacji składowisk odpadów kopalnianych. Innowacyjne rozwiązania rewitalizacji terenów zdegradowanych, t. 8. Praca zbiorowa pod redakcją naukową Jana Skowronka, Instytut Ekologii Terenów Uprzemysłowionych, Centrum Badań i Dozoru Górnictwa Podziemnego sp. z o.o., Katowice 2016 s. 163-172
- [3] Kowol D., Matusiak P.: Zastosowania klasyfikatora pulsacyjnego typu KOMAG do oczyszczania trudnowzbogalnych surowców mineralnych. Mining Science - Mineral Aggregates vol. 21(I), 2014, s. 99-108
- [4] Kowol D. i inni.: Rozwój klasyfikatorów pulsacyjnych do wzbogacania odpadów kopalnianych ITG KOMAG Gliwice 2016 (materiały niepublikowane)
- [5] Lenartowicz M., Matusiak P., Jędo A., Kowol D.: Rozwój osadzarek pulsacyjnych typu KOMAG. Maszyny Górnicze nr 3-4, 2010, s. 126-132
- [6] Matusiak P., Kowol D.: Klasyfikator pulsacyjny jako sprawdzone urządzenie do oczyszczania surowców mineralnych. Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej, Studia i Materiały, Gór. Geol. XVII 2012 nr 134/41, s. 191-199
- [7] Matusiak P., Kowol D.: Zastosowanie osadzarkowego procesu wzbogacania do odzysku surowca ze składowiska odpadów górniczych. Min. Sci., Miner. Aggreg. 2016 nr 1 s. 115-125, ISSN 2300-9586

- [8] Matusiak P., Kowol D., Łagódka M.: Nowe wdrożenia wzbogacalników pulsacyjnych typu KOMAG. KOMEKO 2016, Innowacyjne i przyjazne dla środowiska techniki i technologie przeróbki surowców mineralnych. Bezpieczeństwo - Jakość - Efektywność, Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2016 s. 175-189
- [9] Różański Z., Suponik T., Matusiak P., Kowol D., Szpyrka J., Mazurek M., Wrona P.: Coal recovery from a coal waste dump. Materiały na konferencję: MEC 2016, Mineral Engineering Conference, Świeradów Zdrój, 25-28 September 2016 s. 1-9, ISSN 2267-1242
- [10] Norma PN-ISO 1171:2002 Paliwa stałe. Oznaczanie popiołu
- [11] Norma PN-ISO 1928:2002 Paliwa stałe. Oznaczanie ciepła spalania metodą spalania w bombie kalorymetrycznej i obliczanie wartości opałowej

Czy wiesz, że

... firma CAT opracowała nowy model ładowarki czerpakowej na podwoziu kołowym, przeznaczonej dla górnictwa podziemnego. Urządzenie o symbolu R1700K ma zwiększoną ładowność o 20% w stosunku do poprzedniego modelu. Napęd spalinowy ładowarki jest dostępny w kilku wersjach, w zależności od wymagań klientów odnośnie do jakości wydalanych spalin. Maksymalna moc napędu ładowarki to 257 kW przy ilości obrotów 2050 min⁻¹. Nowa ładowarka wyposażona jest w ergonomiczną kabinę operatora, z funkcjonalnie zaprojektowanym panelem sterowniczym. Panel zawiera czytelny kolorowy monitor LCD, pokazujący również obraz z opcjonalnie dostępnej tylnej kamery. Kabina sterownicza może być w wersji otwartej, jak i zamkniętej. Nowoczesne rozwiązania technologiczne modelu R1700K dają operatorowi także możliwość zdalnego sterowania urządzeniem, z bezpiecznej odległości. Nowa ładowarka wejdzie do sprzedaży w 2018 roku. Więcej informacji na temat nowej maszyny można znaleźć na stronie producenta - www.cat.com/mining.

Coal International 2017 nr 2 s.47

Skutki utraty stateczności kombajnu ścianowego w trakcie urabiania calizny węglowej

prof. dr hab. inż. Marek Jaszczyk
mgr inż. Jakub Królak
Instytut Mechanizacji Górnictwa
Wydział Górnictwa i Geologii
Politechnika Śląska

Streszczenie:

W artykule omówiono skutki utraty stateczności kombajnu ścianowego z uwzględnieniem każdej możliwej krawędzi wywrotu. Wśród wszystkich przypadków najistotniejszy, z punktu widzenia bezpieczeństwa załogi oraz efektywności pracy kombajnu, okazał się przypadek, w którym krawędź wywrotu jest równoległa do osi wzdłużnej kombajnu, usytuowana od strony zrobów. W tym przypadku dochodzi do zagłębiania się organu przedniego w skały stropowe. Zaprezentowano przykładowe wartości momentu obrotowego na organie urabiającym w przypadku, w którym kombajn utracił stateczność.

Abstract:

In this paper there are presented results of losing stability by longwall shearer with reference of every possible edge of rotation. The most crucial, on account of miners' safety and productivity of longwall shearer, was the case, when the edge of rotation is perpendicular to the longitudinal axis and placed near goaf. In this case headed cutting drum can start excavating roof. There are presented exemplary values of torque on cutting drum in case of losing stability.

Słowa kluczowe: kombajn ścianowy, stateczność, organ urabiający

Keywords: longwall shearer, stability, cutting drum

1. Wprowadzenie

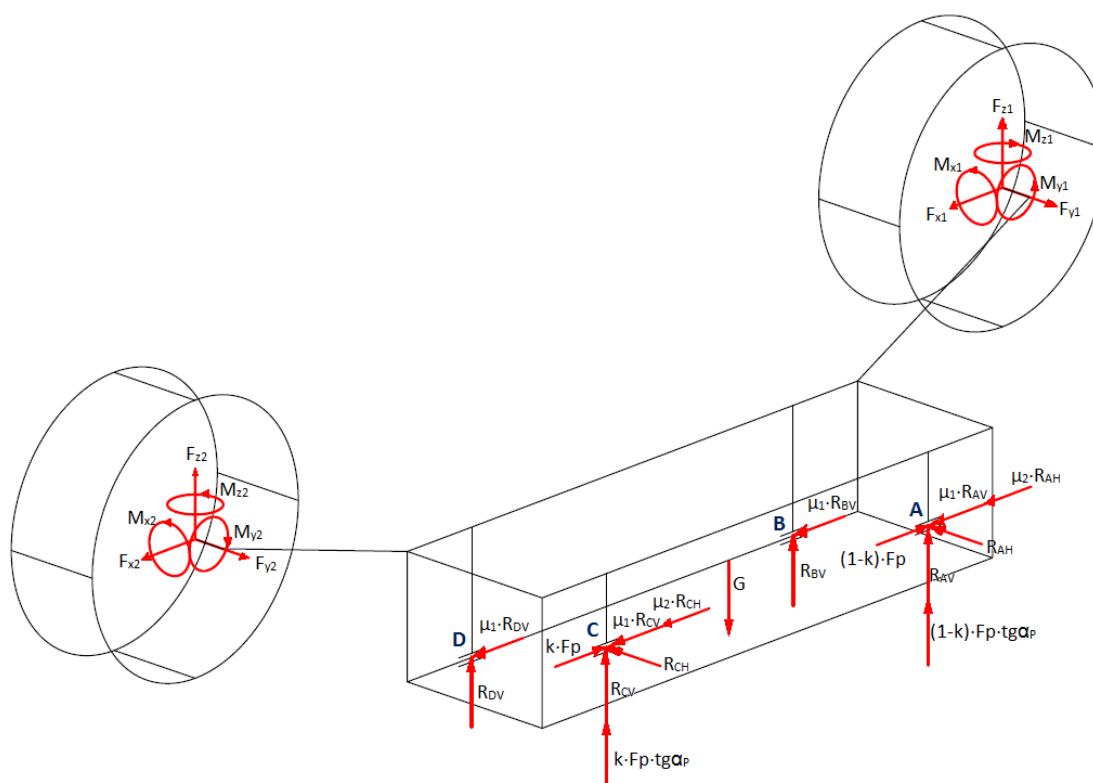
Kombajny ścianowe są maszynami urabiającymi najczęściej wykorzystywanymi w polskim górnictwie węgla kamiennego. Kombajn ścianowy, jak każda maszyna, powinien być użytkowany bezpiecznie, nie powodując narażenia użytkowników na utratę zdrowia. W celu zapewnienia bezpieczeństwa [4], jak i ze względu na możliwość zmiany obciążenia zewnętrznego maszyna powinna zachować stateczność. W przypadku utraty stateczności kombajnu może dojść do negatywnych skutków, takich jak: powstanie sytuacji niebezpiecznej, zmniejszenie wydajności, zanieczyszczenie urobku skałą płoną, nadmierne zużycie cierne podchwytów powodujące uszkodzenie takich elementów kombajnu, jak: koło trakowe, płoza, sanie kombajnowe.

2. Metoda badania utraty stateczności

Zgodnie z normą zharmonizowaną PN-EN 1552 [4] problematykę stateczności rozpatruje się w modelu płaskim, uwzględniającym tylko przekrój poprzeczny kombajnu. Nie uwzględnia się zatem wszystkich sił działających na oba organy. W trakcie urabiania występują bowiem także siły działające prostopadle do tego przekroju, mogące spowodować utratę stateczności względem pozostałych krawędzi wywrotu usytuowanych prostopadle do osi wzdłużnej kombajnu. Przypadki te uwzględniała norma PN-G-50034 [5], zgodnie z którą obliczało się iloraz momentu ustalającego (tj. momentu przeciwdziałającemu wywrotowi względem danej krawędzi wywrotu) i momentu wywracającego z uwzględnieniem każdej krawędzi wywrotu. Biorąc pod uwagę obciążenie kombajnu

w trakcie urabiania może on utracić stateczność względem następujących krawędzi wywrotu (patrz: rys. 1):

- równoległej do osi wzdłużnej kombajnu od strony zrobów (A-C),
- równoległej do osi wzdłużnej kombajnu od strony czoła ściany (B-D),
- prostopadłej do osi wzdłużnej kombajnu (A-B, C-D).



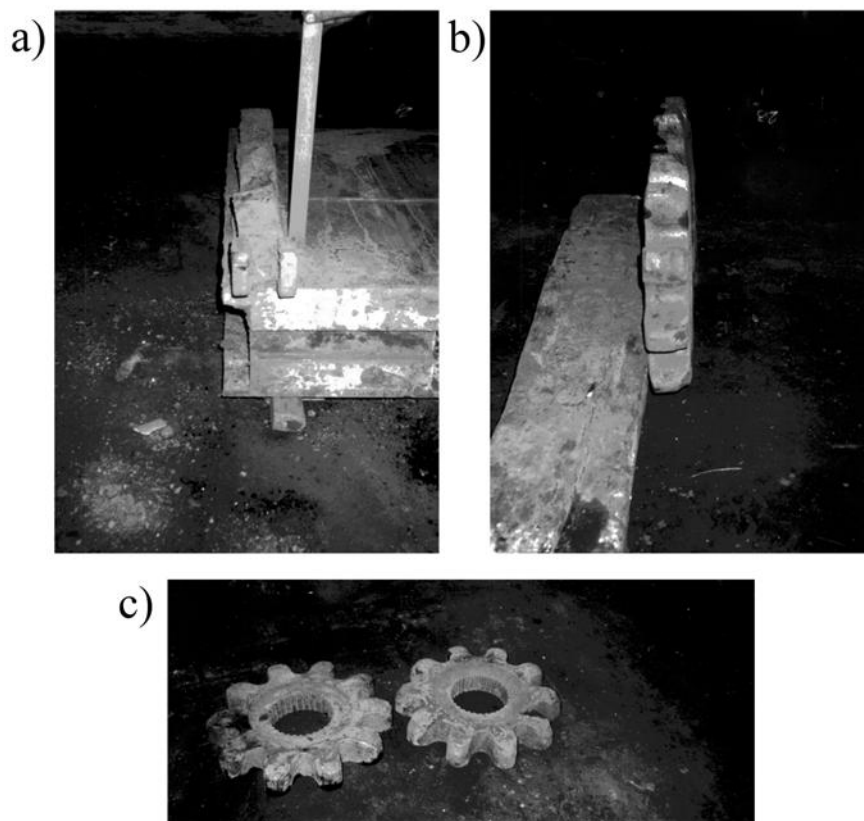
Rys. 1. Przestrzenny model obciążenia kombajnu [2]

Stateczność kombajnu powinna być rozpatrywana z uwzględnieniem wszystkich, wyróżnionych powyżej, krawędzi wywrotu. Kombajn ścianowy traci stateczność, gdy moment wywracający jest większy od momentu ustalającego. Zatem ustalenie przypadków utraty stateczności wymaga ustalenia obciążenia zewnętrznego kombajnu, wynikającego z realizacji procesu urabiania calizny, a także z oporów ruchu i ładowania urobku. Jest to zagadnienie złożone, gdyż niezbędne jest wyznaczenie obciążenia zredukowanego organów urabiających uwarunkowanego właściwościami węgla, parametrami ściany, cechami konstrukcyjnymi organów i charakterystyką techniczną kombajnu [2].

3. Skutki utraty stateczności względem poszczególnych krawędzi podparcia

W przypadku utraty stateczności względem krawędzi wywrotu B-D, wyznaczonej przez punkty podparcia na płozach kombajnu, dojdzie do obrotu kombajnu względem tej prostej. Obrót ten będzie ograniczony z uwagi na fakt, że kombajn posiada podchwyty usytuowane w pobliżu punktów kontaktu koła trakowego ciągnika z elementami prowadzenia wzdłuż bezciągnowego mechanizmu posuwu. Utrata stateczności względem tej krawędzi spowoduje wzrost oporów ruchu maszyny i prowadzi do zużywania się wcześniej wspomnianych podchwytów. Wzrost oporów ruchu potwierdzają doświadczenia eksploatacyjne, z których

wynika, że występuje wówczas zmniejszenie prędkości posuwu kombajnu. Przykładowe zużycie elementów prowadzenia kombajnu przedstawiono na rysunku 2.



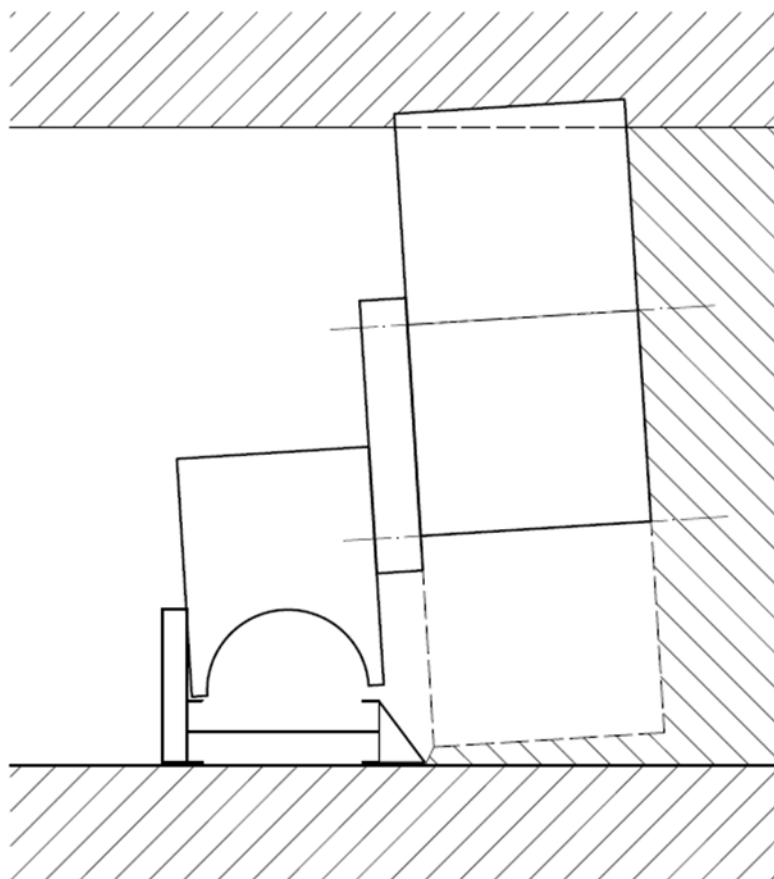
Rys. 2. Przykłady zużycia elementów kombajnu: a) wygięcie elementu sań kombajnowych, b) i c) zużycie cierne koła trakowego, spowodowane utratą stateczności [1]

Przedstawione przykłady zużycia dotyczą kombajnu KSE-360 pracującego w ścianie niskiej. Zmiana położenia kombajnu względem przenośnika spowodowała wygięcie elementów sań, do których mocowane są płozy (rys. 2a) oraz jednostronne zużycie cierne kół trakowych (rys. 2b, 2c).

W przypadku utraty stateczności maszyny, w stosunku do krawędzi wywrotu prostopadłych do osi wzdłużnej kombajnu (A-B, C-D) również dojdzie do obciążenia podchwytów, podobnie jak w poprzednim przypadku. Jednakże kontakt z elementami bezciągnowego mechanizmu posuwu obciąży tylko jeden podchwyt odpowiednio w punkcie C lub A. W przypadku nadmiernego zużycia cierne podchwytu, może dojść do utraty kontaktu zębów koła trakowego z zębatką, co prowadzi do sytuacji awaryjnej, w wyniku której występuje kilkugodzinny postój ściany [1].

Utrata stateczności względem krawędzi wywrotu A-C powoduje odchylenie się kombajnu w kierunku zrobów, co przedstawiono na rysunku 3. Utrata stateczności sprawia, że organ przedni zaczyna urabiać skały stropowe, co zwiększa obciążenie zewnętrzne kombajnu, a także powoduje zanieczyszczenie urobku skałą płonną. Tylne organ urabiający również przemieści się w odniesieniu do swojego dotychczasowego położenia, zostawiając tym samym niewybraną przyspągową warstwę węgla. Warstwa ta stanowi występowanie utrudniający prowadzenie prawidłowej eksploatacji ściany, gdyż może powodować problemy

z przemieszczaniem przenośnika ścianowego do czoła ściany i zmianę ustawienia przenośnika w stosunku do spągu w nowym położeniu. Może to powodować wygięcie trasy przenośnika i powstawanie dodatkowych oporów ruchu łańcucha zgrzeblowego.



Rys. 3. Obrót kombajnu spowodowany utratą stateczności względem krawędzi A-C [opracowanie własne]

Obrót kombajnu względem osi A-C może prowadzić do powstania sytuacji niebezpiecznej. W przypadku wychylenia kombajnu (zwłaszcza, gdy w stropie są skały łatwo urabialne) może dojść do kontaktu organu przedniego z elementami sekcji obudowy zmechanizowanej. W konstrukcji kombajnu ścianowego nie przewidziano elementów, które ograniczałyby obrót kombajnu względem osi wyznaczonej przez koła trakowe, a przeprowadzone badania symulacyjne, uwzględniające różne czynniki wpływu wykazały, że może dochodzić do takiej sytuacji [2].

Powyższa analiza dowodzi, że utrata stateczności wpływa zarówno na bezpieczeństwo użytkowania, jak i efektywność wykorzystania potencjału technicznego kombajnu ścianowego.

Z punktu widzenia bezpieczeństwa najniekorzystniejsza sytuacja występuje w przypadku utraty stateczności względem krawędzi wyrotu równoległej do osi wzdłużnej kombajnu usytuowanej od strony zrobów (A-C). Należy brać pod uwagę fakt, że utrata zazębienia koła trakowego z elementem bezciężnowego mechanizmu posuwu, wskutek zużycia podchwytu, również może prowadzić do wystąpienia dodatkowych trudności w trakcie wymiany podchwytu, szczególnie w przypadku ścian niskich [1]. Należy zatem wykorzystać dane z układu monitorowania parametrów pracy kombajnu do celów diagnostycznych w aspekcie wyprzedzającej wymiany zużytych podchwytów.

4. Wpływ urabiania stropu przednim organem urabiającym na wartość momentu obrotowego

Wyznaczenie obciążenia podchwytu w przypadku utraty stateczności względem krawędzi A-B, C-D, B-D i związanych z nim oporów ruchu nie stanowi problemu. Pozwala na to matematyczny model obciążenia kombajnu ścianowego przedstawiony w pracy [1].

Natomiast w przypadku utraty stateczności względem krawędzi A-C konieczne jest wyznaczenie dodatkowego obciążenia organu przedniego spowodowanego urabianiem skał stropowych.

Przykładowe obciążenie organu urabiającego wynikające z urabiania skał stropowych przedstawiono na rysunku 4. Obciążenie to zostało wygenerowane w trakcie symulacji procesu urabiania przy wykorzystaniu modułu obliczeniowego programu GeneSiS [6] opracowanego w Instytucie Mechanizacji Górnictwa Wydziału Górnictwa i Geologii Politechniki Śląskiej.

W tabeli 1 przedstawiono parametry geometryczne organu, charakteryzujące układ noży, a w tabeli 2 wartości wytrzymałościowe calizny węglowej oraz skał stropowych, które zostały przyjęte na podstawie [3] do symulacji procesu urabiania w trakcie wychylenia kombajnu w stronę zrobów spowodowanego utratą stateczności.

Cechy konstrukcyjne organu urabiającego [7]

Tabela 1

Średnica	1800 [mm]
Zabiór	800 [mm]
Całkowita liczba noży	52 [szt.]
Średnica nominalna płatów ślimakowych	1508 [mm]
Kąt pochylenia płatów ślimakowych	19,8 [°]
Szerokość płatów ślimakowych	570 [mm]
Liczba płatów ślimakowych	4 [szt.]
Liczba noży na płatach ślimakowych	32 [szt.]
Liczba noży w linii skrawania na płatach ślimakowych	4 [szt.]
Liczba linii skrawania na płatach ślimakowych	8 [szt.]
Szerokość tarczy odcinającej	230 [mm]
Liczba noży na tarczy odcinającej	20 [szt.]
Liczba noży w linii skrawania na tarczy odcinającej	4 [szt.]
Liczba linii skrawania na tarczy odcinającej	5 [szt.]

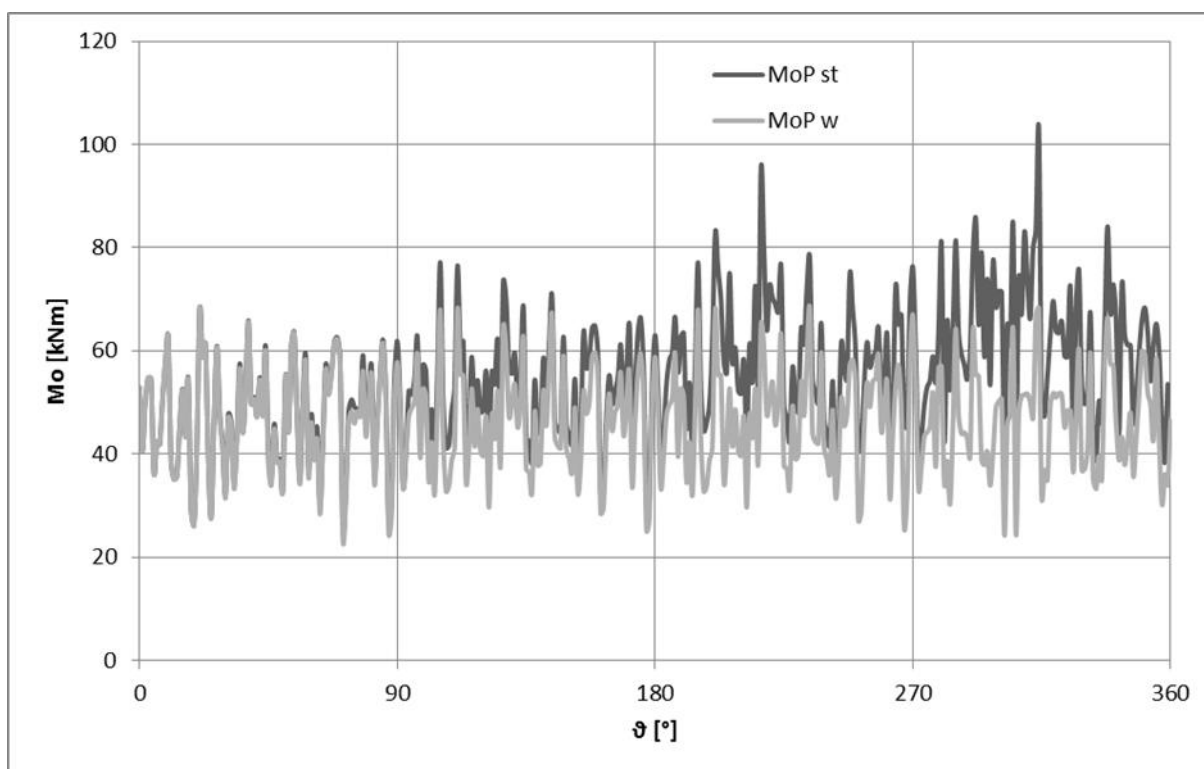
Symulacje przeprowadzono dla prędkości posuwu kombajnu wynoszącej 9 m/min, prędkości obrotowej organów równej 36,2 obr/min. W analizie zaprezentowanej w pracy [2] wykazano, że w przypadku ściany o wysokości 2,4 m kombajn traci wówczas stateczność.

Parametry wytrzymałościowe skał wykorzystane w symulacji

Tabela 2

	Calizna węglowa	Skały stropowe
Wytrzymałość na ściskanie	20 [MPa]	50 [MPa]
Wytrzymałość na rozciąganie	1 [MPa]	4,6 [MPa]
Współczynnik kruchości	20 [-]	10,9 [-]
Kąt bocznego rozkruszenia	60 [°]	37 [°]

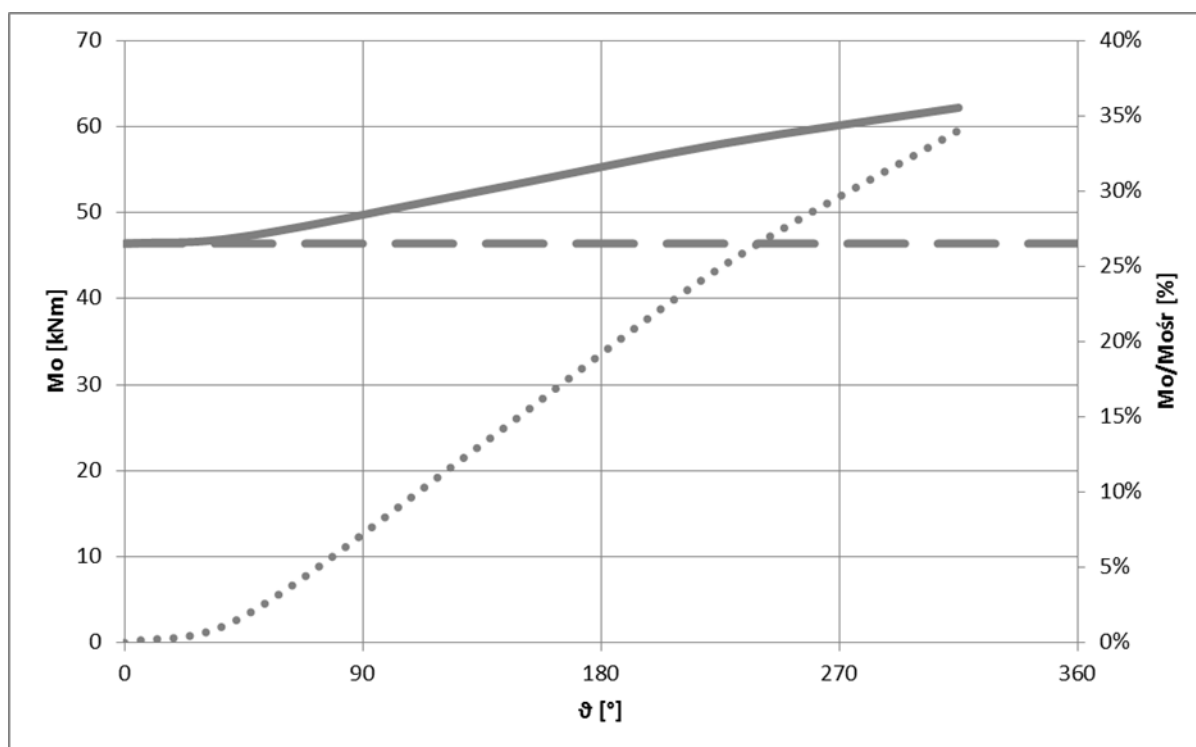
Na rysunku 4 zaprezentowano przykładowy przebieg momentu na organie wyprzedzającym. Kolorem czarnym przedstawiono zmianę obciążenia organu w trakcie jego jednego obrotu, przy prędkości zagłębiania organu w kierunku prostopadłym do kierunku ruchu wynoszącej 2 m/min. Dla porównania kolorem szarym przedstawiono przebieg obciążenia organu w sytuacji, gdy stateczność kombajnu jest zachowana.



Rys. 4. Przebieg momentu obciążającego przedni organ w funkcji kąta obrotu organu wynikający z urabiania węgla (kolor szary) oraz urabiania węgla i skał stropowych (kolor czarny) [opracowanie własne]

Porównanie obu przebiegów dowodzi, że w miarę zagłębiania się organu w skały stropowe zwiększa się moment obrotowy na wale organu.

Dla zadanej prędkości obrotowej organu wynoszącej $n = 36,2$ obr/min obrót o jeden stopień trwa około 0,005 s. Z uwagi na dużą amplitudę zmian momentu wyznaczono wartości średnie momentu dla drogi kątowej wynoszącej 90° (rys. 5).



Rys. 5. Wartości średnie momentu oporów urabiania w funkcji kąta obrotu organu przedniego (oś rzędnych po lewej stronie wykresu): linia kreskowa – przy urabianiu samego węgla, linia ciągła – przy zagłębianiu organu w strop. Procentowa zmiana momentu obrotowego (oś rzędnych po prawej stronie wykresu) – linia kropkowana [opracowanie własne]

Linia kreskową została zaznaczona średnia wartość momentu na organie, wynikająca tylko z urabiania węgla o wytrzymałości na ściskanie równej 20 MPa. Linia ciągła przedstawia wartość momentu obrotowego wynikającego z urabiania węgla oraz skał stropowych, spowodowanego zagłębianiem się organu w strop. Względny, procentowy wzrost obciążenia, wyznaczony jako iloraz przyrostu wartości momentu i momentu na organie w przypadku urabiania samego węgla przedstawiono linią kropkową (oś rzędnych po prawej stronie wykresu). W przyjętych warunkach utrata stateczności powoduje wzrost momentu na organie w trakcie jednego obrotu organu o 30% w wyniku zagłębiania w strop o 5 cm. Zatem wzrost momentu obrotowego wynikającego z realizacji procesu urabiania jest znaczący. Wzrost grubości warstwy stropu urabianej organem przednim zachodzi do momentu ponownego uzyskania przez kombajn stateczności.

5. Podsumowanie

Utrata stateczności przez kombajn ścianowy w trakcie urabiania calizny węglowej może powodować:

- powstanie sytuacji niebezpiecznej związanej z kontaktem organu urabiającego warstwę przystropową z elementami sekcji obudowy zmechanizowanej, a tym samym zagrożenie dla osób znajdujących się w pobliżu kombajnu,
- zmniejszenie wydajności kombajnu wskutek zwiększenia oporów urabiania i/lub oporów ruchu,

- zużycie cierne podchwyty, które w skrajnej sytuacji może doprowadzić do wyębienia koła trakowego z elementami bezciągnowego mechanizmu posuwu i/lub uszkodzenia innych elementów konstrukcyjnych kombajnu.

Kombajn wyposażony jest w podchwyty, które uniemożliwiają obrót względem krawędzi prostopadłych do osi wzdłużnej kombajnu (A-B, C-D) oraz równoległej do osi wzdłużnej kombajnu od strony czoła ściany (B-D). Utrata stateczności kombajnu może powodować uszkodzenie podchwyty, a co za tym idzie pogorszenie prowadzenia kombajnu. Z punktu widzenia bezpieczeństwa oraz efektywności pracy kombajnu, najistotniejszy przypadek stanowi obrót kombajnu względem krawędzi A-C. Utrata stateczności względem tej krawędzi może doprowadzić do powstania sytuacji niebezpiecznej, stanowiącej potencjalne zagrożenie dla załogi. W tym przypadku utraty stateczności występują także zwiększone opory ruchu maszyny, zanieczyszczenie urobku skałą płonną, czy pozostawienie niewybranej przyspągowej warstwy węgla.

Literatura

- [1] Jaszczuk M., Kania J.: Przykład wykorzystania systemu monitorowania pracy maszyn górniczych do identyfikacji stanów awaryjnych, Szkoła mechanizacji górnictwa. Systemy dyspozytorskie i diagnostyczne wymogiem nowoczesnego górnictwa, Szczyrk 22-25 maja 2002
- [2] Jaszczuk M., Królak J.: Metoda badania wpływu utraty stateczności na opory ruchu kombajnu ścianowego, Górnictwo Zrównoważonego Rozwoju, Gliwice 23.11.2016
- [3] Kidybiński A.: Podstawy geotechniki kopalnianej, wyd. Śląsk, Katowice 1982
- [4] Norma PN-EN 1552:2005 Maszyny dla górnictwa podziemnego. Ścianowe maszyny urabiające. Wymagania bezpieczeństwa dla kombajnów ścianowych i zespołów strugowych
- [5] Norma PN-G-50034:2004 Ochrona pracy w górnictwie. Kombajny ścianowe. Wymagania bezpieczeństwa i ergonomii
- [6] Sprawozdanie merytoryczne z wykonanych badań przemysłowych i prac rozwojowych do raportu końcowego projektu badawczego NR09-0031-10 pt.: Wspomaganie komputerowe procesu optymalizacji cech konstrukcyjnych kombajnu ścianowego. 2011 (praca niepublikowana)
- [7] Katalogi producenta kombajnu KOPEX-880E

Szacowanie czasu pracy górnich maszyn transportowych z napędem akumulatorowym

dr inż. Rafał Konsek
Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Streszczenie:

Artykuł prezentuje wyniki symulacji komputerowych zużycia energii ciągnika PCA-1 i dla dwóch wariantów pracy lokomotywy górniczej typu Lda-12K-EMA: transport urobku oraz transport materiałów. Zużycie energii wyznaczono uwzględniając sprawność układu napędowego. Uzyskane wyniki umożliwiają oszacowanie czasu pracy tych maszyn górniczych w odniesieniu do stanu naładowania baterii akumulatorów.

Abstract:

Computer simulations of energy consumption of suspended drivetrain PCA-1 and for two variants of operation of Lda-12K-EMA locomotive i.e. transportation of run-of-mine and transportation of people are presented. Energy consumption was calculated taking into account efficiency of the driving system. The results enable assessment of operational time of the mining machines from the state of full charged batteries to their discharge.

Słowa kluczowe: górnictwo, lokomotywa akumulatorowa, akumulatorowy ciągnik podwieszony, czas pracy

Keywords: mining, locomotive, suspended drivetrain, work time

1. Wprowadzenie

Górnice maszyny transportowe z napędem akumulatorowym są projektowane w aspekcie zapewnienia uniwersalności podczas wykonywania zadań przewozowych. Czynnikiem, który decyduje o wyborze maszyny transportowej do realizowanego zadania jest przede wszystkim siła pociągowa, wynikająca z zainstalowanej mocy. Czas pracy maszyny transportowej z napędem akumulatorowym jest zatem uzależniony od mocy źródła energii – baterii akumulatorów. Podstawowym czynnikiem dla projektantów pojazdów elektrycznych staje się zatem ocena czasu pracy maszyny, w odniesieniu do stanu naładowania baterii akumulatorów. Przykładowo w badaniach homologacyjnych w Unii Europejskiej zużycie energii przez samochody elektryczne jest wyznaczane zgodnie z procedurą opisaną w Regulaminie EKG ONZ nr 101. Samochody są badane na hamowni podwoziowej w teście jezdnym NEDC, symulującym jazdę miejską i pozamiejską. W celu oceny zużycia energii przez pozostałe pojazdy elektryczne wykonuje się badania w testach jezdnych, odpowiadającym różnym warunkom ruchu [1, 2, 5, 6, 7]. Niniejszy artykuł przedstawia wyniki symulacji komputerowych zużycia energii i czasu pracy dwóch górniczych maszyn transportowych: podwieszonego ciągnika akumulatorowego PCA-1, służącego do prac manewrowych i lokomotywy akumulatorowej Lda-12K-EMA, podczas transportu urobku i materiałów.

2. Energochłonność maszyn górniczych z napędem akumulatorowym

Energochłonność napędu pojazdu określa praca, którą należy wykonać w celu pokonania oporów ruchu i sił bezwładności podczas transportu. Energochłonność zależy zarówno od cech konstrukcyjnych pojazdu, jak i od profilu trasy oraz sposobu jej pokonania. Zapotrzebowanie na energię uzależnione jest również od masy transportowanego materiału oraz od nachylenia trasy. Na energochłonność transportu mają wpływ również straty powstałe podczas zamiany energii źródła na energię mechaniczną w układzie napędowym. Straty te można jednak optymalizować w procesie projektowo-konstrukcyjnym poprzez odpowiedni

dobór cech jednostki napędowej. Zmiennymi mogą być cechy konstrukcyjne, takie jak: kształt i masa pojazdu, przełożenie oraz sposób sterowania, który w szczególności może dotyczyć prędkości chwilowej, miejsca uruchomienia i wyłączenia odpowiedniej jednostki napędowej, doboru optymalnych nastaw sterownika jednostki napędowej, np. natężenia prądu czy napięcia.

Istotnym zagadnieniem w napędach elektrycznych jest przede wszystkim prawidłowy dobór baterii akumulatorów. Wymaganą pojemność akumulatorów wyrażoną w watogodzinach można wyznaczyć na podstawie zależności:

$$Q_B = w_B \cdot \frac{\sum P_W}{2} \cdot t \quad (1)$$

Q_B – pojemność baterii akumulatorów [Wh]

w_B – współczynnik bezpieczeństwa

P_W – sumaryczna moc wyjściowa [W]

t – czas [h]

Jak widać w powyższym równaniu, pojemność baterii powinna odpowiadać czasowi pracy, połowie sumie mocy odbiorników powiększonych o współczynnik bezpieczeństwa, który uwzględnia sprawność części układu napędowego pomiędzy baterią a silnikiem napędowym oraz żywotność akumulatorów, cechującą się utratą pojemności [1].

3. Szacowanie czasu pracy podwieszonego ciągnika akumulatorowego PCA-1

Ze względu na fakt, że dotychczas nie ustalono pomiarowego cyklu jazdy górniczych kolejek podwieszonych, analizę energochłonności przeprowadzono symulując jazdę ciągnika PCA-1 według cyklu NEDC (rys. 1). Ustalono, że prędkość 100 km/h odpowiada prędkości 1 m/s. Z uwagi na fakt, że ciągnik PCA-1 przeznaczony jest do prac manewrowych na krótkich odcinkach trasy, do symulacji wybrano część „jazda miejska” cyklu NEDC trwająca w czasie 800 s. Danymi wejściowymi były również sprawność układu napędowego, prędkość oraz siła uciągu (dla uproszczenia przyjęto, że ciągnik porusza się z maksymalną siłą uciągu). Wynikami symulacji były przebyta droga i zużyta energia ciągnika PCA-1, które przedstawiono na rysunku 2. Przebytą drogę wyznaczono na podstawie zależności (2), natomiast zużyta energię za pomocą wzorów (3), (4) i (5).

$$s = \int_{t_0}^{t_1} V(t) dt \quad (2)$$

s – droga [m]

$V(t)$ – prędkość [m/s]

t_0 – czas początku jazdy [s]

t_1 – czas końca jazdy [s]

$$P_W(t) = F_p(t) \cdot V(t) \quad (3)$$

$P_W(t)$ – moc wyjściowa [kW]

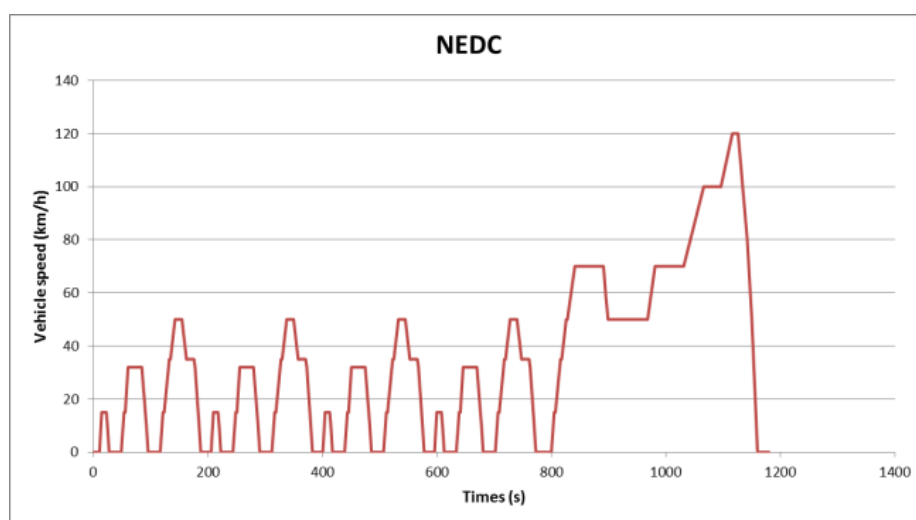
$F_p(t)$ – siła pociągowa [kN]

$$Q_{Bz}(t) = \frac{P_w(t)}{\eta_n} \quad (4)$$

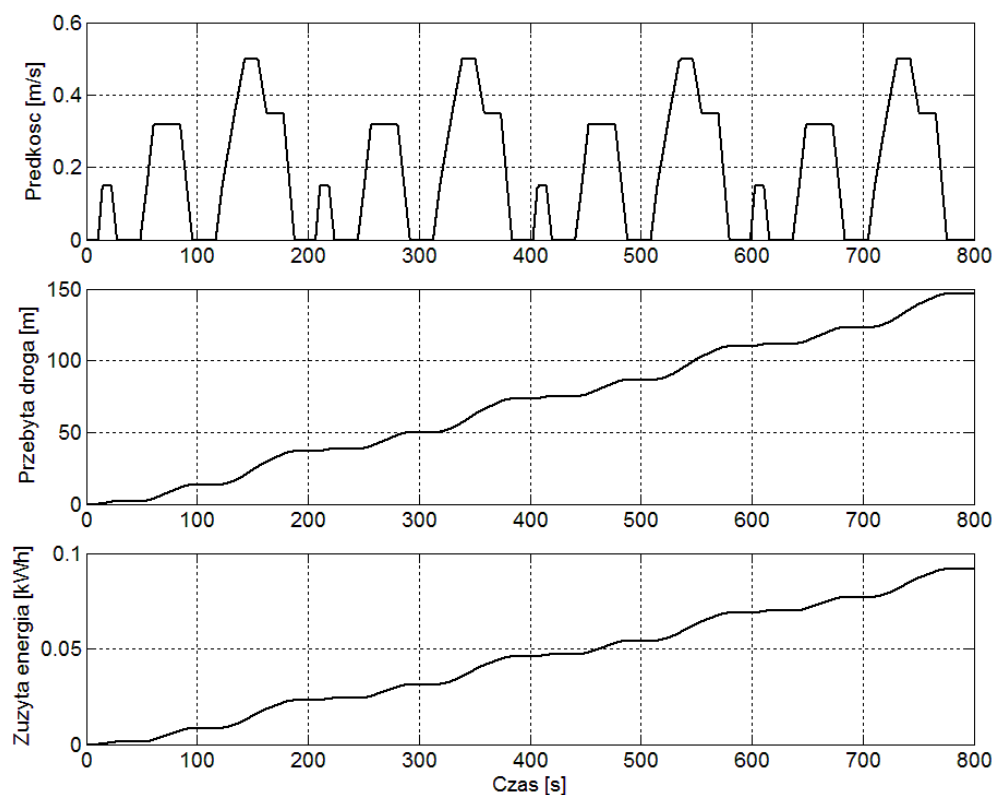
$Q_{Bz}(t)$ – energia pobierana z akumulatorów [kW]

$$Q_{Bz} = \int_{t_0}^{t_1} Q_{Bz}(t) dt \quad (5)$$

Q_{Bz} – energia pobrana z akumulatorów [kWh]



Rys. 1. Pomiarowy cykl jazdy NEDC [3]

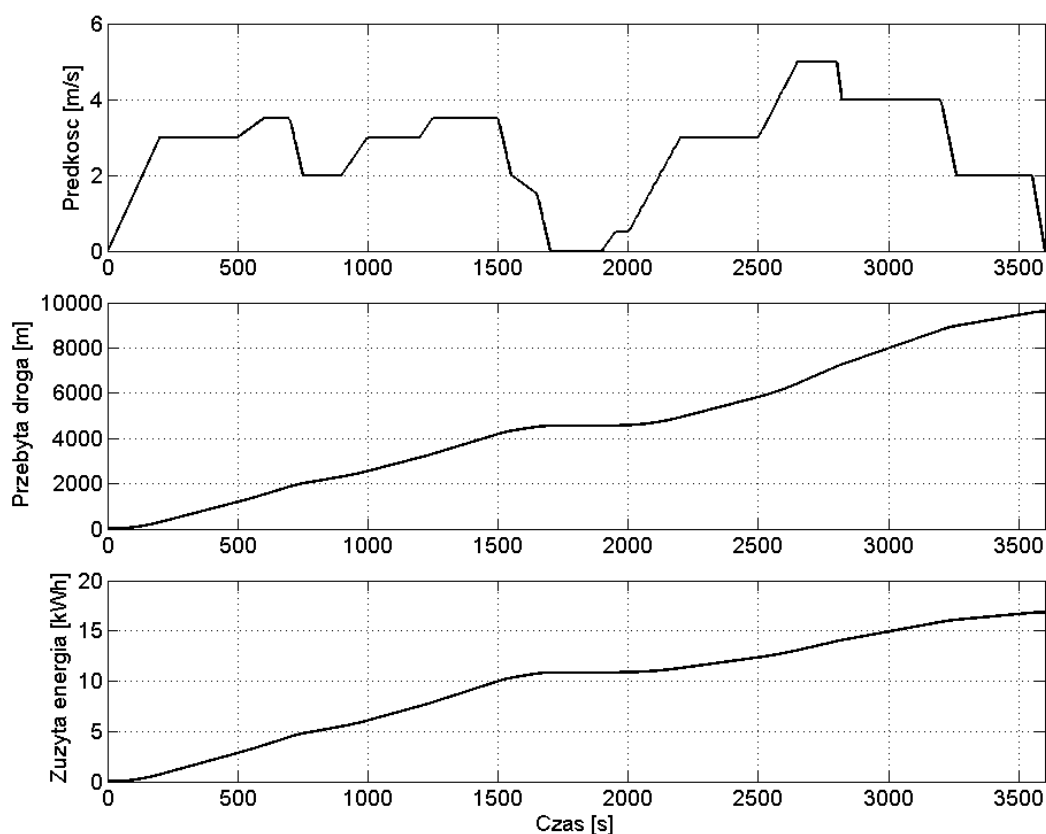


Rys. 2. Prędkość, przebyta droga i zużycie energii ciągnika PCA-1[4]

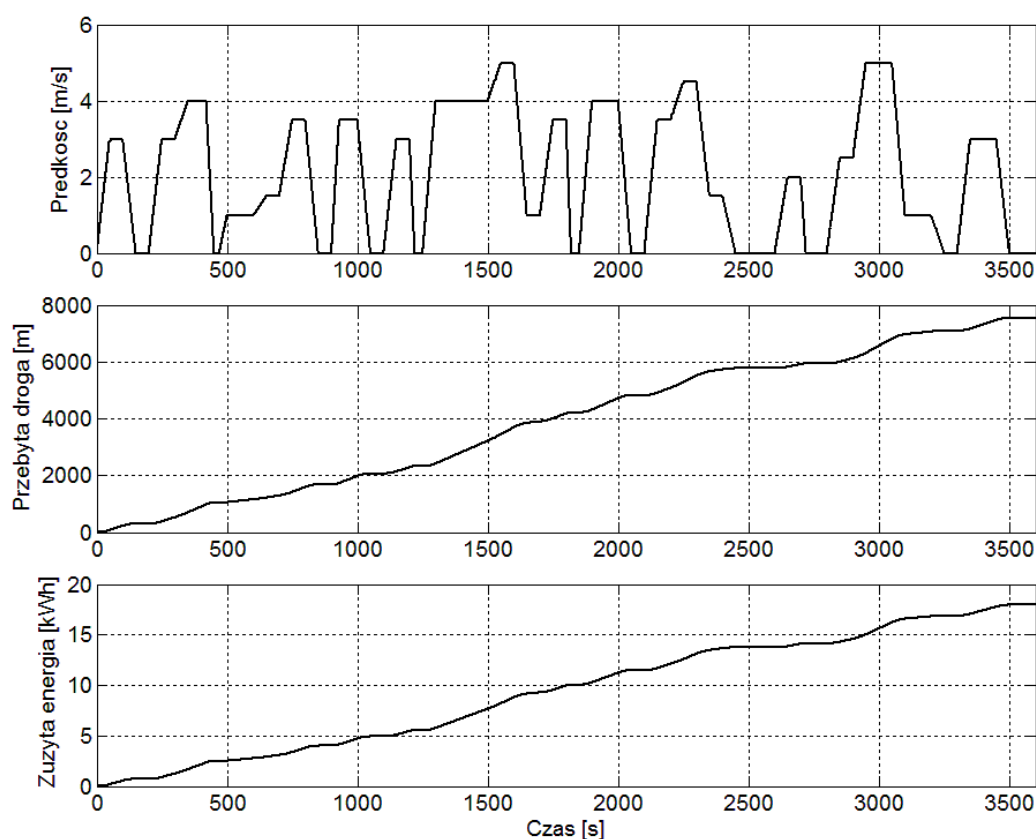
Z przeprowadzonych symulacji wynika, że ciągnik PCA-1 przebył drogę 150 m zużywając 0,08 kWh energii. Na tej podstawie wyznaczono, że zasięg podwieszonoego ciągnika akumulatorowego PCA-1 wynosił 9 km, a maksymalny czas pracy - 13 godzin.

4. Szacowanie czasu pracy lokomotywy akumulatorowej Lda-12K-EMA

Zużycie energii przez lokomotywę akumulatorową Lda-12K-EMA symulowano dla dwóch wariantów pracy. Pierwsza odwzorowywała transport urobku (rys. 3), natomiast druga – transport materiałów (rys. 4). Lokomotywa transportowała 20 wozów kopalnianych o masie 3550 kg każdy. Podczas transportu urobku symulowano, że pierwszą połowę cyklu pracy lokomotywa ciągnęła pełne wozy kopalniane, podczas drugiej połowy cyklu wozy były puste. Danymi wejściowymi były: sprawność układu napędowego, prędkość oraz siła uciągu (dla uproszczenia przyjęto, że lokomotywa poruszała się po nienachylonej trasie). Wynikiem symulacji były przebyta droga i zużyta energia. Przebytą drogę wyznaczono na podstawie zależności (2). Czas każdego przejazdu wynosił godzinę.



Rys. 3. Prędkość, przebyta droga i zużycie energii lokomotywy transportującej urobek [8]



Rys. 4. Prędkość, przebyta droga i zużycie energii lokomotywy transportującej materiały [8]

Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że lokomotywa Lda-12K-EMA podczas transportu urobku przebyła drogę 9500 m zużywając 17 kWh energii. Na podstawie powyższego wyznaczono, że zasięg lokomotywy wynosi 80 km, a maksymalny czas pracy 8 godzin. Podczas transportu materiałów lokomotywa przebyła drogę 7500 m zużywając 18 kWh energii. Zasięg lokomotywy wynosi 60 km, a maksymalny czas pracy 8 godzin.

5. Podsumowanie

Przeprowadzone symulacje komputerowe energochłonności pozwoliły oszacować czas pracy dwóch maszyn górniczych z napędem akumulatorowym. Czas pracy tych maszyn wynosił odpowiednio 13 godzin dla ciągnika PCA-1 i 8 godzin dla lokomotywy Lda-12K-EMA. Był to czas pracy wystarczający do wykonania zadań transportowych podczas jednej zmiany roboczej.

Analiza energochłonności pozwoliła na wyznaczenie zasięgu, czasu pracy oraz wydajności maszyn górniczych z napędem akumulatorowym w zależności od prędkości jazdy, siły uciągu i sprawności układu przeniesienia napędu. Należy jednak podkreślić, że wykorzystanie pomiarowego cyklu jazdy NEDC nie odpowiada rzeczywistym cyklom pracy górniczych kolejek podwieszonych i daje jedynie przybliżony wynik. Kontynuowane będą zatem prace badawcze zmierzające do odzwierciedlenia rzeczywistych cykli jazdy.

Literatura

- [1] Chłopek Z.: Badanie zużycia energii przez samochód elektryczny. Archiwum motoryzacji, 2013 nr 3

- [2] Chłopek Z., Lasocki J.: Badanie zużycia energii przez samochód elektryczny w warunkach ruchu w mieście. Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów 2014 nr 1
- [3] Konsek R.: Optymalizacja pracy elektrycznego układu napędowego przeznaczonego do kolejek podwieszonych. Praca statutowa ITG Komag, niepublikowana, Gliwice 2016 r.
- [4] Konsek R.: Elektryczny napęd górniczych kolejek podwieszonych. Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne 2017 nr 1
- [5] Kwaśnikowski J., Gramza G.: Porównanie własności trakcyjno-ruchowych lokomotyw EU07 I ET22 ze składem towarowym. Problemy Eksploatacji 2009 nr 2
- [6] Moćko W., Ornowski M., Szymańska M.: Badanie zużycia energii przez samochód elektryczny w czasie testów drogowych. Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne 2013 nr 2
- [7] Pawar S., Wagh M., Shinde N.: Development of energy balance of light weight electric vehicle in motion for energy conservation. International Journal of Science and Research, 2015 nr 12
- [8] Mechatroniczny układ napędowy do pojazdów szynowych przeznaczonych do pracy w atmosferze wybuchowej. Projekt finansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju nr N R01 0009 06 w latach 2009-2012

Czy wiesz, że

...sektor węgla kamiennego po czterech miesiącach 2017 roku miał 1,256 mld zł zysku netto, wobec 52 mln zł rok wcześniej. Jednak większość kopalń na Śląsku ma spore kłopoty produkcyjne, co może przełożyć się na wzrost importu. Kurczą się też zapasy. Na koniec kwietnia na zwalach leżało 2,15 mln ton – o 361,9 tys. ton mniej niż na koniec 2016 roku. Kopalniom sprzyjały wyższe ceny sprzedaży, które jednak nie będą aż tak korzystne w kolejnych miesiącach. Mimo trwającej restrukturyzacji, powoli idzie obniżanie kosztów produkcji węgla kamiennego. Eksport węgla w I kwartale 2017 r. wyniósł 2 mln ton – tyle samo ile rok wcześniej. Także 2 mln ton (również bez zmian) wyniósł import w tym okresie. Rosnąca dziura wydobywcza może zmienić sytuację w przyszłym półroczu, zwłaszcza gdy ceny na światowych rynkach znowu spadną. Inaczej wygląda sytuacja w przypadku węgla brunatnego. Z najnowszych danych GUS wynika, że jego wydobycie wyniosło w kwietniu 4,59 mln ton, co oznacza wzrost o 4,5% rok do roku. Przez pierwsze cztery miesiące tego roku kopalnie węgla brunatnego wydobyły 20,94 mln ton surowca, co rok do roku oznacza wzrost aż o 11,1%.

Gazeta Prawna 2017 7 czerwca s.A4

Badania systemu pozycjonowania kombajnu chodnikowego w wyrobisku doświadczalnym

dr inż. Sławomir Bartoszek
mgr inż. Marcin Jura
mgr inż. Jerzy Jagoda
Instytut Techniki Górniczej KOMAG
inż. Krzysztof Libera
mgr inż. Adam Słowiński
FAMUR S.A.

Streszczenie:

W artykule przedstawiono wyniki badań modelu fizycznego systemu pozycjonowania kombajnu chodnikowego. Opracowany w ITG KOMAG system pozycjonowania, w odróżnieniu od innych tego typu rozwiązań, do wyznaczania położenia i orientacji kombajnu wykorzystuje zjawiska propagacji fal ultradźwiękowych oraz radiowych. Badania przeprowadzono w tunelu doświadczalnym, w oddziale REMAG należącym do FAMUR S.A. z wykorzystaniem rzeczywistego kombajnu chodnikowego. Badania miały na celu sprawdzenie poprawności działania systemu oraz jego dokładności, w warunkach zbliżonych do rzeczywistych.

Abstract:

Testing results of the positioning system of the roadheader's physical model are presented. Positioning system developed at ITG KOMAG unlike other solutions of this type, is based on the ultrasound and radio waves phenomenon. The tests have been performed in an experimental tunnel at REMAG, a subsidiary of FAMUR S.A., using a real roadheader. The objective of the test was to examine correct operation of the system and its accuracy in conditions comparable to real life conditions.

Słowa kluczowe: górnictwo, wyrobisko korytarzowe, kombajn chodnikowy, pozycjonowanie

Keywords: mining industry, roadway, roadheader, positioning

1. Wprowadzenie

Metoda drążenia wyrobisk korytarzowych w polskich kopalniach węgla kamiennego wykorzystuje mechaniczne urabianie za pomocą kombajnów chodnikowych. Dążenie do zwiększania konkurencyjności zakładów górniczych, wymaga doskonalenia procesu drążenia wyrobisk korytarzowych poprzez wprowadzanie nowoczesnych rozwiązań technicznych. Środkiem prowadzącym do zwiększenia efektywności drążenia wyrobisk korytarzowych za pomocą kombajnów chodnikowych jest automatyzacja tego procesu [6, 7, 8, 9, 10, 11].

Aktualny poziom automatyzacji prac związanych z drążeniem wyrobisk korytarzowych w Polsce jest wciąż niski. Większość robót, w tym sterowanie kombajnem chodnikowym czy zabezpieczenie wyrobiska obudową, wykonuje się ręcznie. Dąży się jednak do automatyzacji części procesu drążenia związanej z urabianiem kombajnem chodnikowym. Jednym z czynników, który umożliwia częściowo lub całkowicie autonomiczne sterowanie kombajnem chodnikowym jest jego pozycjonowanie, czyli wyznaczanie bieżącej pozycji maszyny w wyrobisku.

Ze względu na warunki środowiskowe, coraz częściej zdarzają się przypadki, kiedy obecność operatora kombajnu chodnikowego w obszarze przodka wyrobiska jest niemożliwa, np. ze względu na wyrzuty skał i gazów. Właściwe pozycjonowanie kombajnu wraz z systemem autonomicznego sterowania wpłynie na zwiększenie bezpieczeństwa pracy, poprzez wycofanie załogi, w tym operatora kombajnu w bezpieczne miejsce.

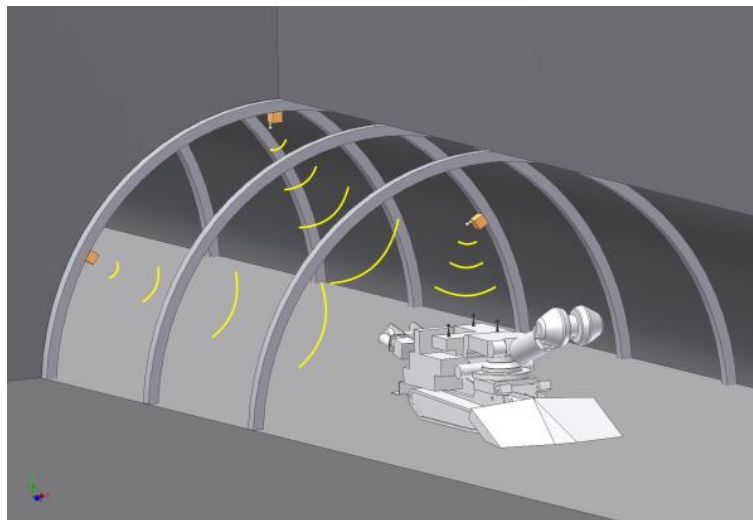
Zagadnienie pozycjonowania kombajnów chodnikowych podczas drążenia wyrobisk w kopalniach węgla kamiennego, nie zostało dotychczas dobrze rozwiązane. Systemy pozycjonowania kombajnów chodnikowych stosowane podczas drążenia tuneli, bazujące na

technice laserowej, ze względu na ograniczenia wynikające z przepisów (dyrektywy ATEX 2014/34/UE) oraz specyfikę środowiska kopalni węgla kamiennego, nie udało się wdrożyć. Również systemy wykorzystujące dalmierze laserowe nie sprawdziły się w praktyce, m.in. ze względu na konieczność montażu na ociosach wyrobiska dodatkowych ekranów odbijających promienie.

Uwzględniając powyższe w Instytucie Techniki Górniczej KOMAG opracowano system pozycjonowania kombajnu chodnikowego w przestrzeni wyrobiska korytarzowego, który w odróżnieniu od istniejących rozwiązań wykorzystuje zjawiska propagacji fal ultradźwiękowych oraz radiowych [1, 2, 3, 4]. W artykule przedstawiono wyniki badań modelu fizycznego systemu pozycjonowania kombajnu chodnikowego przeprowadzonych w tunelu doświadczalnym, w firmie FAMUR – oddział REMAG. Tunel wyposażony był w obudowę chodnikową typu ŁP oraz kombajn chodnikowy, który w trakcie badań przemieszczał się wzdłuż wyrobiska. Badania miały na celu sprawdzenie poprawności działania systemu oraz jego dokładności, w warunkach zbliżonych do rzeczywistych.

2. System pozycjonowania kombajnu chodnikowego

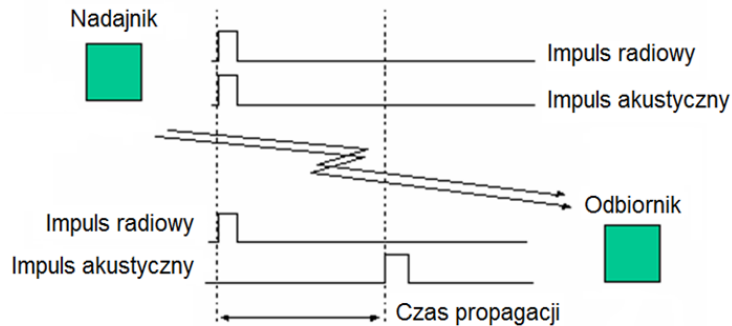
Ideę systemu pozycjonowania kombajnu chodnikowego, opracowanego w ITG KOMAG, przedstawiono na rysunku 1. Na ociosach, bądź stropie wyrobiska będą znajdować się co najmniej trzy nadajniki generujące fale radiowe i ultradźwiękowe. W docelowej formie nadajnik będzie bezprzewodowym, zintegrowanym urządzeniem, zawierającym: element generujący fale ultradźwiękowe, własne źródło zasilania, uchwyt magnetyczny umożliwiający montaż, układ sterujący oraz moduł komunikacji radiowej. Służby geodezyjne kopalni będą wyznaczać i wprowadzać do systemu współrzędne miejsc, w których instalowane będą nadajniki.



Rys. 1. Idea działania systemu pozycjonowania kombajnu chodnikowego w wyrobisku korytarzowym kopalni [2, 4]

Pozostałe elementy systemu będą zabudowane na kombajnie, tj.: moduł realizujący obliczenia, wyposażony w komunikację radiową, elementy odbierające fale ultradźwiękowe oraz inklinometr. Odpowiedni układ elementów odbiorczych na kombajnie wraz z inklinometrem umożliwią wyznaczenie położenia i orientacji kombajnu.

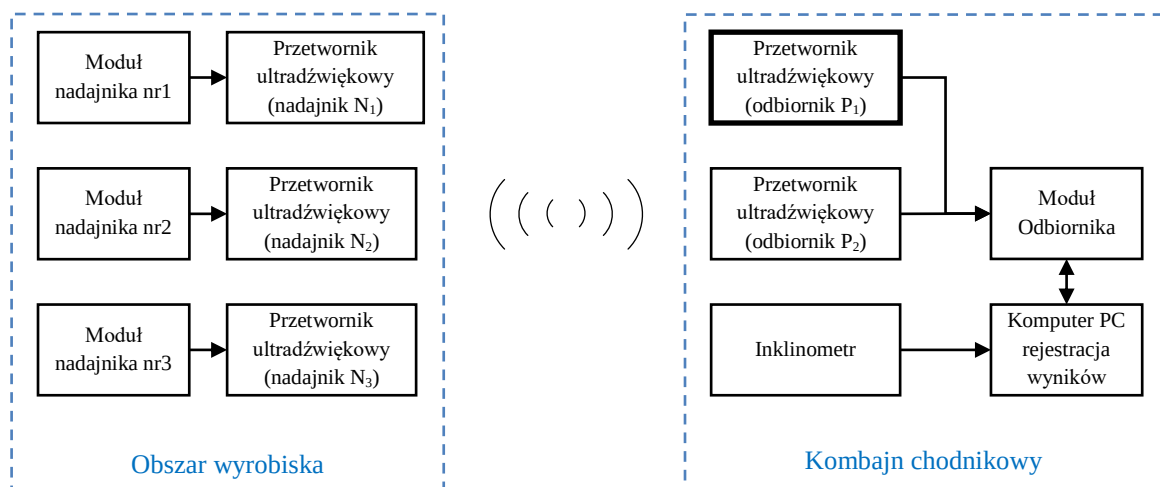
Algorytmy zaimplementowane w systemie, służące do wyznaczania położenia kombajnu, bazują na zasadzie trilateracji. Odległość maszyny od nadajników wyznaczana jest poprzez pomiar czasu propagacji fal ultradźwiękowych. Fale radiowe wykorzystano do przenoszenia sygnałów synchronizujących i do komunikacji. Sposób obliczania odległości poprzez pomiar czasu propagacji fal ultradźwiękowych przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Zasada obliczania odległości poprzez pomiar czasu propagacji fal ultradźwiękowych [2, 4]

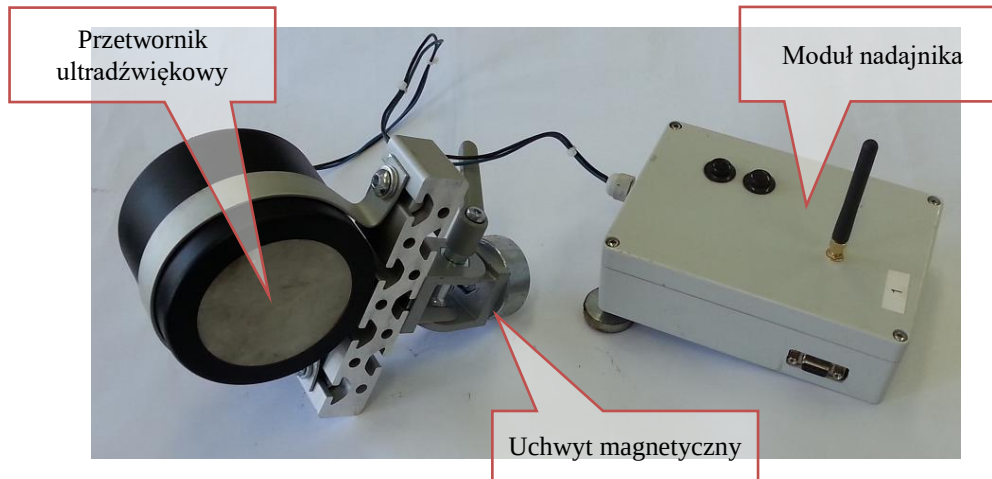
3. Model fizyczny systemu pozycjonowania

Struktura modelu systemu pozycjonowania kombajnu chodnikowego, będącego przedmiotem badań, została przedstawiona na rysunku 3.

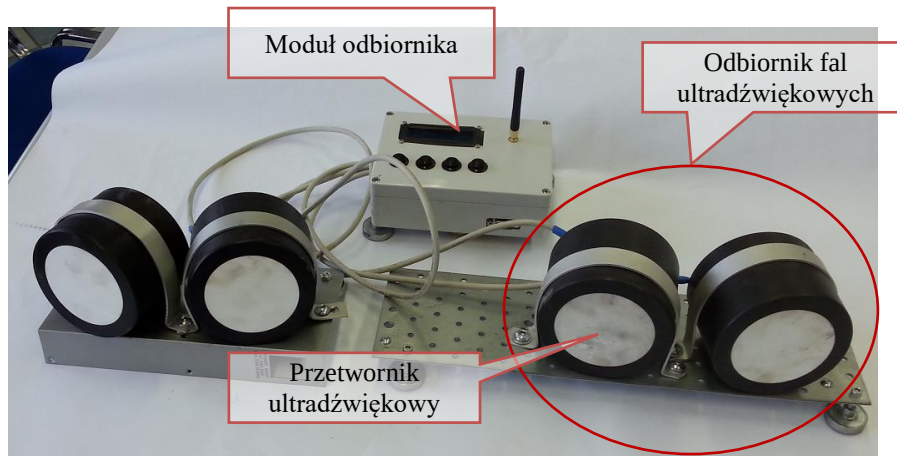


Rys. 3. Struktura modelu systemu pozycjonowania kombajnu chodnikowego [5]

Model systemu składał się z trzech nadajników (rys. 4) zainstalowanych na łukach obudowy chodnikowej oraz z modułu odbiornika, zainstalowanego na kombajnie, z dwoma odbiornikami fal ultradźwiękowych (rys. 5). Odbiornikiem był pojedynczy lub podwójny przetwornik ultradźwiękowy.



Rys. 4. Nadajnik systemu pozycjonowania kombajnu chodnikowego [5]

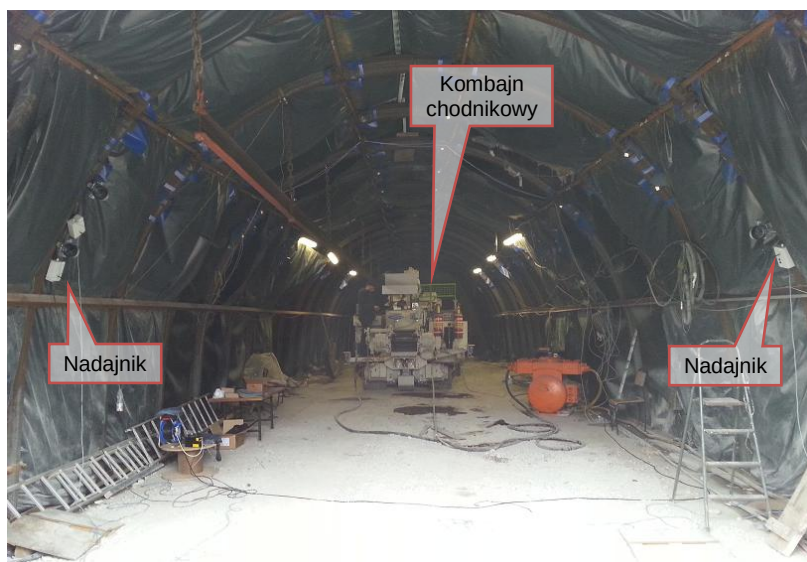


Rys. 5. Część modelu systemu związana z odbiorem fal ultradźwiękowych, instalowana na kombajnie chodnikowym [5]

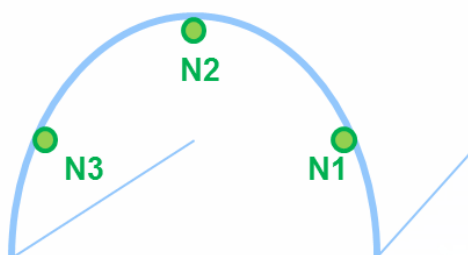
Na kombajnie dodatkowo znajdował się inklinometr dwuosiowy INK-2D oraz komputer rejestrujący wyniki pomiarów. Moduł odbiornika posiada 3 kanały pomiarowe (w wersji zastosowanej w badaniach do jego wejścia podpięto dwa odbiorniki, każdy złożony z dwóch przetworników ultradźwiękowych). Każdy kanał obok układów filtracji posiada regulowane wzmocnienie na 3-stopniowym poziomie: 20, 40 i 60 dB. Podczas badań wykorzystano przetworniki ultradźwiękowe pracujące z częstotliwością 30 kHz.

4. Stanowisko badawcze

Badania realizowano w tunelu doświadczalnym, na terenie REMAG-u (rys. 6). Tunel symulował górnicze wyrobisko korytarzowe. Na kombajnie chodnikowym zamontowano odbiorniki, a na łuku obudowy ŁP12 nadajniki systemu pozycjonowania według schematu przedstawionego na rysunku 7.

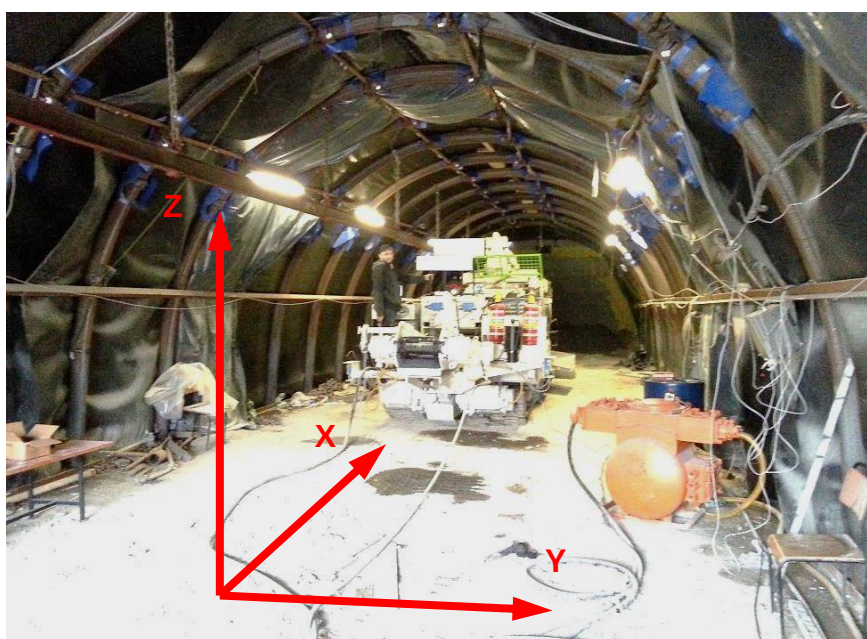


Rys. 6. Tunel doświadczalny z zainstalowanym modelem systemu pozycjonowania [5]



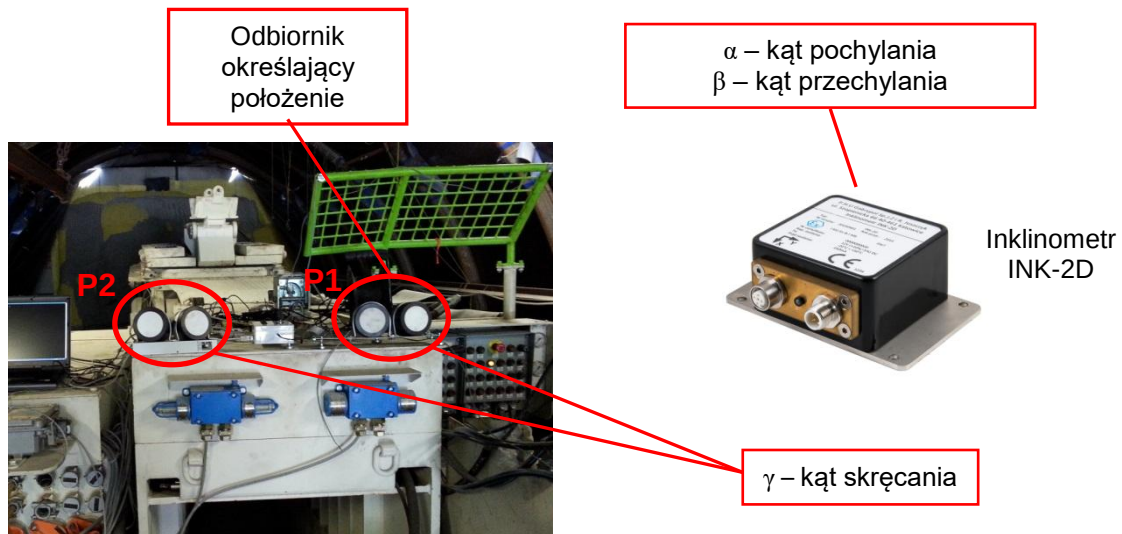
Rys. 7. Rozmieszczenie nadajników na łuku obudowy tunelu doświadczalnego [5]

Współrzędne nadajników (wyrażone w [m]) były następujące: $N1 = (0; 2,7; 2,25)$, $N2 = (0; 0; 4)$, $N3 = (0; -2,75; 2,3)$. W trakcie badań przyjęto układ współrzędnych odniesienia zgodnie z rysunkiem 8.



Rys. 8. Położenie osi XYZ układu współrzędnych odniesienia w tunelu [5]

Na podstawie pomiarów czasu propagacji fal ultradźwiękowych wyznaczano pozycję kombajnu (położenie oraz orientację). Elementy pomiarowe wykorzystywane do tego celu, zabudowane na kombajnie, przedstawiono na rysunku 9.



Rys. 9. Elementy zabudowane na kombajnie służące do wyznaczenia położenia i orientacji [5]

Do wyznaczenia położenia kombajnu służył odbiornik P1. Orientację kombajnu wyznaczano za pomocą trzech kątów:

- α – kąt pochylania,
- β – kąt przechylania,
- γ – kąt skręcania.

Kąty α i β mierzono za pomocą inklinometru INK-2D opracowanego w ITG KOMAG. Kąt γ obliczono na podstawie wzajemnego ułożenia odbiorników P1 i P2. Do obliczenia miary kąta γ konieczne było wyznaczenie współrzędnych odbiorników P1 i P2.

5. Przebieg badań

Badania rozpoczęto od umieszczenia na kombajnie pojedynczego odbiornika, w celu:

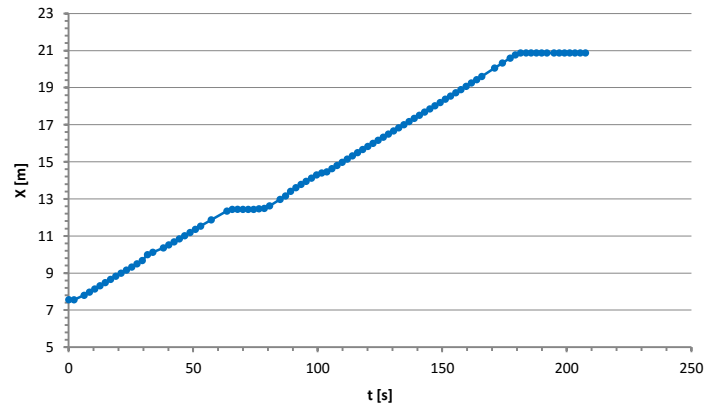
- sprawdzenia zakresu działania,
- kalibracji toru pomiarowego i działania systemu,
- regulacji parametrów komunikacji radiowej celem osiągnięcia niezawodnej komunikacji,
- eliminacji zakłóceń, które pojawiały się w chwili zwiększenia czułości odbiornika (zwiększono wzmacnienie kanału pomiarowego do 60 dB),
- sprawdzenia dokładności określania położenia, w całej długości tunelu.

Następnie system kalibrowano i rozbudowywano o kolejne elementy tak, aby przyjął on ostateczną postać przedstawioną na rysunku 9. Wyniki pomiarów rejestrowano na komputerze przenośnym (laptopie), który połączono z modułem odbiornika systemu pozycjonowania za pomocą interfejsu szeregowego. Dane pomiarowe zapisywano w formie plików tekstowych.

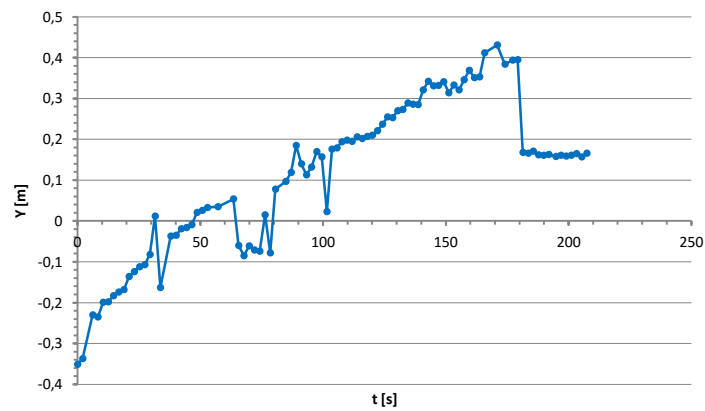
Przykładowe wyniki badań przedstawiono w postaci wykresów na rysunkach 10 i 11. Wartości każdej współrzędnej rejestrowanego położenia kombajnu przedstawiono na

osobnym wykresie. Dodatkowo na rysunkach 10d i 11d przedstawiono wartości kątów opisujących orientację kombajnu. Rysunek 10 reprezentuje przejazd kombajnu w głąb wyrobiska, natomiast rysunek 11 jego powrót.

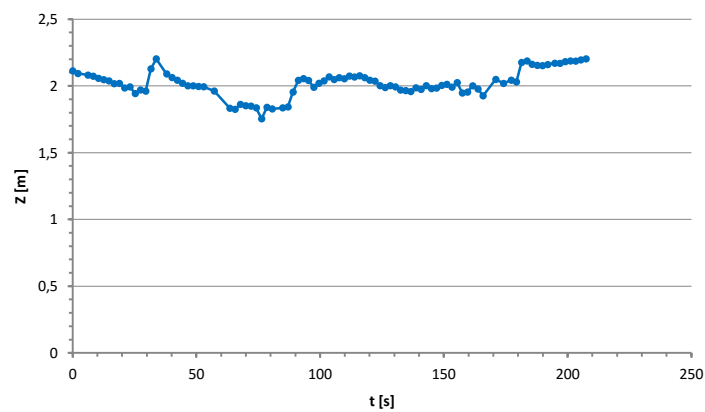
a)



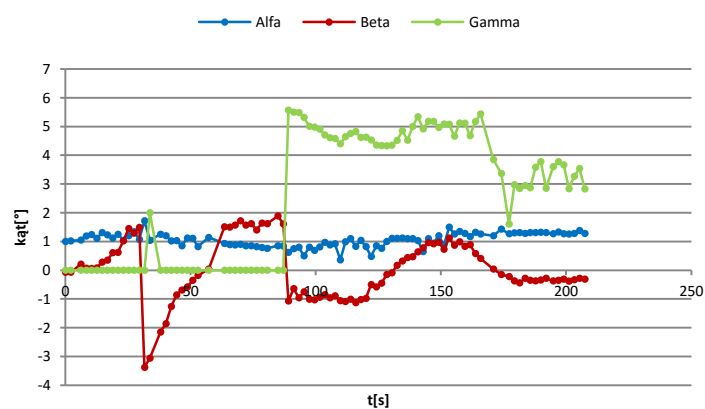
b)



c)

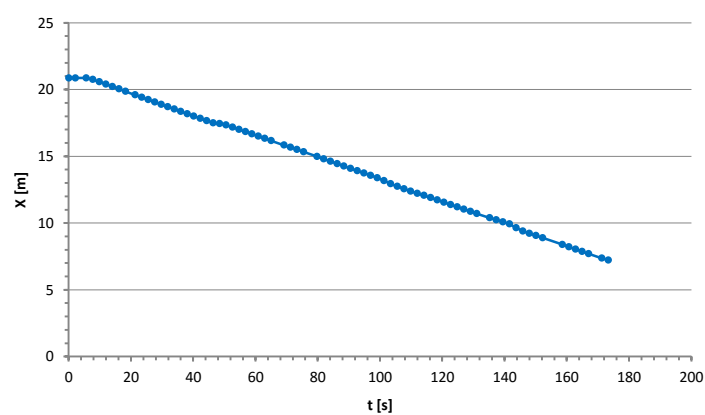


d)

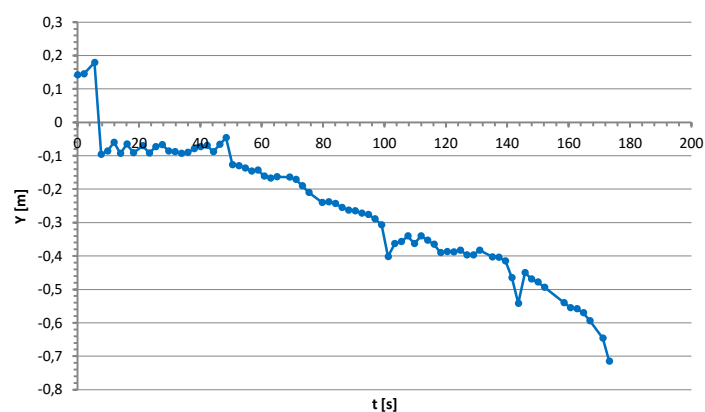


Rys. 10. Przebiegi wartości zarejestrowanych podczas jazdy kombajnu w głąb wyrobiska przedstawiające:
a) współrzędną X położenia, b) współrzędną Y położenia, c) współrzędną Z położenia, d) kąty opisujące orientację kombajnu [5]

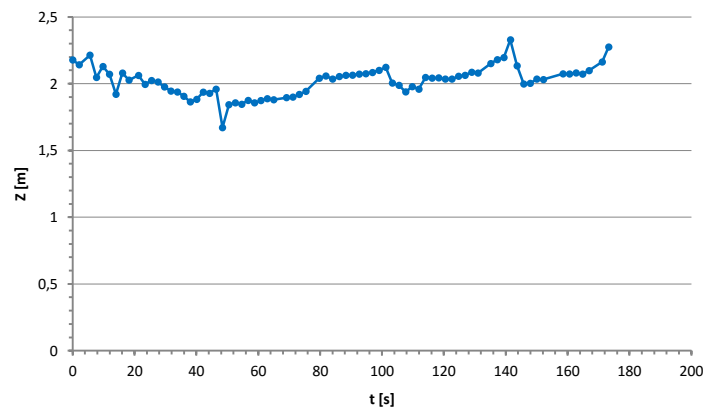
a)



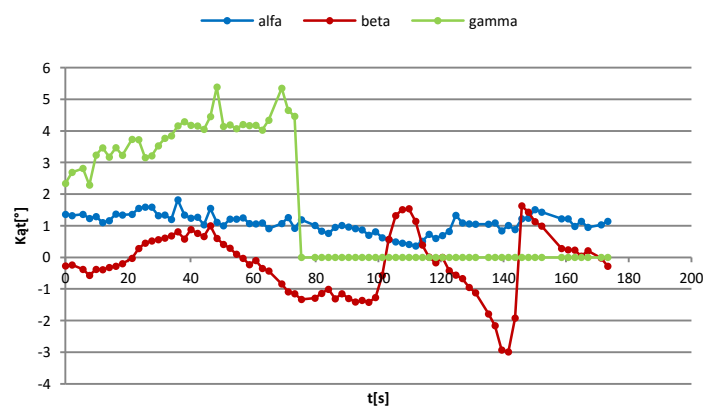
b)



c)



d)



Rys. 11. Przebiegi wartości zarejestrowanych podczas jazdy powrotnej kombajnu przedstawiające:
a) współrzędną X położenia, b) współrzędną Y położenia, c) współrzędną Z położenia, d) kąty opisujące orientację kombajnu [5]

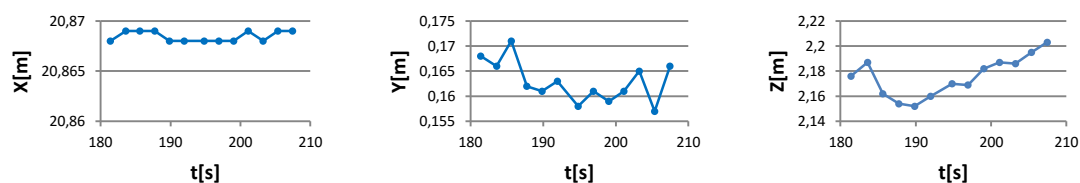
W każdym z przejazdów system wskazywał położenie na całej trasie przejazdu, przy czym minimalna odległość od nadajników wynosiła ok. 7 m. Przy mniejszych odległościach system nie odbierał sygnałów ze wszystkich nadajników jednocześnie, co wynikało z ich ustawienia oraz ograniczonego kąta emisji fal.

Wyznaczano wszystkie trzy kąty opisujące orientację (rys. 10d i 11d). Jednak kąt skręcania γ , wyznaczony na podstawie wzajemnego ustawienia odbiorników P1 i P2, przyjmował poprawne wartości tylko w części trasy przejazdu kombajnu. Przyczyną był niewłaściwie skonfigurowany filtr pasmowo-przepustowy w kanale pomiarowym, do którego podłączono odbiornik P2. Po wyeliminowaniu problemu, czułość obu kanałów pomiarowych (odbiornika P1 i P2) była taka sama. Dodatkowo zwiększono moc sygnałów (fal ultradźwiękowych) generowanych przez nadajniki.

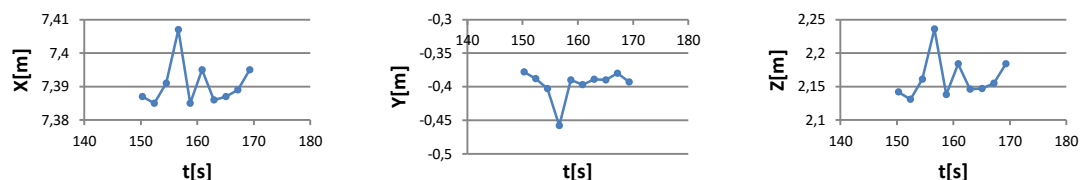
6. Określenie dokładności wskazań systemu

W celu określenia dokładności wskazań systemu (przedstawienia rozrzutu wyrażonego za pomocą rozstępu – różnicy pomiędzy największą i najmniejszą wartością), na rysunku 12 przedstawiono losowo wybrane wartości współrzędnych położenia kombajnu, rejestrowane w trakcie jego postoju.

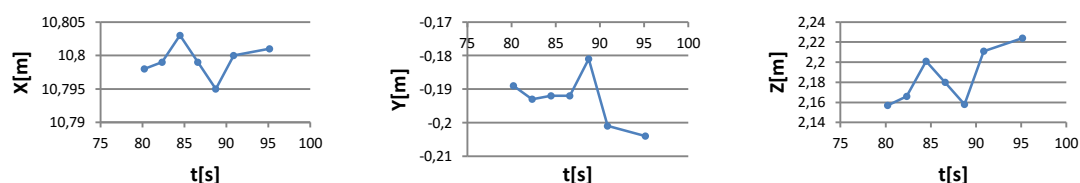
a)



b)



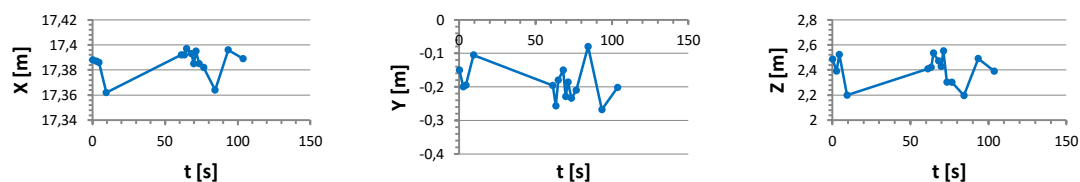
c)



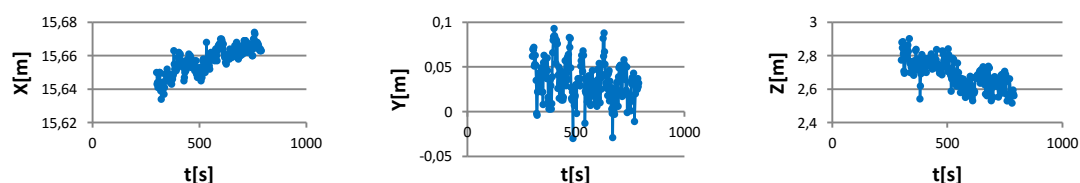
Rys. 12. Wartości współrzędnych położenia mierzone w trakcie postoju kombajnu, w odległości od nadajników wynoszącej: a) ok. 20,87 m, b) ok. 7,39 m, c) ok. 10,8 m [5]

Na rysunku 13 zamieszczono wartości współrzędnych położenia kombajnu rejestrowane w trakcie jego postoju, lecz tym razem wybrano najgorsze przypadki, czyli serie pomiarowe charakteryzujące się największym rozrzutem wartości.

a)



b)



Rys. 13. Wartości współrzędnych położenia mierzone w trakcie postoju kombajnu, w odległości od nadajników wynoszącej: a) ok. 17,39 m b) ok. 15,6 m [5]

W przypadku przebiegów z rysunku 12 maksymalny rozrzut wartości (wyrażony za pomocą rozstępu) poszczególnych współrzędnych wynosił odpowiednio:

- X: 0,022 m,
- Y: 0,08 m,
- Z: 0,11 m.

W najgorszych przypadkach, co dotyczy przebiegów z rysunku 13, maksymalny rozrzut poszczególnych współrzędnych wynosił:

- X: 0,04 m,
- Y: 0,2 m,
- Z: 0,4 m.

W wybranych lokalizacjach kombajnu porównywano wskazania systemu z wartościami współrzędnych położenia mierzonych manualnie. Ze względów technicznych możliwe było sprawdzenie tylko dwóch współrzędnych: X i Y. Współrzedną X mierzono za pomocą dalmierza laserowego, natomiast współrzedną Y sprawdzano przez pomiar odległości do bocznych części obudowy chodnikowej. W trakcie pomiarów kombajn nie poruszał się. Wyniki porównania przedstawiono w tabeli 1.

Porównanie wskazań systemu z pomiarami manualnymi [5]

Tabela 1

Lp.	Wartość oczekiwana (zmierzona przyrządem ręcznym)			Wartość wyznaczona przez system			Błąd bezwzględny	
	X [m]	Y [m]	Z [m]	X [m]	Y [m]	Z [m]	ΔX [m]	ΔY [m]
1	7,37	-0,37	-	7,39	-0,55	2,15	0,02	0,18
2	10,76	-0,12	-	10,80	-0,25	2,20	0,04	0,13
3	12,40	0,05	-	12,43	-0,10	1,85	0,03	0,15
4	20,81	0,36	-	20,87	0,16	2,18	0,06	0,20

7. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że system wyznacza położenie kombajnu z określoną dokładnością (współrzedną X z dokładnością kilku centymetrów, a Y z dokładnością kilkunastu centymetrów). Dokładności wyznaczania współrzednej Z nie określono ze względu na brak odpowiedniego przyrządu pomiarowego. Rozrzut (rozstęp) wartości serii pomiarowych zmierzonych podczas postoju kombajnu, w najgorszym przypadku wynosił odpowiednio X: 0,04 m, Y: 0,2 m, Z: 0,4 m. Największą dokładnością charakteryzowały się wartości współrzednej X. Osiągany zakres pomiarowy systemu wynosił około $7 \div 21$ m (odległość 21 m była maksymalną na jaką mógł się oddalić kombajn).

Wyznaczano również kąty opisujące orientację. Kąt pochylenia i przechylenia odczytywano z inklinometru, natomiast kąt skręcania wyznaczano na podstawie wzajemnego położenia odbiorników P1 i P2. Ze względu na małą czułość kanału odbiornika P2, system wskazywał poprawne wartości kąta skręcania tylko w niewielkiej części toru jazdy kombajnu. Ostatecznie problem wyeliminowano, co potwierdziły testy laboratoryjne. Zmodyfikowany system zostanie przetestowany w kolejnym etapie badań. W dalszych badaniach planuje się również testy podczas urabiania bloku betonowego (podczas zapylenia). Planuje się również sprawdzenie działania systemu podczas symulacji przeszkód znajdujących się w rzeczywistym wyrobisku tj. np. elementów instalacji wentylacyjnej.

Literatura

- [1] Bartoszek S.: Pozycjonowanie kombajnu chodnikowego w wyrobisku korytarzowym. Maszyny Górnicze 2016 nr 1 s. 22-35, ISSN 0209-3693

- [2] Bartoszek S.: System pozycjonowania maszyn mobilnych w wyrobiskach korytarzowych. Praca wewnętrzna ITG KOMAG, Gliwice 2012 - 2015 (materiały niepublikowane)
- [3] Bartoszek S.: Metoda pozycjonowania górniczych maszyn mobilnych w wyrobiskach korytarzowych. W: Innowacyjne techniki i technologie dla górnictwa. Bezpieczeństwo – efektywność – niezawodność. KOMTECH 2012, Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2012 s. 387-399
- [4] Bartoszek S.: Metoda pozycjonowania kombajnu chodnikowego w wyrobisku korytarzowym. Praca doktorska, Politechnika Śląska, Gliwice, 2017
- [5] Bartoszek S. i inni: System pozycjonowania kombajnu chodnikowego. Praca wewnętrzna ITG KOMAG, Gliwice 2016 (materiały niepublikowane)
- [6] Bertignoll H.: The right road: a clear path. World Coal 2014 nr 6 s. 35-36
- [7] Jasiulek D., Świder J.: Mechatronic systems in mining roadheaders – examples of solutions. Pomiary Automatyka Robotyka 2013 nr 1. ISSN 1427-9126, Indeks 339512.
- [8] Jasiulek D., Kozieł A., Stankiewicz K., Bartoszek S.: Inteligentne systemy sterowania maszyn górniczych dla kopalni przyszłości. Napędy i Sterowanie. 2011 nr 7/8 (147/148) s. 100-103
- [9] Jasiulek D., Stankiewicz K., Świder J.: An adaptive control system of roadheader with intelligent modelling of mechanical features of mined rock. Journal of KONES Powertrain and Transport, Vol. 18, No. 2 2011
- [10] Jonak J.: Analiza możliwości automatyzacji procesów drążenia kombajnami niepełnoprzekrojowymi. Masz. Gór. 2003 nr 93 s. 20-22
- [11] Kargl H., Gimpel M., Haubmann H., Preimesberger T.: Development of an automatic cutting cycle for part face mining machines. W: Materiały na konferencję: "Mineral Resources and Mine Development", RWTH Aachen, May 26th and 27th, 2010 s. 379-391

Technologia odzysku koncentratu węglowego z odpadów pogórnich przez wdrożenia urządzeń typu KOMAG

dr inż. Piotr Matusiak
dr inż. Daniel Kowol
Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Streszczenie:

W artykule przedstawiono proces wdrażania klasyfikatorów pulsacyjnych na składowisku odpadów pogórnich w Przechlebie. Zaprezentowano również wyniki skuteczności rozdziału klasy ziarnowej 30-5 mm w klasyfikatorze pulsacyjnym. Omówiono problemy związane z zanieczyszczeniem wody obiegowej stosowanej w procesie odzysku koncentratu węglowego z odpadów.

Słowa kluczowe: górnictwo węgla kamiennego, odpady, wzbogacanie, klasyfikator

Keywords: coal mining, waste, beneficiation, pulsatory jig

Abstract:

The implementation process of pulsatory jigs at the mine waste in Przechlebie is presented. Results of effectiveness of separation of different grain size 30-5 mm in pulsatory jig are presented. Problems of polluting the water used in the process of recycling coal from the coal waste is discussed.

1. Wstęp

Na terenie Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego, na hałdach zgromadzonych jest ok. 100 mln Mg odpadów, powstałych w wyniku procesów wydobywania i przeróbki węgla kamiennego [1].

Niska skuteczności procesów wzbogacania, szczególnie do połowy XX w., spowodowała, że na hałdy trafiało, obok skały płonnej, stosunkowo dużo ziaren węglowych [6].

Zawarty w odpadach węgiel ulegał częstym samozapłonom, co w konsekwencji wywoływało zagrożenie zanieczyszczenia atmosfery gazami (CO , CO_2) oraz niebezpieczeństwo zanieczyszczenia wód powierzchniowych i gruntowych chlorkami i siarczkami. Grunt zajmowany przez składowiska odpadów stał się dodatkowo nieużytkiem rolnym [7].

W latach 90-tych rozpoczęto rekultywację składowisk odpadów w celu odzysku węgla i innych minerałów oraz zagospodarowania terenów, które w wyniku ww. zagrożeń wydawały się być stracone dla środowiska i niemożliwe do innego użytkowania [4].

Zastosowanie metody grawitacyjnego wzbogacania umożliwiło wydzielanie ze składowisk ziaren organicznych i pozwoliło na produkcję tzw. kruszywa wtórnego oraz dodatkowo, energetycznego koncentratu węglowego [3, 4]. Składowiska odpadów pokopalnianych stanowią zatem obecnie wtórne złoża materiałów użytecznych.

Kruszywo wtórne w zależności od swojej jakości, może być wykorzystane do:

- tworzenia mieszanek do betonu,
- budowy nasypów,
- budowania warstw mrozoodpornych, odsączających,
- tworzenia zasypki obiektów inżynierskich,
- makroniwelacji terenów,

- rekultywacji terenów,
- budowy wałów przeciwpowodziowych,
- utwardzania nawierzchni gruntowych,
- zimowego utrzymania dróg [3, 4, 6].

Pozyskiwanie kruszyw wtórnych jest zgodne z podstawowymi celami gospodarki odpadami, tj.: minimalizacji ilości odpadów oraz minimalizacji ich wpływu na środowisko [3, 4].

2. Centralne składowisko odpadów pogórnich w Przechlebiu

Na terenie powiatu gliwickiego powstały pod koniec XIX wieku trzy duże piaskownie:

- największa w Pyskowicach, kopiająca pokłady Dzierżno,
- w Rzeczychach, kopano zbiornik Pławniowice,
- oraz piaskownia w Przechlebiu.

Wyrobiska wypełniała stopniowo woda, tworząc wyspy, półwyspy i zatoki, a wokół zaczął rosnąć łubin, brzoza i akacja. Ponieważ woda była wyjątkowo czysta, zarybiono ją, a wzdłuż brzegu utworzono liczne plaże. Dalsze pogłębianie spowodowało powstawanie wysp, np. tzw. archipelag wysp Kolorado (rys. 1) [10].



Rys. 1. Plaże znajdujące się na terenie dzisiejszego składowiska odpadów w Przechlebiu [10]

W 1954 roku zakończono eksploatację piasku w Przechlebiu i zdecydowano o przemysłowym wykorzystaniu wyrobiska.

Z uwagi na wydobywanie węgla sięgające 220 mln Mg rocznie i metody wzbogacania węgla o niskiej skuteczności, generujące ogromne ilości odpadów pogórnich, poszukiwano miejsca do ich składowania.

W 1955 roku utworzono w Przechlebiu centralne składowisko odpadów pogórnich z 13 kopalń (między innymi z kopalń: Makoszowy, Pstrowski, Bielszowice, Chwałowice,

ZMP i Krupiński). W okresie późniejszym składowano tam również pyły i żużle z elektrowni (m.in. Zabrze i Rybnik).

W latach 90-tych stopniowo ograniczano składowanie odpadów, by zakończyć ostatecznie ich składowanie ok. 2000 roku.

3. Klasyfikator pulsacyjny K-102 do przetwarzania odpadów z hałd kopalnianych

W 2014 roku ITG KOMAG zdecydował o opracowaniu technologii umożliwiającej odzysk węgla kamiennego zawartego w składowisku pokopalnianym w Przezchlebiu. Wstępne badania wykazały stosunkowo dużą zawartość węgla w odpadach, która w zależności od miejsca pobrania próbek, wynosiła od 10 do 16%.

Doświadczenia KOMAG-u z wdrażania osadzarek pulsacyjnych do wzbogacania węgla kamiennego posłużyły do zaprojektowania maszyny do rozdziału i oczyszczania kruszywa - klasyfikatora pulsacyjnego.

Podstawą procesu rozdziału materiału w klasyfikatorze pulsacyjnym jest jego rozwarstwienie w pulsacyjnym ośrodku wodnym, na pokładzie sitowym, według gęstości i rozmiaru ziaren.

Opracowano typoszereg klasyfikatorów pulsacyjnych, pozwalający na ich zastosowanie w zależności od oczekiwanej wydajności. Podstawowe parametry klasyfikatorów typu KOMAG zestawiono w tabeli 1.

Dotychczasowe wdrożenia klasyfikatorów pulsacyjnych w kopalniach kruszyw potwierdziły wysoką skuteczność rozdziału wzbogacanego (oczyszczanego) materiału.

Podstawowe parametry techniczne klasyfikatorów typu KOMAG [5]

Tabela 1

Typ klasyfikatora		K-60	K-80	K-100 (K-101)	K-102	K-150	K-200
Wydajność nominalna	t/h	60	80	100	100	150	200
Całkowita powierzchnia robocza	m ²	ok. 2,0	ok. 4,0	ok. 4,0	ok. 4,0	ok. 4,0	ok. 4,0
Zapotrzebowanie mocy	kW	22,5	30,5	30,5	42	42	42
Zapotrzebowanie wody	m ³ /h	120-140	140-170	150-200	150-250	250-300	300-320
Ciśnienie wody	MPa	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Masa klasyfikatora z konstrukcją mobilną	kg	ok. 15000	ok. 18000	ok. 19000	ok. 25500	ok. 21500	ok. 21900
Masa klasyfikatora bez konstrukcji mobilnej	kg	ok. 7500	ok. 9150	ok. 9950	ok. 11500	ok. 12600	ok. 13000

Modernizacje konstrukcji i prace badawcze umożliwiały rozwój klasyfikatorów i rozszerzanie zakresu ich zastosowania [2, 5, 7] do przetwarzania odpadów z hałd kopalnianych. Zaprojektowano klasyfikator pulsacyjny K-102 nr 1, który uruchomiono jesienią 2015 r. na centralnym składowisku odpadów w Przezchlebiu (rys. 2).

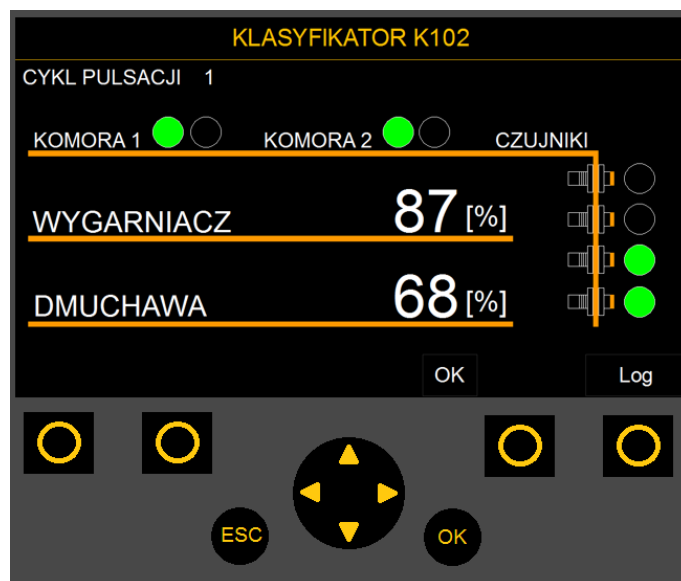


Rys. 2. Klasyfikator pulsacyjny K102 nr 1 zabudowany w instalacji do rekultywacji składowiska pokopalnianego Przechlebie [11]

W 2016 roku uruchomiono drugi klasyfikator pulsacyjny K-102 w Przechlebie, przedstawiony na rysunku 3. Klasyfikator wyposażono w nowoczesny autorski system sterowania typu KOMAG (rys. 4), który umożliwia dobór parametrów pracy urządzenia w zależności od wymaganych parametrów ilościowo-jakościowych produktów rozdziału.



Rys. 3. Klasyfikator pulsacyjny K102 nr 2 zabudowany w instalacji do rekultywacji składowiska pokopalnianego [11]



Rys. 4. Główny ekran panelu operatorskiego systemu sterowania klasyfikatora pulsacyjnego K102 nr 2 [9]

4. Technologia odzysku węgla na składowisku w Przezchlebiu

Urabiany materiał z hałdy poddawany jest wstępnej klasyfikacji na sucho, na dwupokładowym przesiewaczu, o wielkości otworów równych 100 mm, na górnym pokładzie oraz 35 mm na dolnym pokładzie.

Ziarna o wymiarach <35 mm, z niewielką ilością nadziarna, kierowane są, poprzez klasyfikację, do procesów wzbogacania w klasyfikatorze pulsacyjnym oraz na wzbogacalnikach zwojowych (spiralach).

Klasyfikacja wstępna prowadzona jest na dwupokładowym przesiewaczu PWP 1,8x5,5, wyposażonym w natryski na obydwu pokładach sitowych. Wymiary otworów kwadratowych na przesiewaczu wynoszą 35 mm na pokładzie górnym oraz 3 mm na pokładzie dolnym.

Produkt międzysitowy, w zakresie 35-3 mm, stanowi nadawę do wzbogacania w klasyfikatorze pulsacyjnym.

W wyniku wzbogacania w klasyfikatorze uzyskiwane są trzy produkty: produkt koncentratowy, odprowadzany ponad progiem przelewowym, produkt odpadowy usuwany za pomocą obrotowego wygarniacza oraz produkt przepadu drobnych ziaren przez sita.

Produkt koncentratowy poddany zostaje następnie odwodnieniu na przesiewaczu jednopokładowym, wyposażonym w elektrowibratory, o rozmiarze szczeliny sita równej 1 mm. Produkt odpadowy odwadniany jest na poliuretanowym sicie stałym, a następnie na sicie łukowym o szczelinach równych 1 mm.

Obecnie eksploatowane są dwa układy technologiczne, złożone z przesiewacza klasyfikacji wstępnej, klasyfikatora pulsacyjnego oraz dodatkowych urządzeń zasilających i odwadniających.

Produkt przepadu przez sita, o rozmiarze otworów równych 2,5x25 mm, kierowany jest, wspólnie z przesączem z sit odwadniających odpady i produktem dolnym przesiewacza klasyfikacji wstępnej, na przesiewacz wibracyjny o szczeliny równej 3 mm. Produkt dolny

(3-0 mm), połączony z przesączem z odwadniania produktu koncentratowego klasyfikatora za pomocą pompy, kierowany jest do wzbogacania do układu hydrocyklony-wzbogacalniki zwojowe.

Celem hydrocyklonów jest przygotowanie nadawy, poprzez jej odmulenie, do wzbogacalników zwojowych, w których podlega rozdziałowi na produkty koncentratowe i odpadowe. Obydwa produkty wzbogacania zostają odwodnione na przesiewaczach wibracyjnych.

Wody procesowe pochodzące z układów wzbogacania kierowane są do czterodzielnego osadnika ziemnego, w których następuje sedimentacja ziaren najdrobniejszych (<0,5 mm).

5. Badania skuteczności odzysku ziaren węglowych z zastosowaniem klasyfikatora pulsacyjnego K-102 w Przeczlebiu

Przemysłowe badania skuteczności odzysku ziaren węglowych w klasie ziarnowej 30-5 (0) mm przeprowadzono na składowisku odpadów pokopalnianych w Przeczlebiu.

Nadawą kierowaną do wzbogacania na klasyfikator K-102 był produkt międzysitowy z dwupokładowego przesiewacza klasyfikującego, o otworach sit równych: 30 mm (pokład górny) oraz 5 mm (pokład dolny). Obciążenie klasyfikatora pulsacyjnego materiałem podczas badań kształtowało się na poziomie ~ 80 t/h.

Pobrane próbki, po ich odmuleniu (usunięciu ziaren <0,5 mm), poddano analizom laboratoryjnym w zakresie składu gęstościowego oraz oznaczenia w uzyskanych frakcjach zawartości popiołu i wartości opałowej.

Nadawa przeznaczona do wzbogacania charakteryzowała się wysoką zawartością popiołu 77,91% oraz niską wartością opałową 4,44 MJ/kg. Przeważający udział w nadawie stanowiła frakcja o gęstości >1,8 g/cm³ równa 90,53%.

Wyniki badań wykazały, że we wzbogaczonych odpadach powęglowych udział ziaren substancji palnej osiągał zróżnicowane wartości. W analizowanym przypadku wychód produktu koncentratowego wyniósł 7,66%, średnia zawartość popiołu wynosiła 19,96%, a wartość opałowa była równa 26,16 MJ/kg.

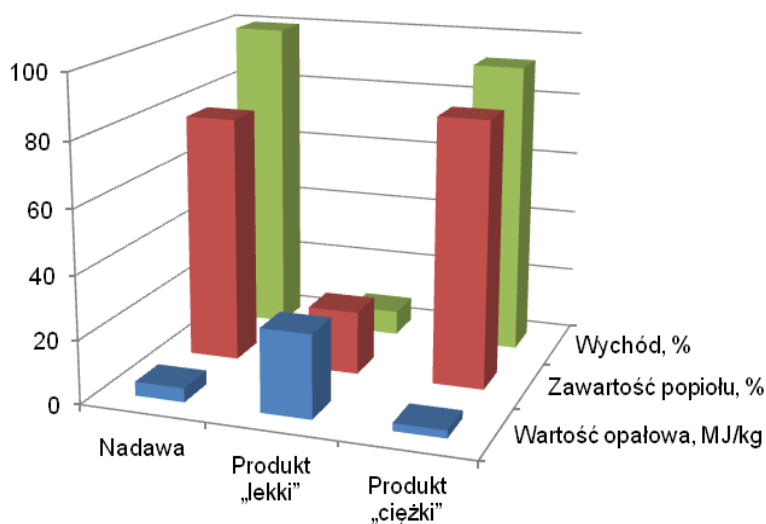
Produkt odpadowy procesu wzbogacania, o wychodzie równym 92,34%, charakteryzował się śladową zawartością ziaren węglowych (<1,5 g/cm³) - 0,15%, wysoką zawartością popiołu - 83,61% oraz niską wartością opałową - 2,45 MJ/kg.

Wyniki analiz fizykochemicznych nadawy i produktów przemysłowego wzbogacania zestawiono w tabeli 2 i zobrazowano graficznie na rysunku 5.

Wyniki analiz fizykochemicznych nadawy i produktów wzbogacania w klasyfikatorze pulsacyjnym K-102 w Przeczlebiu – Klasa ziarnowa 30-5 (0,5) mm [9]

Tabela 2

Gęstość frakcji [g/cm ³]	Nadawa			Produkt koncentratowy			Produkt odpadowy		
	Wychód [%]	Popiół [%]	Wartość opałowa [MJ/kg]	Wychód [%]	Popiół [%]	Wartość opałowa [MJ/kg]	Wychód [%]	Popiół [%]	Wartość opałowa [MJ/kg]
< 1,3	3,05	3,35	31,75	39,44	3,18	32,63	0,03	4,73	31,35
1,3-1,4	1,13	11,35	28,79	14,20	10,72	29,80	0,04	12,79	27,95
1,4-1,5	1,07	22,50	24,48	13,05	21,88	25,25	0,08	22,73	24,25
1,5-1,6	0,89	31,52	21,63	9,85	31,39	21,89	0,15	32,25	21,56
1,6-1,7	1,73	38,60	18,87	11,33	38,18	19,08	0,93	39,75	18,61
1,7-1,8	1,60	47,35	15,35	4,53	44,99	16,45	1,36	49,05	15,15
1,8-2,0	3,69	55,36	12,31	4,50	54,58	12,65	3,62	55,72	12,42
> 2,0	86,84	84,86	1,92	3,10	77,79	4,28	93,79	85,81	1,65
Suma	100,00			100,00			100,00		
Średnia		77,91	4,44		19,96	26,16		83,61	2,45
Wychód produktu, %	100,00			7,66			92,34		



Rys. 5. Parametry nadawy i produktów wzbogacania [9]

W oparciu o wyniki analiz odzyskiwanego koncentratu węglowego w Przeczlebiu wyznaczono wartości parametrów charakteryzujących proces rozdziału oraz jego skuteczność: gęstość rozdziału (d_{50}), rozproszenie prawdopodobne (E_p) i imperfekcję (I).

Ocena efektów wzbogacania odpadów kopalnianych wykazała, że klasyfikator pulsacyjny pracował z wysoką skutecznością rozdziału: współczynnik imperfekcji wynosił $I=0,124$, natomiast rozproszenie prawdopodobne było równe $E_p=0,081 \text{ g/cm}^3$, przy gęstości rozdziału wynoszącej $d_{50}=1,651 \text{ g/cm}^3$.

W trakcie eksploatacji klasyfikatora pulsacyjnego wykonano również dodatkowe analizy laboratoryjne próbek produktu koncentratowego, wraz z badaniami porównawczymi równoległej pracy klasyfikatorów pulsacyjnych K-102 nr 1 oraz K-102 nr 2, zainstalowanych w Przezchlebiu. Wyniki zamieszczono w tabeli 3.

**Porównanie pracy klasyfikatorów pulsacyjnych K-102 nr 1 oraz K-102 nr 2
w Przezchlebiu**

Tabela 3

Data	Klasyfikator K102 nr 1		Klasyfikator K102 nr 2	
	Wartość opałowa [kJ/kg]	Popiół [%]	Wartość opałowa [kJ/kg]	Popiół [%]
19.09	25307	13,5	24601	16,1
22.09	25284	15,5	23113	20,5
26.09	25753	14,9	26554	11,9
03.10	26167	13,6	26832	10,1
06.10	25311	15,7	25521	15,5
17.10	25975	12,0	24379	17,8
24.10	27252	8,8	25013	15,6
27.10	24653	14,2	25495	15,0
03.11	26183	13,6	23245	23,3
08.11	27158	12,1	26658	13,1
10.11	26258	12,0	26501	10,0
14.11	24635	16,3	24517	18,8
22.11	26288	11,0	26318	12,9
28.11	24014	17,2	26305	11,6
01.12	24577	15,2	25808	14,0
12.12	21815	24,5	21895	20,8
15.12	25061	15,5	26924	11,3
19.12	23589	18,2	28050	7,9
Średnia	25293	14,6	25429	14,7

Można stwierdzić, że możliwe jest uzyskiwanie wysokojakościowych koncentratów energetycznych, w których zawartość popiołu nie przekracza 12%, a wartość opałowa była wyższa od 26 MJ/kg.

Uzyskana średnia wartość opałowa w stanie roboczym, dla obu urządzeń, była zbliżona i wynosiła ponad 25 MJ/kg, natomiast odchylenie standardowe nie przekraczało 1,4 MJ/kg. Zawartość popiołu w koncentracie wynosiła od 8,8 do 23,3%. Zawartości popiołu większe niż 20% spowodowane były niewłaściwymi ilościami podawanych mediów zasilających klasyfikator lub czynnikami, takimi jak: uszkodzony przesiewacz klasyfikujący czy duża zawartość frakcji drobnej w wodzie obiegowej.

Występujące różnice w wartościach parametrów jakościowych produktów wynikały prawdopodobnie ze stosunkowo dużej zmienności nadawy kierowanej do wzbogacania, spowodowanej zmianą miejsca eksploatacji. Pobierana nadawa w kolejnych dniach mogła pochodzić z różnych kopalń, więc stąd różnica jej właściwości fizyko-chemicznych. Zarówno zmiany składu granulometrycznego materiału, jak i składu gęstościowo-popiołowego, miały znaczący wpływ na uzyskiwane parametry ilościowo-jakościowe produktów rozdziału.

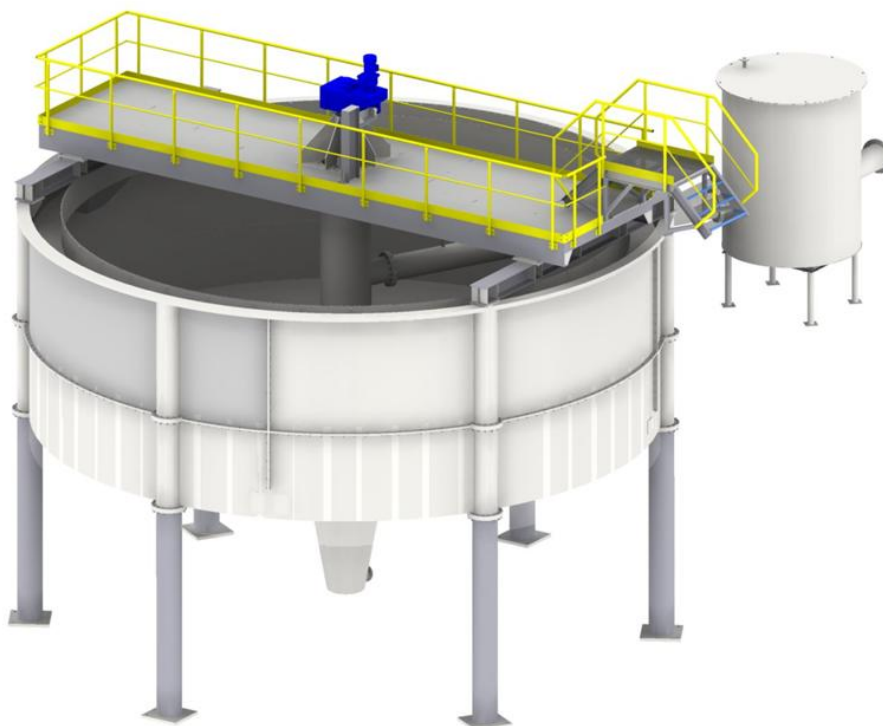
6. Problem gromadzenia się frakcji drobnych w klasyfikatorze

Zaprojektowany w ITG KOMAG klasyfikator pulsacyjny K-102 do pracy wymaga zasilania sprężonym powietrzem roboczym w ilości 25-31 m³/h, oraz wodą procesową w ilości 150-250 m³.

Woda procesowa krąży w obiegu zamkniętym. Z klasyfikatorów transportowana jest następnie do zbiornika o wielkości ok. 35.000 m³, skąd, po częściowym oczyszczeniu (osadzeniu) jest pompowana powtórnie do klasyfikatorów. Niestety zawiera ona powyżej 30 g/l frakcji drobnych, co ma niekorzystny wpływ na pracę klasyfikatorów.

W przypadku równoczesnej pracy dwóch (trzech lub czterech) klasyfikatorów bardzo szybko następuje zwiększenie zawartości frakcji drobnych w wodzie procesowej. Jednym ze sposobów skutecznego rozwiązania tego problemu może być zastosowanie do wydzielenia z obiegu ziaren drobnych zagęszczacza promieniowego typu Dorr. Przyjęto, że na terenie składowiska eksploatowane będą mogły być w przyszłości 4 układy wzbogacania z klasyfikatorem pulsacyjnym oraz istniejący układ hydrocyklony - wzbogacalniki zwojowe.

W tym przypadku ilość wody, którą powinny przyjąć urządzenia zagęszczające wynosi około 600 m³/h dla dwóch klasyfikatorów. Dla zapewnienia wysokiej skuteczności sedymentacji zawiesiny przewidziano zastosowanie dwóch zagęszczaczy Dorr o średnicy 12 m (rys. 6).



Rys. 6. Zagęszczacz promieniowy Dorr o średnicy 12 m [8]

W wyniku procesu zagęszczania uzyskany zostanie przelew, o zawartości części stałych, nie przekraczający wartości 30 g/l, oraz wylew o zagęszczeniu ok. 450 g/l.

Zagęszczacz typu Dorr zostanie wyposażony w nowoczesny układ dozowania flokulantów, odczynników stosowanych do przyspieszania opadania ziaren, wyposażony w system sterowania typu KOMAG [8].

7. Podsumowanie

W Instytucie Techniki Górniczej KOMAG opracowano nowe rozwiązanie urządzenia do grawitacyjnego wzbogacania w pulsującym ośrodku wodnym, klasyfikatora pulsacyjnego K-102. Urządzenie dostosowano do wzbogacania opadów pogórnich i odzysku węgla kamiennego. Wdrożenie pierwszego klasyfikatora K-102 na terenie centralnego składowiska odpadów w Przezchlebie i uzyskane doświadczenia pozwoliły na rozbudowę instalacji do rekultywacji hałd do 3 systemów. W najbliższym czasie planowana jest budowa kolejnego 4 systemu.

Przeprowadzone badania przemysłowego wzbogacania odpadów powęglowych wykazały wysoką skuteczność działania urządzenia, która pozwoliła na uzyskanie produktów wzbogacania o pożądanych przez użytkownika parametrach jakościowych i korzystnych wskaźnikach dokładności rozdziału.

Analizowano obieg wodno-mułowy, który jest newralgicznym układem w zakładach przeróbki węgla kamiennego i innych surowców mineralnych.

Nieprawidłowa praca obiegu wpływa na straty ekonomiczne, które związane są z pogorszeniem skuteczności rozdziału wzbogacanego materiału, koniecznością zwiększenia poboru świeżej wody oraz zwiększonym zużyciem odczynników chemicznych (flokulantów).

Warunkiem, który powinien być spełniony przez powyższy układ, jest utrzymanie niezmiennej i niskiej zawartości części stałych w wodzie procesowej.

Uruchomienie 3 oraz 4 systemu będzie wymagało przeprowadzenia prac związanych z poprawą jakości wody procesowej. Najkorzystniejszym rozwiązaniem problemu wydaje się być zastosowanie zagęszczacza promieniowego typu Dorr.

Literatura

- [1] Korban Z.: Problem odpadów wydobywczych i oddziaływania ich na środowisko, na przykładzie zwałowiska nr 5A/W-1 KWK „X”, Górnictwo i Geologia, 2011, Tom 6, s.109 -120
- [2] Kowol D., Matusiak P.: Zastosowania klasyfikatora pulsacyjnego typu KOMAG do oczyszczania trunowzbogacalnych surowców mineralnych, Mining Science - Mineral Aggregates, 2014, vol. 21(I), s. 99-108
- [3] Kowol D., Matusiak P.: Badania skuteczności osadzarkowego oczyszczania kruszywa z ziaren węglanowych, Mining Science - Mineral Aggregates, 2015, vol. 22(I), s. 83-92
- [4] Kozioł W., Kawalec P.: Kruszywa alternatywne w budownictwie, Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne, 2008, Lipiec – Sierpień Nr 4, s. 34-37
- [5] Matusiak P., Kowol D.: Klasyfikator pulsacyjny jako sprawdzone urządzenie do oczyszczania surowców mineralnych, Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej, Studia i Materiały, Gór. Geol. XVII, 2012, nr 134/41 s. 191-199
- [6] Matusiak P., Kowol D.: Zastosowanie osadzarkowego procesu wzbogacania do odzysku surowca ze składowiska odpadów górniczych. Mining Science - Mineral Aggregates, 2016 nr 1 s. 115-125, ISSN 2300-9586
- [7] Matusiak P. i inni: Nowe wdrożenia wzbogacalników pulsacyjnych typu KOMAG, W: Innowacyjne i przyjazne dla środowiska techniki i technologie przeróbki surowców mineralnych. Bezpieczeństwo - Jakość - Efektywność, KOMEKO 2016, Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2016
- [8] Matusiak P., Kowol D.: Oczyszczanie wody procesowej w węźle wzbogacania na składowisku odpadów pogórnich. W: Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej, Monografia kruszywa mineralne, t. 1, 2017
- [9] Różański Z., Supotnik T., Matusiak P., Kowol D., Szpyrka J., Mazurek M., Wrona P.: Coal recovery from a coal waste dump. Materiały na konferencję: MEC 2016, Mineral Engineering Conference, Świeradów Zdrój, 25-28 September 2016 s. 1-9, ISSN 2267-1242
- [10] <http://www.spprzezchlebie.wieszowanet.pl/index.php/historia-przezchlebia>
- [11] Dokumentacja fotograficzna ITG KOMAG

Układ sterowania i kontroli pracy przenośnika kbelkowego w osadzarkowym węźle wzbogacania

dr inż. Sebastian Jendrysik
dr inż. Sławomir Bartoszek
dr inż. Dariusz Jasiulek
Instytut Techniki Górniczej KOMAG
mgr inż. Andrzej Gawliński
KWK „Budryk”

Streszczenie:

W artykule przedstawiono strukturę i zasadę działania układu sterowania przenośnikiem kbelkowym pracującym w osadzarkowym węźle wzbogacania. Ideą metody sterowania prędkością przenośnika było uzyskanie nominalnego wypełnienia kbelków na całej długości przenośnika, w celu ograniczenia biegu jałowego i zmniejszenia zużycia energii elektrycznej. Przedstawiono wyniki badań eksploatacyjnych układu sterowania oraz omówiono moduł systemu sterowania informujący o nadmiernym wydłużeniu łańcucha przenośnika.

Abstract:

Structure and operating principle of the system for control of bucket conveyor in jig beneficiation node system was discussed. The idea of controlling the speed of conveyor consisted in obtaining the nominal filling up of the buckets along the entire length of the conveyor to limit idle run and to reduce energy consumption. Results of the field tests of control system are given and the control system module informing about excessive elongation of the conveyor chain are discussed.

Słowa kluczowe: przenośnik kbelkowy, sterowanie, identyfikacja

Keywords: bucket conveyor, controlling, identifying

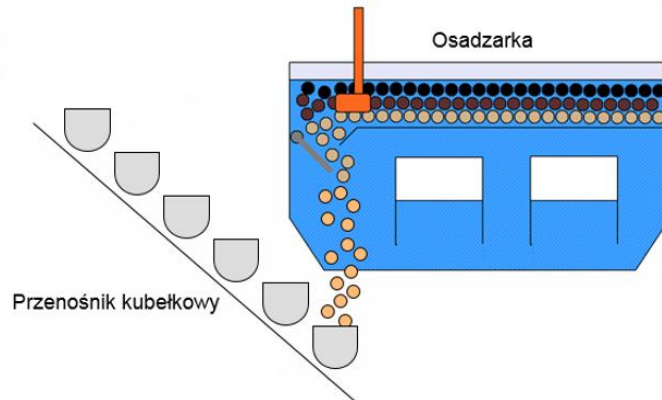
1. Wprowadzenie

Przenośniki kbelkowe stosowane w zakładach przerobczych węgla kamiennego, służą do transportu i odwadniania materiałów uzyskanych w procesie wzbogacania, w osadzarkach pulsacyjnych. W sytuacjach, gdy wzbogacana nadawa węglowa charakteryzuje się niewielką ilością produktu odpadowego i/lub półproduktu, przenośniki bez regulacji prędkości, pracują przez długi czas z niewielkim obciążeniem. Taka praca powoduje przyspieszone zużywanie się przenośnika i nadmiarowy pobór energii elektrycznej. Zapobiegać temu można poprzez zastosowanie układu automatycznej regulacji, zmieniającego prędkość ruchu kbelków celem uzyskania nominalnego obciążenia przenośnika.

Takie działania realizowane są przez ITG KOMAG, który wraz z partnerami przemysłowymi prowadzi prace nad automatyzacją przenośników kbelkowych, w kontekście automatyzacji pracy całego węzła osadzarkowego.

2. Charakterystyka pracy przenośnika kbelkowego w osadzarkowym węźle wzbogacania

Charakterystyczną cechą pracy przenośników kbelkowych pracujących w osadzarkowych węzłach wzbogacania (rys. 1) jest zmienność ich obciążenia. Wzrost ilości materiału podawanego na przenośnik może być powodowany przyrostem obciążenia osadzarki, zmianą składu grawimetrycznego wzbogacanego materiału lub ingerencją operatora. W takim przypadku prędkość przenośnika powinna niezwłocznie wzrosnąć, celem dostosowania do nowych warunków obciążenia i niedopuszczenia do nadmiernego gromadzenia się materiału w strefie ładowania przenośnika. Nadmiar materiału w tej strefie może spowodować jego awaryjne zatrzymanie, a w konsekwencji zatrzymanie całego węzła osadzarkowego.



Rys. 1. Proces załadunku przenośnika kubelkowego w osadzarkowym węźle wzbogacania [2]

Ponieważ proces wzbogacania w osadzarkach pulsacyjnych odbywa się w środowisku wodnym (przenośniki kubelkowe do około połowy swojej wysokości zalane są wodą), istnieje trudność z identyfikacją stopnia wypełnienia kubelków w obrębie stacji zwrotnej przenośnika (strefy ładowania kubelków). Wymusza to konieczność poszukiwania rozwiązań, które pomimo tych trudności, umożliwią niezawodne sterowanie prędkością przenośnika kubelkowego.

3. Układ sterowania prędkością przenośnika

Przy współpracy ITG KOMAG z kopalnią „Budryk”, opracowano metodę sterowania prędkością przenośnika kubelkowego pracującego w osadzarkowym węźle wzbogacania, w której wykorzystano sterowanie predykcyjne, wykorzystujące informację o stopniu otwarcia kłapy upustowej osadzarki.

Wydajność teoretyczną przenośnika, można określić na podstawie zależności [1]:

$$Q_t = 3,6 \cdot \frac{V}{a} \cdot \gamma \cdot v \cdot \Psi \text{ [kg/s]} \quad (1)$$

gdzie:

V – pojemność kubelka [m^3],

a – rozstaw kubelków [m],

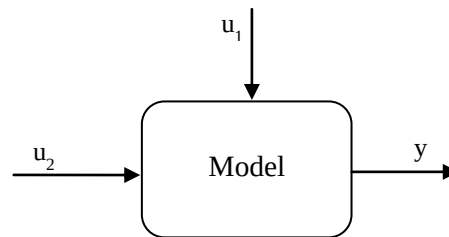
γ – masa usypowa transportowanego materiału [kg/m^3],

v – prędkość liniowa poruszania się kubelków [m/s],

Ψ – współczynnik napełnienia kubelka ($0 \div 1$).

Z równania (1) wynika, że regulację wydajności przenośnika kubelkowego można prowadzić poprzez zmianę jego prędkości. Zmiana prędkości obrotowej silnika przekłada się na zmianę prędkości ruchu kubelków transportujących materiał, co przy założeniu stałego strumienia produktu dolnego z osadzarki, powoduje natychmiastową zmianę stopnia napełniania kubelków, czyli zmianę masy materiału znajdującego się w danej chwili na przenośniku.

Podstawowym zakłóceniem, oddziaływującym na masę materiału znajdującego się w danej chwili na przenośniku jest zmiana natężenia strumienia produktu dolnego z osadzarki. Zmiana ta jest wynikiem działania regulatora, utrzymującego stałą wysokość warstwy produktu odpadowego w przedziale osadzarki. Identyfikacja tego zakłócenia w opracowanej metodzie, realizowana jest poprzez pomiar otwarcia kłapy upustowej osadzarki, a układ sterowania aktywnie koryguje prędkość przenośnika, dążąc do utrzymania stałej masy materiału znajdującej się na przenośniku. Należy jednak pamiętać, że produkt dolny wyprowadzany z osadzarki opada w środowisku wodnym, pokonując kilka metrów do strefy ładowania przenośnika. Występowanie tego opóźnienia zdeterminowało potrzebę zastosowania predykcyjnego układu automatycznej regulacji i poszukiwania modelu procesu, którego strukturę przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Struktura blokowa modelu procesu [2]

gdzie:

- u_1 – stopień otwarcia kłapy upustowej osadzarki,
- u_2 – prędkość liniowa poruszających się kubełków przenośnika,
- y – masa materiału znajdującego się na przenośniku.

Założono zatem, że masa materiału znajdującego się w danej chwili na przenośniku y , zależy od stopnia otwarcia kłapy upustowej osadzarki u_1 oraz prędkości przenośnika u_2 . Założenie takie jest prawdziwe tylko wtedy, gdy osadzarka pracuje w stanie ustalonym i do osadzarki podawana jest nadawa.

Aproksymację modelu, potrzebnego do budowy układu regulacji predykcyjnej, uzyskano w drodze identyfikacji na podstawie wyników pomiarów sygnałów wejściowo-wyjściowych [2]. Pomiaru te przeprowadzono w kopalni „Budryk”, w układzie przenośnika kubełkowego odprowadzającego produkt odpadowy z osadzarki OS36D3E przeznaczonej do trójproduktowego wzbogacania materiału w klasie ziarnowej 60(80) – 12(0) mm.

Otrzymany liniowy model parametryczny wykorzystano w zmodyfikowanym układzie regulacji z predyktorem Smitha, korygującym prędkość przenośnika, celem utrzymania stałej masy materiału znajdującego się na przenośniku (stałego średniego napełnienia kubełków).

W ramach badań weryfikacyjnych, przeprowadzono analizę zużycia energii elektrycznej przez silnik przenośnika kubełkowego, pracujący w trzech wariantach:

- wariant 1 – z układem automatycznej regulacji – pomiary w warunkach przemysłowych,
- wariant 2 – z regulacją ciągłą (załadowanie 80%) – rozważania teoretyczne,
- wariant 3 – z regulacją ciągłą (załadowanie 100%) – rozważania teoretyczne,

- wariant 4 – ze stałą (znamionową) prędkością obrotową – rozważania teoretyczne.

Do badań wykorzystano ten sam przenośnik kubelkowy, pracujący w węźle osadzkowym kopalni „Budryk”, jednak wyposażony w sterownik z zaimplementowanym algorytmem do ciągłej regulacji jego prędkości.

W tabeli 1 przedstawiono energochłonność przenośnika kubelkowego w czterech wariantach sterowania prędkością obrotową silnika.

**Zestawienie energochłonności przenośnika kubelkowego
w analizowanych wariantach sterowania prędkością obrotową silnika [2]**

Tabela 1

Wariant	Czas pracy	Masa przetransportowanego materiału	Zużyta energia	Wartość procentowa zużycia energii
	[min]	[kg]	[kWh]	[%]
1	600	832238	69,5	83,8
2			67,8	81,7
3			62,3	75,0
4			83,0	100

Do badań wybrano losowo 10 grup pomiarów, każda obejmująca okres 60 min. Analizowano tylko chwile, w których przenośnik pracował z obciążeniem. Każda grupa pochodzi z innego dnia, z różnych zmian. Łączny czas pomiarów rozpatrywanych podczas badania wynosił 600 min. W tym czasie przetransportowano ponad 832238 kg produktu odpadowego. Bazą odniesienia w porównaniu jest układ napędowy przenośnika pracujący z układem automatycznej regulacji. W 10 godzin zużycie energii przez silnik przenośnika wynosiło 69,5 kWh. Zużycie to uzyskano podczas pracy układu sterowania z wartością zadaną masy transportowanego produktu odpadowego na poziomie 80% obciążenia nominalnego. Jednak w wybranych chwilach czasowych obserwowano 100% wypełnienie kubelków w związku z czym zrezygnowano z dalszego podwyższania wartości zadanej i uznano, że jest to wartość graniczna, gwarantująca bezpieczną pracę przenośnika. Uzyskane zużycie energii porównano z teoretycznie wyliczonym zużyciem, przy takim samym wypełnieniu, zużycie to wyniosło 67,8 kWh. Natomiast teoretycznie wyliczone zużycie energii podczas pracy z wypełnieniem kubelków na poziomie 100% obciążenia nominalnego wynosi 62,3 kWh. Teoretycznie wyznaczono również zużycie energii przez silnik przenośnika podczas pracy ze stałą znamionową prędkością (wariant 4), które wyniosło 83 kWh. Traktując to zużycie energii jako zużycie 100%, zastosowanie układu automatycznej regulacji pozwoliło na zmniejszenie zużycia o 13,5%, gdzie maksymalnie można było ograniczyć zużycie o 20,7%. Porównując uzyskane zużycie energii, z teoretycznie wyliczonym zużyciem dla takiej samej wartości zadanej (80%), uzyskano różnicę wynoszącą 1,7 kWh.

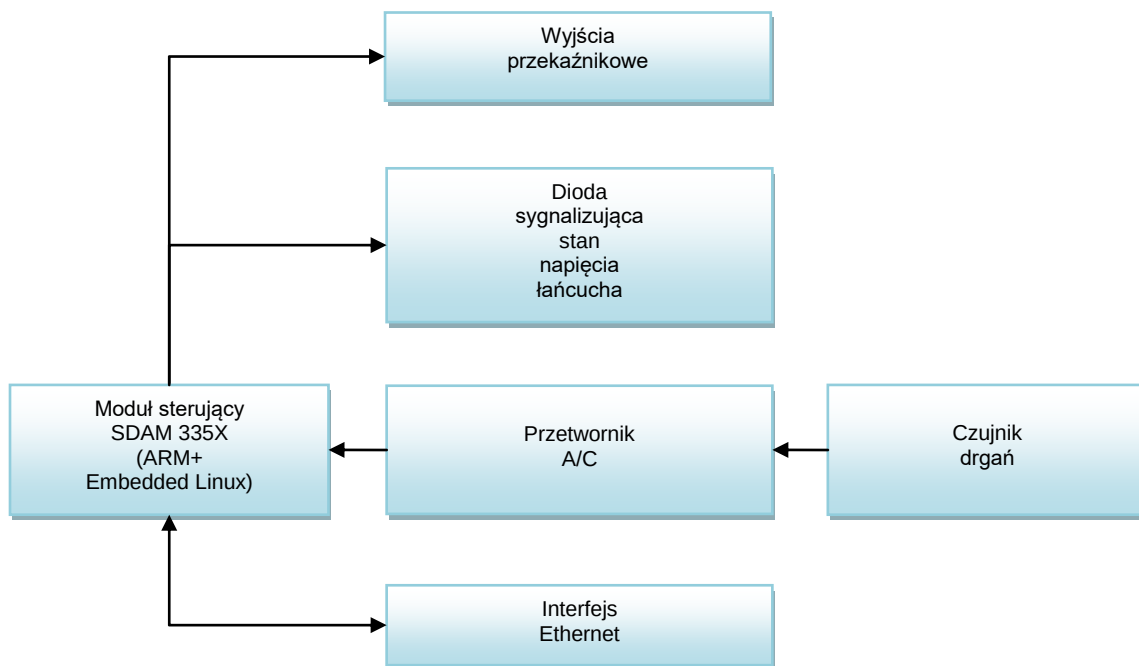
4. Ciągła kontrola wydłużenia łańcucha przenośnika kubelkowego

Inną funkcją realizowaną na potrzeby automatyzacji przenośników kubelkowych jest ciągła kontrola wydłużenia łańcucha przenośnika kubelkowego.

Ponieważ przenośniki kubelkowe pracujące w zakładach przeróbczych polskich kopalń wykorzystywane są do pracy ciągłej, ich długotrwała praca, z dużym obciążeniem, może powodować rozciąganie łańcucha(ów) przenośnika. Nadmierne wydłużenie łańcucha jest najbardziej widoczne w obrębie stacji zwrotnej przenośnika.

W proponowanym rozwiązaniu wykorzystuje się fakt, że wydłużeniu łańcucha opasującego wał stacji zwrotnej towarzyszą stuki i drgania jej konstrukcji. Analiza tych drgań pozwala określić graniczny stopień wydłużenia łańcucha [4].

Do budowy układu rejestracji drgań i kontroli wydłużenia łańcucha zastosowano moduł zaprojektowany na bazie procesora ARM, z wbudowanym systemem operacyjnym Linux. Procesor wyposażono w oprogramowanie odczytujące wyniki pomiarów, filtrację i analizę sygnału w dziedzinie czasu i częstotliwości oraz algorytm umożliwiający identyfikację stanu pracy wskazującego na nadmierne wydłużenie łańcucha przenośnika. Strukturę blokową układu kontroli wydłużenia łańcucha zaprezentowano na rysunku 3.



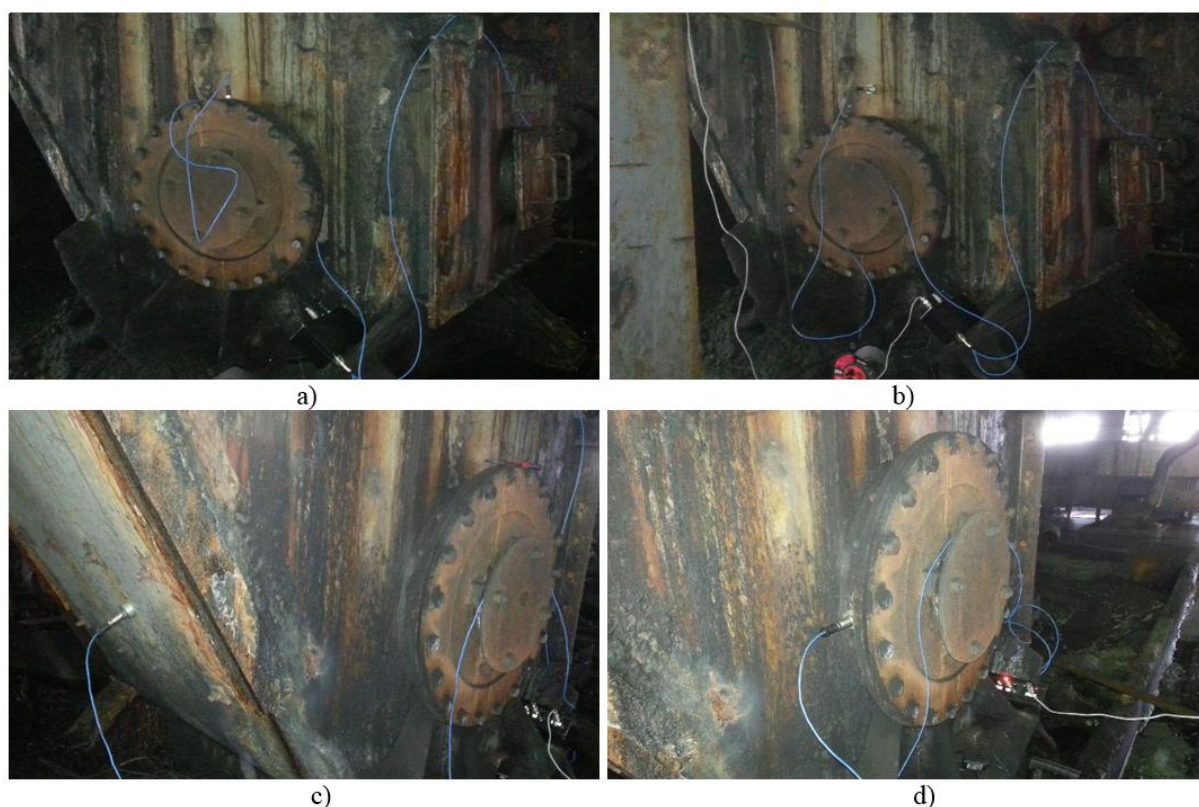
Rys. 3. Struktura układu kontroli wydłużenia łańcucha przenośnika kubelkowego [4]

Układ kontroli składa się z modułu zasilania, przetwornika analogowo–cyfrowego, kanału pomiarowego i elementów sterujących interfejsem Ethernet. Ponadto, urządzenie wyposażono w:

- jedno wejście typu ICP do podłączenia czujnika drgań,
- jedno wejście do podłączenia impulsatora pomiaru prędkości przenośnika,
- dwa wyjścia przekaźnikowe, umożliwiające przesłanie stanu analizy np. do sterownika PLC,

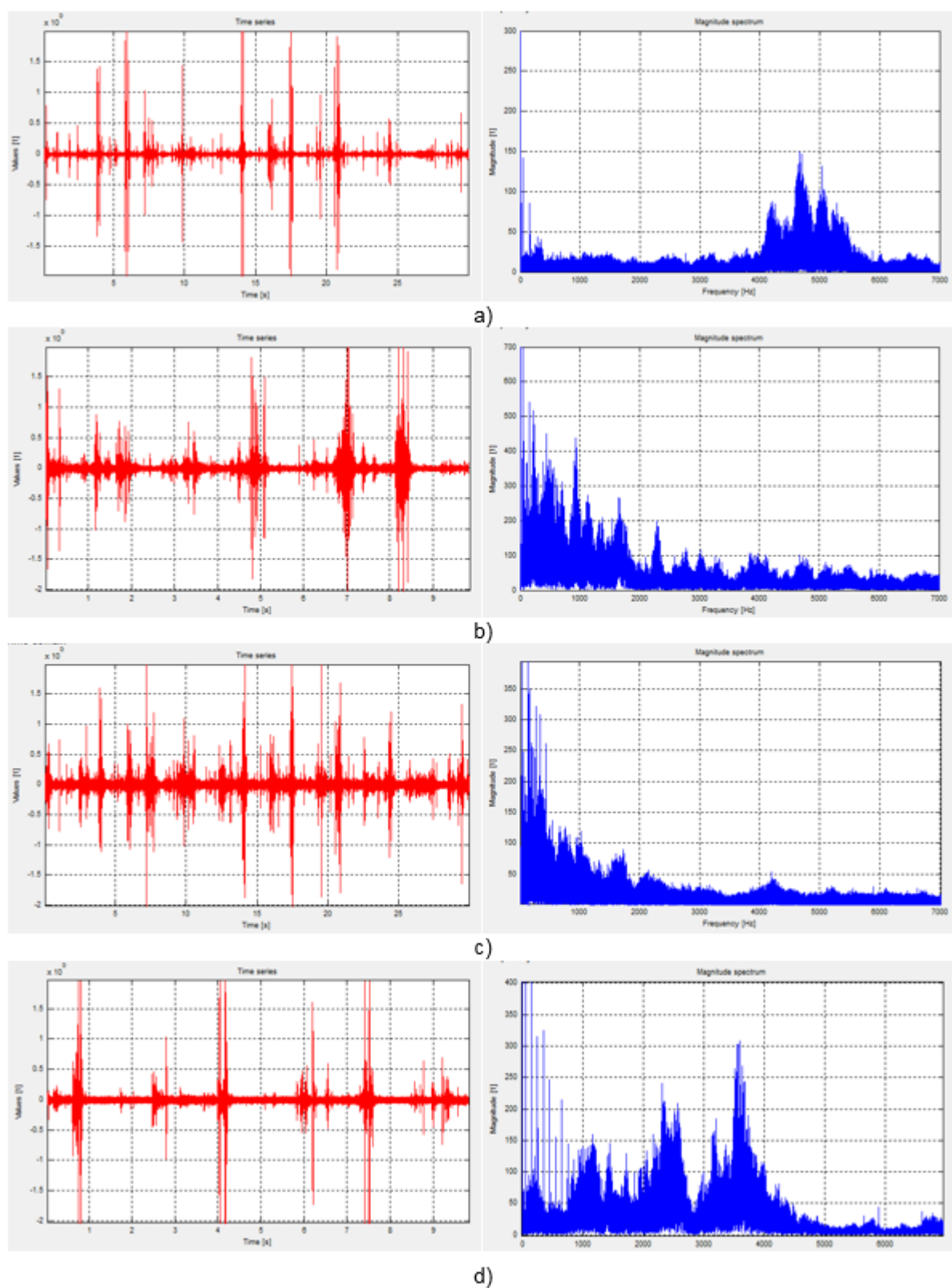
- złącze zasilające,
- złącze Ethernet służące do programowania oraz konfiguracji.

Badania z wykorzystaniem opracowanego modułu przeprowadzono w kopalni „Budryk”, na przenośniku odprowadzającym produkt odpadowy z pierwszych dwóch przedziałów koryta osadzarki średnioziarnowej OS36D3E. Próby prowadzono przy trzech stanach napięcia łańcucha: poprawnego, niewielkiego oraz znacznego zluźnienia łańcucha przenośnika. Sprawdzano również wpływ umiejscowienia czujnika drgań na stacji zwrotnej przenośnika na jakość otrzymywanych sygnałów. Sposób zamontowania czujników przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Mocowanie czujników na stacji zwrotnej przenośnika, w odniesieniu do których rejestrowano przebiegi drgań: a) położenie 1, b) położenie 2, c) położenie 3, d) położenie 4 [3]

Sygnały zarejestrowane w przedziałach czasowych, w których przenośnik pracował bez obciążenia, w odniesieniu do 4 różnych zamocowań czujnika, pokazano na rysunku 5.



Rys. 5. Sygnały zarejestrowane w przedziałach czasowych, w których przenośnik pracował bez obciążenia, w czterech pozycjach zamocowań czujnika:

a) położenie 1, b) położenie 2, c) położenie 3, d) położenie 4 [3]

Analizę wyników pomiarów zarejestrowanych podczas badań przemysłowych i określenie ich przydatności do budowy układu identyfikacji stanu wydłużenia łańcucha, przeprowadzono na podstawie następujących parametrów [3, 4, 5]:

- energia w wybranym zakresie pasma częstotliwości z widma amplitudowego sygnału drgań – C,
- całkowita energia sygnału – EN,
- wartość skuteczna sygnału – RMS,
- kurtoza sygnału – KURT,
- wariancja sygnału – VAR.

Wyniki badań pozwoliły na opracowanie algorytmu identyfikującego zluźnienie łańcucha, dostrojenie układu i wyznaczenie sygnału bazowego, do którego porównywano bieżące zapisy drgań stacji zwrotnej. Otrzymywano powtarzalne wskazania nadmiernego wydłużenia łańcucha, wynikające z automatycznej analizy drgań, świadczące o konieczności weryfikacji położenia łańcucha.

5. Podsumowanie

W niniejszym artykule przedstawiono metodę sterowania prędkością przenośnika kubelkowego pracującego w osadzarkowym węźle wzbogacania, wykorzystującą algorytm predykcyjny. Praca przenośnika w trakcie prowadzonych badań była stabilna, a przeprowadzona analiza wykazała, że zaproponowana metoda ogranicza zużycie energii elektrycznej. Przy założeniu pracy napędu przez średnio 15 godzin na dobę i cenie energii elektrycznej brutto 0,50 zł/KWh, otrzymuje się oszczędności wynoszące ponad 5200 zł/rok. Spodziewane jest uzyskanie większych oszczędności związanych z wydłużeniem żywotności przenośnika. Trwają obecnie badania potwierdzające tę tezę. Przedstawione wyniki analizy dotyczą tylko przenośnika kubelkowego, na którym były przeprowadzone badania.

Kolejną funkcją, realizowaną w ramach układu sterowania przenośnikiem kubelkowym jest identyfikacja stanu zluźnienia łańcucha w przenośniku kubelkowym. Informacje o stanie łańcucha przenośnika uzyskiwano na podstawie analizy parametrów sygnałów odbieranych z czujników drgań, w tym amplitudy mierzonego sygnału, jego obwiedni oraz amplitudy poszczególnych składowych widma częstotliwościowego. W artykule omówiono budowę fizycznego modelu układu realizującego tę funkcję.

Przedstawione rozwiązania posłużą do budowy autonomicznego układu sterowania węzłem osadzarkowym. Integracja lokalnych systemów sterowania urządzeń węzła w jeden, nadrzędny system sterowania będzie prowadzona pod kątem zwiększenia żywotności układów wykonawczych w warunkach zmiennego obciążenia.

Literatura

- [1] Hubert W., Gutorski Z. i inni: Katalog przenośników kubelkowych odwadniających. ITG KOMAG, Gliwice 1982 (materiały niepublikowane)
- [2] Jendrysik S.: Metoda sterowania przenośnikiem kubelkowym w osadzarkowym węźle wzbogacania. Praca doktorska. Politechnika Śląska 2016

- [3] Jendrysik S., Latos M., Jasiulek D., Stankiewicz K., Gawliński A.: Automatyczny system sterowania węzłem osadzarkowym z ciągłą kontrolą wydłużenia łańcucha przenośnika kubełkowego. KOMEKO 2015, Innowacyjne i przyjazne dla środowiska techniki i technologie przeróbki surowców mineralnych. Bezpieczeństwo - Jakość - Efektywność, Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2015 s. 62-68; 0,48 ark. wyd., ISBN 978-83-60708-85-9
- [4] Bartoszek S., Jagoda J., Jasiulek D., Jura J., Latos M., Stankiewicz K.: System wibrodiagnostyczny maszyn górniczych. KOMTECH 2013, Innowacyjne techniki i technologie dla górnictwa. Bezpieczeństwo - Efektywność - Niezawodność, Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2013 s. 347-363; 1,08 ark. wyd., ISBN 978-83-60708-78-1
- [5] Latos M., Bartoszek S., Rogala-Rojek J.: Diagnostics of underground mining machinery. Materiały na konferencję: MMAR 2014, 19th International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics, Międzyzdroje, Poland, 02-05 September 2014 s. 782-787, ISBN 978-83-7518-697-0

Biblioteka graficzna do sterownika z wyświetlaczem OLED

mgr inż. Marcin Jura
Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Streszczenie:

W artykule przedstawiony został proces opracowania biblioteki do sterowników z wyświetlaczem OLED. Przeprowadzono przegląd wybranych bibliotek graficznych. Pozwoliło to na zapoznanie się z ich funkcjonalnością zależną od platformy docelowej i przeznaczenia. Zdobyta wiedza posłużyła do opracowania biblioteki graficznej przystosowanej do wykorzystania w sterownikach. Bibliotekę graficzną przetestowano na Module Inteligentnego Sterownika MIS-1 będącego częścią systemu KOGASTER. Biblioteka zostanie wykorzystana w szczególności w iskrobezpiecznych urządzeniach z wyświetlaczem OLED.

Słowa kluczowe: biblioteka graficzna, wyświetlacz OLED

Keywords: graphics library, OLED display

Abstract:

Process of developing the library for the controller with an OLED display is presented in the paper. Selected graphics libraries are reviewed. Their functionality depending on the target platform and purpose is determined. Acquired knowledge helped to develop graphics library adjusted to work with the controllers. The graphics library is tested on an Intelligent Controller Module MIS-1, a part of KOGASTER system. The library will be implemented in intrinsically safe devices with an OLED display.

1. Wprowadzenie

W ITG KOMAG prowadzone są projekty, w których stosowane są sterowniki iskrobezpieczne własnej konstrukcji. Wykorzystywanie tych sterowników wymaga pisania oprogramowania dedykowanego pod konkretne rozwiązanie. Biblioteka graficzna dedykowana pod wykorzystywany sterownik ułatwi i przyspieszy ten etap pracy.

W zastosowaniach górniczych sterowniki, które są zaprojektowane zgodnie z wytycznymi dyrektywy ATEX oraz normami zharmonizowanymi, muszą spełniać odpowiednie wymagania w zakresie poboru mocy. Większość mocy pobieranej przez sterownik jest wykorzystywana do obsługi wyświetlaczy. Ograniczenie mocy pobieranej przez wyświetlacz znacząco ułatwia projektowanie sterowników iskrobezpiecznych.

Przepisy związane z projektowaniem urządzeń iskrobezpiecznych, poza mocą pobieraną przez wyświetlacz, wpływają również na dostępną moc obliczeniową i dostępną pamięć operacyjną. Ograniczenia w zakresie pamięci operacyjnej wpływają na konieczność minimalizacji objętości oprogramowania. Moduł Inteligentnego Sterownika MIS-1 został wykorzystany jako platforma sprzętowa dla nowej biblioteki graficznej.

Moduł MIS-1 jest częścią rozproszonego systemu [1] KOGASTER. System ten ze względu na jego iskrobezpieczeństwo może być stosowany w systemach sterowania dla maszyn górniczych [12, 13, 17]. Wykorzystywany jest on także przy tworzeniu systemu pozycjonowania kombajnu chodnikowego [9, 10]. Istnieje możliwość jego wykorzystania w systemach z komunikacją bezprzewodową [7, 8], monitoringu i diagnostyki [11] oraz z wykorzystaniem modułów samo zasilających [14, 15, 16].

Obecnie stosowane wyświetlacze w sterownikach są dostarczane przez ich producentów z podstawowym interfejsem. Pozwala to na ustawienie podstawowych parametrów i na przesyłanie ciągu pikseli. Ten niskopoziomowy dostęp do wyświetlaczy stwarza konieczność zaprogramowania obsługi plików graficznych, czcionek i menu, przy każdym nowym zastosowaniu wyświetlacza. Opracowanie odpowiednich bibliotek graficznych pozwala zatem na znaczne przyspieszenie prac związanych z programowaniem obsługi wyświetlacza.

Przeprowadzono przegląd bibliotek graficznych, co pozwoliło to na opracowanie koncepcji obsługi wyświetlacza OLED. Opracowano narzędzie programowe w postaci biblioteki graficznej, stosowanej do obsługi rodziny procesorów PIC32MX5XX/6XX/7XX. Biblioteka napisana w języku C, umożliwi rozbudowaną obsługę wyświetlaczy bazujących na interfejsie SSD1322. Jej funkcjonalność pozwoli na wykonywanie podstawowych i złożonych funkcji graficznych oraz na szybkie tworzenie zaawansowanych interfejsów użytkownika. Zastosowanie opracowanej biblioteki umożliwia łatwiejszy dostęp do funkcjonalności oferowanej przez system KOGASTER [2].

2. Przeznaczenie bibliotek graficznych

Biblioteki graficzne są zbiorami narzędzi, które mają za zadanie ułatwić wyświetlanie grafiki komputerowej. Wiąże się to zazwyczaj z dostarczeniem funkcji podstawowych zadań renderujących. Zadania te polegają na przedstawieniu cyfrowych danych w postaci, która może zostać odczytana przez sterownik wyświetlacza. Renderowanie może być wykonywane na głównym lub na dodatkowym procesorze, dedykowanym do operacji graficznych, który jest wykorzystywany między innymi w komputerach osobistych. Taki zestaw narzędzi pozwala programiście na pominięcie takich zadań, jak: optymalizacja renderowania i części funkcji graficznych, które zawarto w bibliotece.

Biblioteki graficzne, ze względu na ułatwienie pracy nad oprogramowaniem, są wykorzystywane tam, gdzie występuje konieczność wykorzystania wyświetlaczy graficznych. Zdarza się, że wykorzystywane są one również w urządzeniach nie mających bezpośredniego dostępu do wyświetlacza. W takich przypadkach grafika jest zapisywana lub przesyłana do innych urządzeń, które je wyświetlają. Biblioteki graficzne są dostępne na większość dostępnych procesorów i obsługują różne typy wyświetlaczy.

Biblioteki graficzne dostarczają narzędzia na różnym poziomie abstrakcji. Przykładowo, jedna biblioteka może udostępniać funkcje umożliwiające rysowanie prymitywów graficznych, takich jak np. prostokąt, a inna przyciski. W związku z tym wiele bibliotek korzysta z innych, które ułatwiają opracowanie kolejnej. Ma to miejsce najczęściej w urządzeniach o dużej mocy obliczeniowej. Przykładem takich bibliotek bazowych są: OpenGL, DirectX, które bezpośrednio komunikują się z procesorem graficznym. Ich funkcjonalność bazuje głównie na umożliwieniu komunikacji między głównym procesorem (CPU) a procesorem graficznym (GPU).

3. Koncepcja biblioteki graficznej

Opracowanie koncepcji nowej biblioteki graficznej wymagało określenia docelowej platformy sprzętowej oraz przeznaczenia biblioteki. Określenie platformy pozwoliło na przyjęcie dostępnej mocy obliczeniowej, ilości pamięci danych i programu. Natomiast

określenie przeznaczenia biblioteki pozwoli zdefiniować funkcjonalności, które powinny w niej się znaleźć.

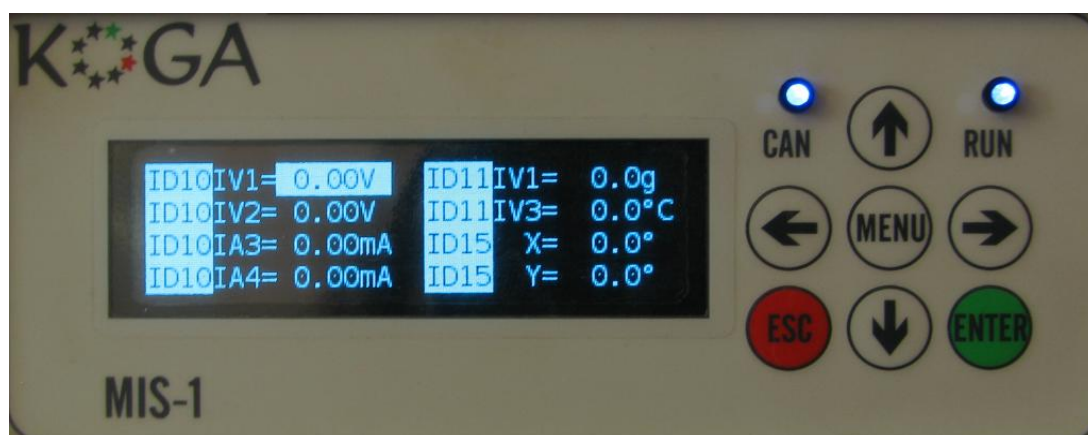
Jako platformę dla biblioteki graficznej przyjęto Moduł Inteligentnego Sterownika MIS-1 systemu KOGASTER (rys. 1) [3], rozwijanego w ITG KOMAG od kilku lat. System jest częścią rozproszonego układu sterowania wykorzystującym magistralę CAN i protokół CANopen.



Rys. 1. Moduł Inteligentnego Sterownika MIS-1 [4]

Moduł MIS-1 (rys. 1) wykorzystuje mikrokontroler PIC32MX795F512L z 512 KiB pamięci programu oraz 128 KiB pamięci RAM. W module MIS-1 stosowany jest wyświetlacz wykorzystujący kontroler SSD1322, który pozwala na komunikację poprzez magistralę I2C lub SPI.

W celu wyznaczenia najistotniejszych funkcjonalności biblioteki graficznej, utworzono koncepcję interfejsu graficznego (GUI) użytkownika w odniesieniu do MIS-1. Koncepcję oparto o sterownik MIS-1 zastosowany w kolejce szynowej. Główny ekran (rys. 2) zaprojektowano tak, by wyświetlane były wszystkie zmienne dostarczane przez moduły podłączone do MIS-1. Pozwoliło to na stały podgląd wszystkich istotnych parametrów pracy monitorowanego obiektu. Zaprojektowano również ekran (rys. 3), który umożliwił wyświetlanie pojedynczej zmiennej dużą czcionką wypełniającą cały obszar wyświetlacza. Opracowano strukturę menu (rys. 4), która pozwoliła na obsługę dodatkowych funkcjonalności.



Rys. 2. Ekran z wyświetlanymi zmiennymi [6]



Rys. 3. Ekran z wyświetlaną pojedynczą wartością [6]



Rys. 4. Fragment menu umożliwiający regulację podświetlenia [6]

4. Wybór narzędzi programistycznych

Środowisko programistyczne MPLAB X IDE przeznaczone do pisania oprogramowania i programowania typoszeregu procesorów PIC pozwala na wykorzystanie języka C i C++. Język C++ bazujący na C jest językiem opartym na paradygmatach programowania proceduralnego i strukturalnego. C++ jest rozszerzone dodatkowo o paradygmat programowania obiektowego i uogólnionego, co umożliwia tworzenie fragmentów kodu, którego wielokrotne użycie jest ułatwione. Ułatwia on pracę programistów i pozwala na tworzenie bardziej przejrzystego kodu. Język C jest bardzo popularny przy zastosowaniu w mikroprocesorach z małą ilością pamięci i niską częstotliwością taktowania, co wynika z mniejszego stopnia jego skomplikowania. Język C++ pozwala na wykorzystanie bibliotek napisanych w języku C lub zastosowania fragmentów kodu w nim napisanych.

Ze względu na mniejsze zapotrzebowanie zasobów procesora i możliwości wykorzystania biblioteki w oprogramowaniu napisanym w C lub C++ przy tworzeniu biblioteki zdecydowano się skorzystać z języka C. Wybór tego języka da większą elastyczność zastosowania dla użytkowników biblioteki. Zdecydowano, że jedną z podstawowych funkcjonalności biblioteki będzie wyświetlanie tekstu. Dodatkowo przewidziano obsługę plików graficznych.

5. Oprogramowanie

Przy opracowywaniu biblioteki powstało oprogramowanie pozwalające na przetestowanie i demonstrację biblioteki, oraz skrypty mające na celu konwersję plików do formatów wspieranych przez powstałą bibliotekę graficzną.

Funkcje udostępnione przez bibliotekę dla użytkownika pozwalają na:

- wyświetlanie pojedynczego piksela w jednym z szesnastu odcieni szarości,
- odwracanie odcieni szarości na wyznaczonym obszarze, w kształcie prostokąta,
- wyświetlanie wybranej ikony z bitmapy, w wyznaczonym miejscu,
- wyświetlanie pojedynczego znaku z wybranej czcionki i w wybranym miejscu,
- wyświetlanie ciągu znaków z wybranej czcionki i w wybranym miejscu,
- wyświetlanie liczby zmiennoprzecinkowej za pomocą czcionki o wysokości ekranu i w wybranym miejscu.

Udostępniono także strukturę, która umożliwia łatwe i intuicyjne tworzenie menu o strukturze drzewa. Wykorzystanie tej struktury pozwala na stworzenie menu z zagnieżdżeniami.

Ze względu na wymiary wyświetlacza dostępnego w MIS-1 zdecydowano się na użycie dwóch rozmiarów czcionek z pełnym alfabetem. Wybrano wysokości czcionki 10 i 16 pikseli, które pozwalają na zapisanie na ekranie odpowiednio 6 i 4 linii tekstu. Ze względu na ograniczoną ilość dostępnej pamięci zdecydowano się użyć znaków ASCII, poszerzonych o polskie znaki i znak stopnia. Zakres znaków ustalono na potrzeby wcześniej stworzonej koncepcji interfejsu graficznego. Dodatkowo zdecydowano się dodać czcionkę zawierającą tylko liczby i separator dziesiętny, której wysokość pokrywałaby się z wysokością ekranu. Zaplanowano również użycie ikon, w celu komunikacji potencjalnych zagrożeń i oznaczenia wybranych funkcjonalności interfejsu graficznego.

Opracowano trzy czcionki, zgodne z przyjętymi założeniami. Pierwotnie do konwersji czcionki wykorzystano aplikację webową, która pozwalała na przekształcenie bitmap na tablice bajtowe. Okazało się jednak, że niemożliwe jest przechowanie wszystkich czcionek na mikrokontrolerze. W celu zmniejszenia ilości przechowywanych danych opracowano skrypt, który umożliwił zapis dwóch pikseli na jednym bajcie. Dostępny wyświetlacz ma możliwość wyświetlania w 16 odcieniach szarości. Binarnie można taki odcień zapisać w 4 bitach, co w konsekwencji zmniejszyło rozmiar zapisanych danych o połowę.

W celu wspierania wszystkich dostępnych znaków w zaimplementowanych czcionkach zdecydowano się skorzystać z kodowania UTF-8, w celu zapisu ciągów znaków. W skrypcie umieszczono funkcję pozwalającą na zapis ciągów znaków zakodowanych w UTF-8, do postaci tablicy bajtowej. Tak zakodowana tablica pozwoli na wykorzystanie ciągów bez konieczności zmian kodowania w zintegrowanym środowisku programistycznym. Umożliwi także uniknąć ograniczeń wprowadzonych przez środowisko, które nie pozwala na zastosowanie różnego kodowania znaków w jednym projekcie.

Przygotowano zestaw ikon (rys. 5), który umożliwia prezentację różnych stanów awaryjnych. Możliwe jest złożenie całej ikony z kilku fragmentów. Oznacza to, że przy rysowaniu grafiki nie jest ona nadpisywana na istniejącą, a jest dokonywana operacja sumy binarnej. Pozwala to na nakładanie na siebie kilku ikon. Ikony złożone z kilku grafik przedstawiono w drugim wierszu na rysunku 6.

Pliki graficzne zapisane w mikrokontrolerze, nawet po kompresji, zajmowały znaczącą część dostępnej pamięci. Utworzono zatem bitmapę (rys. 7), która zawiera wszystkie kształty potrzebne do stworzenia wymaganych znaków. Funkcja wykorzystująca tę grafikę została napisana tak, by możliwe było tworzenie znaków przy pomocy nakładania na siebie fragmentów bitmapy i funkcji do rysowania prostokątów. Złożone w ten sposób znaki przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 5. Grafika z ikonami [6]



Rys. 6. Ikony przedstawiane na wyświetlaczu [6]



Rys. 7. Grafika umożliwiająca dynamiczne tworzenie liczb o wysokości całego ekranu [6]

Na podstawie opracowanej koncepcji interfejsu graficznego oprogramowanie MIS-1 rozbudowano o graficzny interfejs użytkownika. Do obsługi interfejsu graficznego wykorzystano przyciski znajdujące się po prawej stronie wyświetlacza. Wybór pojedynczej wartości do wyświetlenia (rys. 3) odbywa się poprzez wykorzystanie przycisków ze strzałkami. Aktualnie zaznaczona wartość wskazywana jest przez inwersję koloru. Przejście do ekranu na rysunku 3 odbywa się przez klawisz „ENTER”, a powrót przez klawisz „ESC”.

W celu przejścia do menu wykorzystywany jest klawisz „MENU”. Menu wyświetlane jest w postaci listy, która przedstawia tę gałąź struktury menu, w której aktualnie znajduje się użytkownik. Do przemieszczania się po menu wykorzystywane są przyciski ze strzałkami w górę, w dół, „ENTER” i „ESC”. Pierwsze dwa pozwalają na przesuwanie zaznaczenia odpowiednio w górę i w dół. Przycisk „ENTER” wykorzystywany jest do wchodzenia w głąb struktury menu lub zaznaczenia docelowej opcji. Przycisk „ESC” natomiast wykorzystywany jest do przejścia do gałęzi nadrzędnej.

6. Podsumowanie

Przeprowadzony przegląd istniejących bibliotek graficznych pozwolił na zapoznanie się z ich funkcjonalnością. Biblioteki przeanalizowano pod kątem ich docelowej platformy i przeznaczenia. Na tej podstawie opracowano koncepcję biblioteki graficznej.

Jako urządzenie spełniające założenia koncepcji przyjęto Moduł Inteligentnego Sterownika MIS-1, będącego częścią systemu KOGASTER [4]. Na podstawie możliwości jego wykorzystania zaprojektowano działanie przykładowego interfejsu graficznego użytkownika w innowacyjnym systemie mechatronicznym [5]. Wizja tego interfejsu pozwoliła na określenie najbardziej potrzebnych funkcjonalności zawartych w bibliotece graficznej.

Powstała biblioteka, w której zawarto:

- podstawowe funkcje graficzne (np. rysowanie prymitywów, inwersja obrazu),
- obsługa plików graficznych,
- obsługa czcionek,
- tworzenie menu o strukturze drzewa.

W trakcie tworzenia biblioteki zaistniała potrzeba przetwarzania danych w celu zmniejszenia zapotrzebowania na pamięć i zapewnienia zgodności z kodowaniem. Zmniejszenie wykorzystywanej pamięci zostało uzyskane dzięki skryptowi, który pozwolił na zmniejszenie objętości plików graficznych przechowywanych w pamięci mikrokontrolera PIC. Kompresję obrazów uzyskano dzięki dopasowaniu kodowania poszczególnych pikseli do możliwości wyświetlacza. Powstał także skrypt konwertujący ciągi znaków w kodowaniu UTF-8 do tablic bajtów, co ułatwia ich implementację w oprogramowaniu.

Wraz z pojawianiem się nowych zastosowań wyświetlacza OLED obsługiwanego procesorem PIC będzie możliwe dalsze rozwijanie funkcjonalności biblioteki. Wraz z doprecyzowaniem wyglądu i działania interfejsu graficznego, rozwijana będzie funkcjonalność biblioteki wspomagająca tworzenie tego interfejsu.

Planowane jest wykorzystanie pamięci w postaci karty SD w innych urządzeniach bazujących na podobnych komponentach do Modułu Inteligentnego Sterownika MIS-1. Takie rozszerzenie pamięci pozwoli na częściowe lub całkowite przeniesienie biblioteki graficznej

na dodatkową pamięć urządzenia. Największe korzyści da przeniesienie plików graficznych, które stanowią obecnie dużą część biblioteki.

Literatura

- [1] K. Stankiewicz, D. Jasiulek, J. Jagoda, J. Jura: Rozproszone systemy sterowania maszyn i urządzeń górniczych. *Maszyny Górnicze* 2016 nr 3 (147). s. 54-66
- [2] D. Jasiulek, S. Bartoszek, J. Jagoda, J. Jura, Ł. Krzak: Możliwości funkcjonalne systemu rozproszonego sterowania KOGASTER. *Mechanizacja, Automatyzacja i Robotyzacja w Górnictwie*. Monografia. Praca zbiorowa. Redakcja naukowa prof. dr hab. inż. Krzysztof Krauze. Łędziny, Kraków 2015
- [3] J. Jura, S. Bartoszek, J. Jagoda, D. Jasiulek, K. Stankiewicz, Ł. Krzak: Innowacyjny system sterowania KOGASTER. *Napędy i Sterowanie* 2014. nr 7/8
- [4] J. Jura, S. Bartoszek, J. Jagoda, D. Jasiulek, K. Stankiewicz, Ł. Krzak: System sterowania KOGASTER – nowe trendy w budowie maszyn górniczych. *Maszyny Górnicze* 2014 nr 2(138). s. 43-49
- [5] A. Kozieł, D. Jasiulek, K. Stankiewicz, S. Bartoszek: Inteligentne systemy mechatroniczne w maszynach górniczych. *Napędy i Sterowanie* 2012 Nr 2 (154). s. 112-116
- [6] M. Jura: Prace koncepcyjne i oprogramowanie w zakresie aplikacji do zarządzania wyświetlaczami OLED powiązanymi z typoszeregiem procesorów PIC (praca niepublikowana)
- [7] K. Stankiewicz: A method for the self-organization of a sensor network in belt conveyor exploitation. *Problemy Eksploatacji – Maintenance Problems* 2016 nr 3 (102) pp. 145-254
- [8] K. Stankiewicz: Koncepcja środowiska symulacyjnego do oceny samoorganizacji trasowania w sieci sensorycznej. *Maszyny Górnicze* 2015 nr 2. s. 3-8
- [9] S. Bartoszek: Pozycjonowanie kombajnu chodnikowego w wyrobisku korytarzowym. *Maszyny Górnicze* 2016 nr 1 s. 22-35
- [10] S. Bartoszek, G. Kost: Badania i rozwój systemu pozycjonowania mobilnych maszyn górniczych KOMAG. W: Materiały na konferencję: EMTECH 2014 "Zasilanie, telemetria i automatyka w przemyśle wydobywczym. Innowacyjność i bezpieczeństwo", Szczyrk, 14-16 maja 2014 s. 166-177, ISBN 978-83-63674-10-6
- [11] M. Kostka, Ł. Krzak, A. Gawliński, D. Jasiulek, M. Latos, J. Rogala-Rojek, K. Stankiewicz, S. Bartoszek, S. Jendrysik, J. Jura: Systemy monitoringu, diagnostyki i sterowania maszyn górniczych. *Maszyny Górnicze* 2015 nr 3 s. 88-96
- [12] D. Jasiulek, J. Świder: "Mechatronic systems in mining roadheaders - examples of solutions" *Pomiary Automatyka Robotyka* 2013 nr 1
- [13] D. Jasiulek, K. Stankiewicz, M. Woszczyński: Intelligent self-powered sensors in the state-of-the-art control systems of mining machines. *Archives of Mining Science* Vol 61, No 4 (2016)
- [14] D. Jasiulek: Testing the piezoelectric energy harvester's deflection on the amount of generated energy. Springer post-conference book, entitled: "Mechatronics: Ideas, challenges, solutions and applications" Editors: J. Awrejcewicz, K. J. Kaliński, M. Kaliczyńska, R. Szewczyk. 2016. s. 95-112

- [15] D. Jasiulek: The use of lost energy for supplaying the dispersed networks of sesnsory. Problemy Eksploatacji - Maintenance Problems 2015 nr 2 (97) pp. 51-59
- [16] D. Jasiulek: Propozycje zastosowania czujników samozasilających się w przemyśle wydobywczym. Przegląd Górniczy 2014 nr 1
- [17] S. Jendrysik, D. Jasiulek, K. Stankiewicz: System sterowania ścianowym przenośnikiem zgrzeblowym. Maszyny Górnicze 2015 nr 1 (141). s. 29-32

Czy wiesz, że

...w Hanowerze, w dniach 24-28 kwietnia br. odbywały się targi Hannover Messe 2017, największe i najważniejsze targi przemysłowe na świecie. W tym roku była to już 70. edycja tego wydarzenia. Dla Polski tegoroczna edycja była szczególna, ponieważ nasz kraj debiutował w roli kraju partnerskiego Hannover Messe. Mieliśmy więc niepowtarzalną okazję do zaprezentowania osiągnięć i możliwości polskiej gospodarki, polskich firm, a także polskiej nauki. Tegoroczne targi odbywały się pod hasłem "Integrated Industry - Creating Value". Koncepcja zintegrowanej produkcji, wypromowana pod hasłem Przemysłu 4.0, jest obecna na targach w Hanowerze od kilku lat. W tym roku zwiedzający, których było aż 225 tys. (w roku 2015 było ich 217 tys.), mogli zapoznać się z możliwościami oferowanymi przez inteligentne roboty współpracujące (coboty), rozwiązania adaptacyjne oraz zintegrowane systemy energetyczne. Spośród 225 tys. uczestników pokazu, ponad 75 tys. osób przybyło z zagranicy. Jest to najlepszy wynik w 70-letniej historii Hannover Messe. Największa liczba zagranicznych gości pochodziła z Chin (9 tys.), następnie z Holandii (6,2 tys.), Indii (5,3 tys.) i z Polski – 5 tys. odwiedzających, co ustanowiło nowy rekord kraju partnerskiego.

Przegląd Mechaniczny 2017 nr 5 s.14-16

System pomiaru koncentracji operatora maszyn i urządzeń górniczych

mgr inż. Jerzy Jagoda
Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Streszczenie:

W artykule przedstawiono system zwiększający bezpieczeństwo pracy operatora maszyny i urządzeń w oparciu o pomiar poziomu koncentracji uwagi. Powstał on w odpowiedzi na wyniki analiz stanu bezpieczeństwa pracy WUG wskazujące, że najczęstszą przyczyną wypadków jest „niedostateczna koncentracja przy wykonywaniu pracy”. W artykule przedstawiono analizę rozwiązań rynkowych związanych z podjętą tematyką oraz opis proponowanego rozwiązania w postaci koncepcji systemu.

Słowa kluczowe: górnictwo, koncentracja, bezpieczeństwo eksploatacji, elektroencefalografia

Keywords: mining, attention, exploitation safety, electroencephalography

Abstract:

The system increasing safety of machine and equipment operators by measuring the level of operator's attention is presented. The system has been developed in response to the analyses of occupational safety conditions conducted by WUG, which indicate that insufficient concentration at the workplace is the most common cause of accidents. Description of the suggested solution in a form of the system measuring concentration of attention as well as analysis of the market solutions related to the subject matter is presented.

1. Wprowadzenie

Analiza stanu bezpieczeństwa przeprowadzona przez Wyższy Urząd Górniczy przedstawiona w raporcie „Ocena stanu bezpieczeństwa pracy, ratownictwa górniczego oraz bezpieczeństwa powszechnego w związku z działalnością górnictwo-geologiczną w 2015 roku” wskazuje, że jedną z najczęstszych przyczyn wypadków jest „niedostateczna koncentracja przy wykonywaniu pracy” [18].

Również w analizie przeprowadzonej przez specjalistów z Politechniki Krakowskiej oraz Akademii Górniczo-Hutniczej dotyczącej układu operator-maszyna stwierdzono: „na podstawie przeprowadzonych badań sondażowych można stwierdzić, że największy wpływ na wydajność układu operator-maszyna do robót ziemnych mają parametry związane z kondycją psychofizyczną operatora (doświadczenie, zmęczenie, stan zdrowia i motywacja operatora)” [1]. Potrzeba identyfikacji poziomu koncentracji operatora istnieje również w innych branżach przemysłu.

Uwzględniając powyższe, w celu poprawy stanu bezpieczeństwa podczas eksploatacji maszyn i urządzeń opracowano w ITG KOMAG metodę minimalizacji wpływu błędów operatora maszyn i urządzeń wynikających z niedostatecznego skupienia na wykonywanej pracy. Wynikiem może być zwiększenie bezpieczeństwa pracy operatorów. Większość systemów realizujących poprawę stanu bezpieczeństwa diagnozuje stan maszyn górniczych [10], proponowane rozwiązanie skoncentrowane jest na eliminacji „czynnika ludzkiego”, który jest głównym czynnikiem wypadków przy pracy [18].

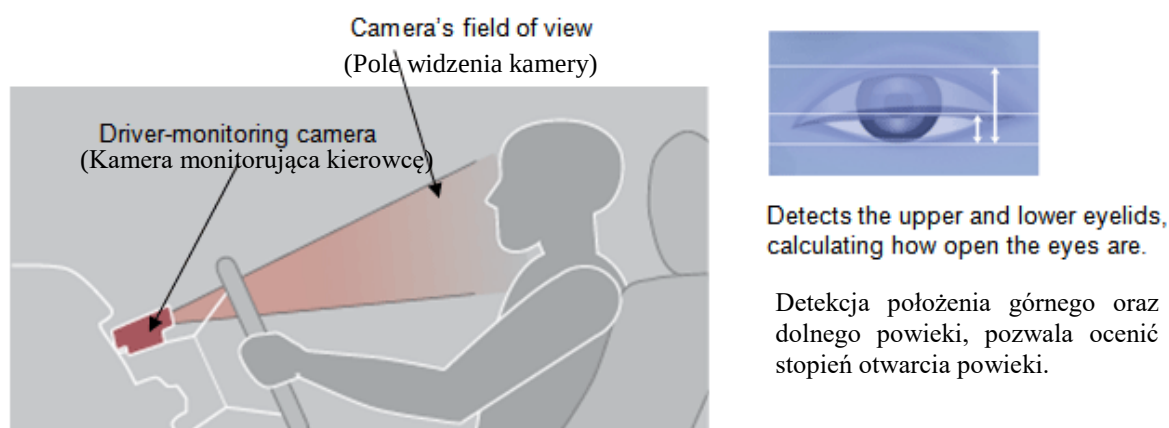
Proponowane rozwiązanie może zostać zintegrowane z systemami sterowania dla maszyn górniczych [7, 8, 9].

2. Analiza stanu techniki

Prace nad systemem poprzedzono analizą istniejących rozwiązań rynkowych, umożliwiających wyeliminowanie (lub zminimalizowanie) czynnika ludzkiego z przyczyn wypadków spowodowanych przez operatorów maszyn i urządzeń. Rozwiązania te najczęściej mają zastosowanie w przemyśle motoryzacyjnym oraz kolejnictwie.

2.1. System DMS (Driver Monitoring System) firmy Toyota

System składa się z kamery umieszczonej na wierzchu pokrywy kolumny kierownicy. Dodatkowo wspomaga ją sześć podczerwonych diod LED (co zapewnia działanie w dzień i w nocy) (rys. 1).

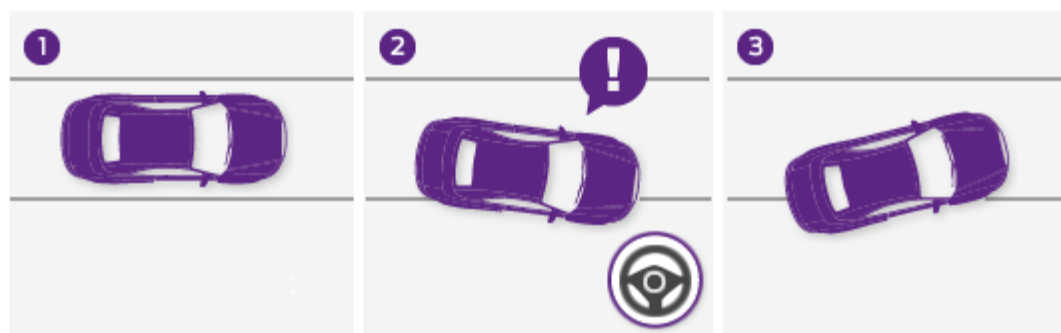


Rys. 1. System DMS firmy Toyota [11]

System (rys. 1) wykorzystuje metodę analizy obrazu, identyfikując stan twarzy kierowcy. Pozwala to na weryfikację stanu skupienia uwagi kierowcy na drodze. System śledzi położenie dolnej i górnej powieki, dzięki czemu może zareagować w chwili, gdy kierowca zasypia za kierownicą. Współdziała z innymi podsystemami zapobiegającymi powstaniu kolizji.

2.2. System Driver Alert firmy Ford

System monitoruje, za pomocą kamer, linie pasa ruchu (rys. 2).



Rys. 2. System Driver Alert firmy Ford [12]

W chwili, gdy określone zakresy zostają przekroczone (sytuacja 2 na rys. 2.), system informuje kierowcę o konieczności zatrzymania się poprzez sygnał dźwiękowy, a niezbędne informacje wyświetlane są na kokpicie (rys. 3).



Rys. 3. System Driver Alert firmy Ford - widok kokpitu [12]

2.3. System Active Driving Assistant firmy BMW

System firmy BMW (rys. 4), podobnie jak system firmy Ford obserwuje linie pasa ruchu.

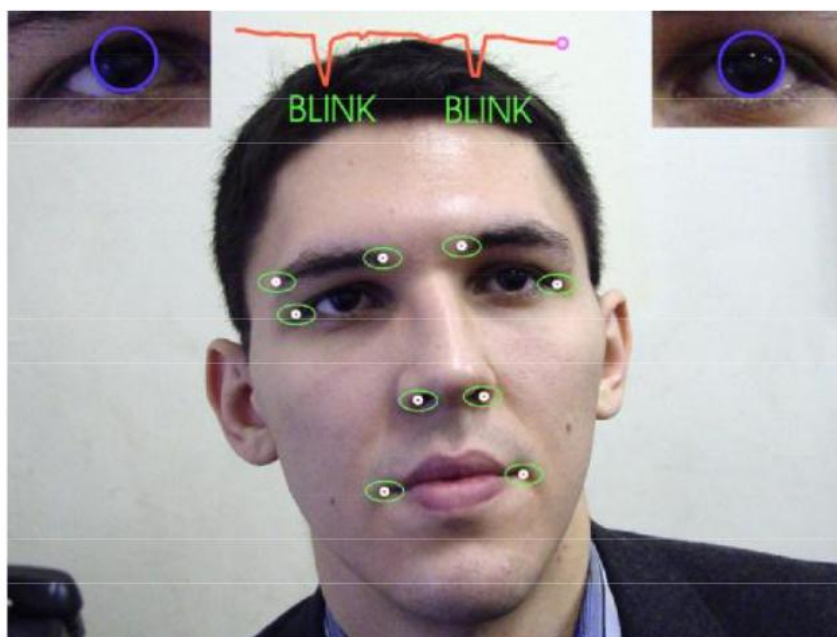


Rys. 4. System obserwacji pasa ruchu - Active Driving Assistant firmy BMW [13]

Pozwala on również kontrolować odległość pomiędzy pojazdem znajdującym się z przodu i sterować pojazdem (utrzymywać trajektorię ruchu w odniesieniu do linii oraz automatycznie hamować w przypadku stwierdzenia przekroczenia bezpiecznej odległości od innych pojazdów).

Podobne systemy stosuje się również w kolejnictwie.

2.4. System firmy Neurocom



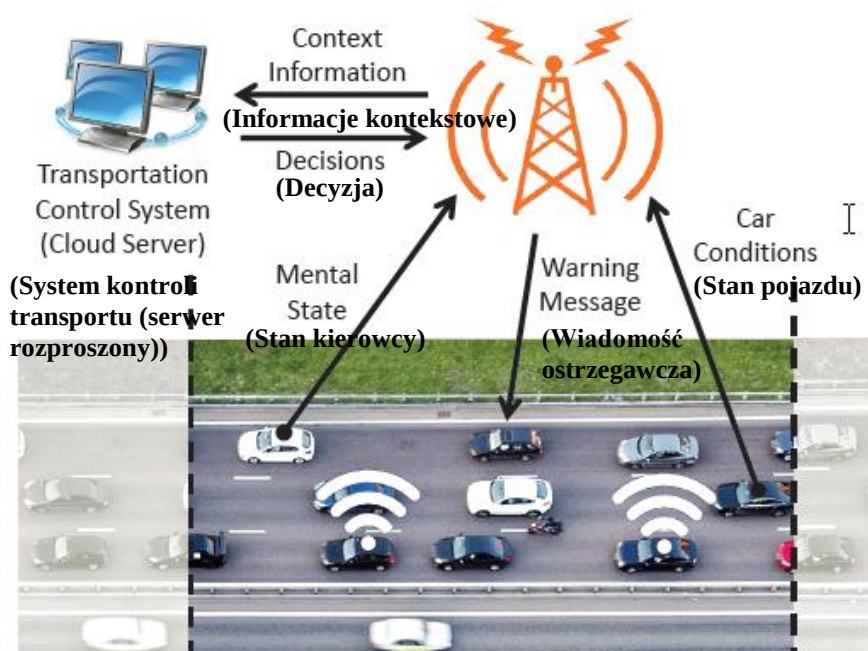
Rys. 5. System detection engine driver falling asleep firmy Neurocom [14]

System firmy Neurocom za pomocą analizy obrazu dokonuje detekcji twarzy maszynisty w wybranych punktach (rys. 5). Analizowany jest stan oczu maszynisty oraz kierunek wzroku. W przypadku wykrycia nadmiernego przymykania oczu lub padania wzroku w inne punkty niż przyjęte za bezpieczne, maszynista jest informowany o niebezpieczeństwie według określonej mnemoniki.

3. Opis koncepcji systemu

Systemy motoryzacyjne oraz występujące w kolejnictwie wykorzystują kamery do analizy obrazu twarzy kierowcy/maszynisty. W warunkach środowiskowych towarzyszących eksploatacji maszyn i urządzeń w górnictwie metoda ta może się okazać nieskuteczna, ze względu na szereg czynników mogących zniekształcić analizowany obraz. W trakcie analizy rozwiązań, które mogą zostać zaadaptowane do ciężkich warunków pracy w podziemiach kopalni koncentrowano się na analizie metody opartej na pomiarze sygnału EEG (ang. Electroencephalography – elektroencefalografia jest metodą rejestracji czynności bioelektrycznej mózgu) emitowanego przez ludzki mózg.

Wykorzystanie sygnału EEG do kontroli bezpieczeństwa kierowców zaproponowali specjaliści z Uniwersytetu w Arizonie. Dane pozyskane z poszczególnych pojazdów przesyłane są drogą bezprzewodową do centrali, w której oprogramowanie eksperckie analizuje je oraz reaguje na zaistniałe sytuacje konkretną decyzją, przesyłaną powrotnie drogą bezprzewodową do pojazdu (rys. 6.). Cały system komunikuje się poprzez sieć HumanNet. Podzielony jest on na serwer centralny (Central Cloud Server) oraz poszczególne aplikacje zainstalowane na aplikacjach mobilnych, u poszczególnych kierowców (Wearable Smart Devices). Stan kierowcy weryfikowany jest za pomocą dwóch urządzeń: Emotiv lub Neurosky [2].



Rys. 6. System „Safe power” [2]

W Polsce prowadzone są również prace nad wykorzystaniem sygnału EEG. Do pozyskania danych pomiarowych wykorzystywane jest urządzenie NeuroSky MindWave Mobile. Podczas analizy pozyskanego sygnału stwierdzono, że mimo ograniczonej liczby elektrod urządzenie może zostać wykorzystane w pewnym ograniczonym zakresie do pozyskania sygnału EEG na potrzeby procesów sterowania [3].

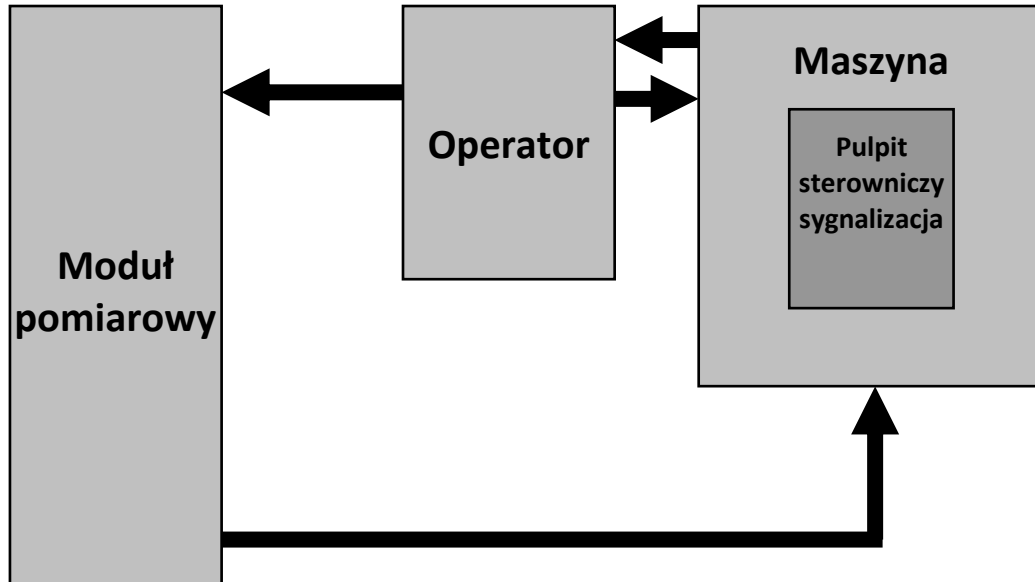
Sygnał EEG z powodzeniem wykorzystywany jest do tzw. Neuromarketingu [4, 15]. Realizowany jest pomiar sygnału EEG respondenta, który ogląda określone treści reklamowe. Wynikiem analizy jest wskazanie, „klatka po klatce”, uwag i zaangażowania respondenta treściami reklamy (rys. 7).



Rys. 7. Wyniki analizy sygnału EEG respondenta podczas oglądania treści reklamowych [4, 15]

W ramach prac badawczych prowadzonych przez specjalistów z Politechniki Poznańskiej, przeprowadzono badania dwóch kierowców z wykorzystaniem pomiaru sygnału EEG za pomocą urządzenia Neurosky MindWave Mobile. Badania prowadzono w celu porównania stanów skupienia i relaksacji obu kierowców podczas jazdy w warunkach rzeczywistych oraz

na symulatorze AS1200-6 firmy AutoSim. Różnica pomiędzy średnimi poziomami skupienia podczas jazdy symulatorem oraz w warunkach rzeczywistych wynosiła około 25%. Ustalono, że istnieje korelacja. Stwierdzono również, że kierowca nie ćwiczący wcześniej na symulatorze oraz autem używanym do testów w warunkach rzeczywistych (badany pierwszy), miał poziomy skupienia nieco niższe od drugiego kierowcy [5].



Rys. 8. Schemat blokowy modelu systemu pomiaru koncentracji operatora [opracowanie własne]

Koncepcja systemu, opracowana w ITG KOMAG zakłada odczyt sygnału elektromagnetycznego mózgu operatora (EEG) w celu weryfikacji poziomu koncentracji. Sygnał EEG po odczytaniu przez moduł pomiarowy będzie poddany analizie, a następnie, po przetworzeniu danych wysłany będzie sygnał do pulpitu sterowniczego maszyny. W momencie przekroczenia ustalonych progów poziomu skupienia operatora włączony zostanie sygnał ostrzegawczy (graficzny bądź dźwiękowy).

Zdecydowano się na zastosowanie w module pomiarowym analizę sygnału EEG, gdyż pozwala ona na określenie aktywności bioelektrycznej kory mózgowej [6], która w zależności od częstotliwości pozwala na pozyskanie następujących informacji:

- Alfa – zakres częstotliwości 8-13 Hz, amplituda 20-100 μV . Fale występują u dorosłego człowieka przy całkowitym odprężeniu, przy zamkniętych oczach. Przebieg ich ma charakter sinusoidalny, a największe amplitudy są odbierane z nad kory wzrokowej. Rytm alfa jest blokowany w trakcie skupienia uwagi (szczególnie wzrokowej) i wysiłku umysłowego.
- Beta – zakres częstotliwości 14-35 Hz, amplituda do 20 μV . Fale beta występują w stanie aktywności, przetwarzania informacji, skupienia uwagi, lub pobudzenia. Odbierane są z okolic czołowo-środkowych.
- Theta – zakres częstotliwości 4-7 Hz, do 30 μV . Fale występują głównie u dzieci. U dorosłych pojawiają się w stanie głębokiej medytacji, podczas snu, transu, hipnozy, marzenia, intensywnych emocji.
- Delta – zakres częstotliwości 0,5-4 Hz, amplituda 75-200 μV . Fale charakterystyczne w przypadku fazy głębokiego snu. Zbierane są z całej powierzchni czaszki.
- Gamma – zakres częstotliwości 35-100 Hz – Fale pojawiają się w sytuacji stresowej podczas tremy, lęku oraz w tzw. sytuacjach wyjątkowych.

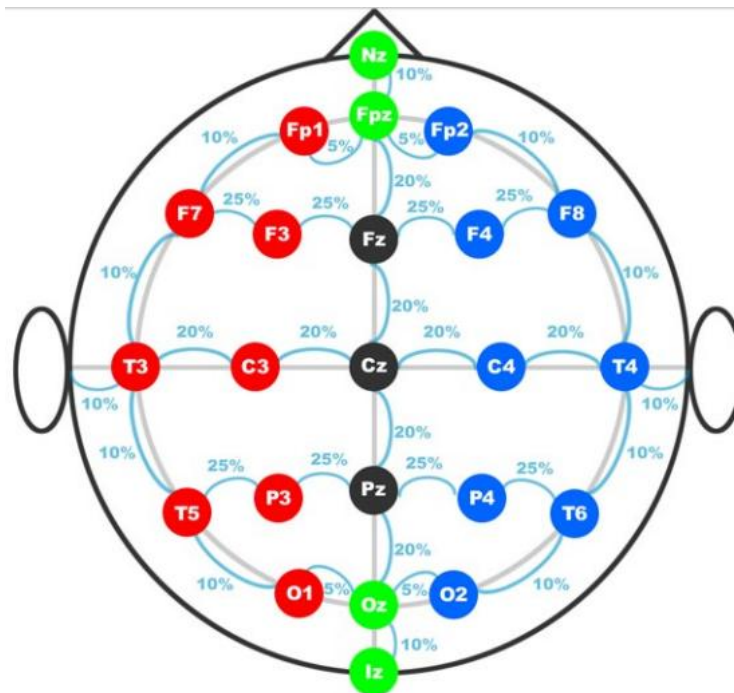
W pracy skoncentrowano się na pomiarze sygnału EEG, korzystając z doświadczeń metody „biofeedback”, w której mierzony sygnał zwracany jest do pacjenta w postaci np. wizualizacji czy gry komputerowej (sprzężenie zwrotne). Sprzężenie zwrotne zawiera w sobie informacje o falach mózgowych przeważających w danej chwili. Fale wykorzystywane są np. do sterowania elementem wirtualnym, kiedy wzrasta aktywność mózgu, w pożądanym paśmie częstotliwości [6]. Odpowiednia korelacja aktywności fal alpha, beta oraz theta, pozwala zatem na identyfikację poziomu skupienia badanego.

Do budowy modułu pomiaru oraz analizy sygnału EEG zaproponowano zastosowanie urządzenia MindWave Mobile oraz aplikacji zainstalowanej na urządzeniu MyPhone z systemem operacyjnym Android.



Rys. 9. Urządzenie MindWave Mobile [17]

Urządzenie MindWave Mobile (rys. 9) wyposażone jest w jedną, suchą elektrodę czołową (określana symbolem Fp1 według międzynarodowego standardu 10-20 określającego punkty umiejscowienia elektrod podczas analizy sygnału EEG – rysunek 10) oraz klip referencyjny montowany na uchu.



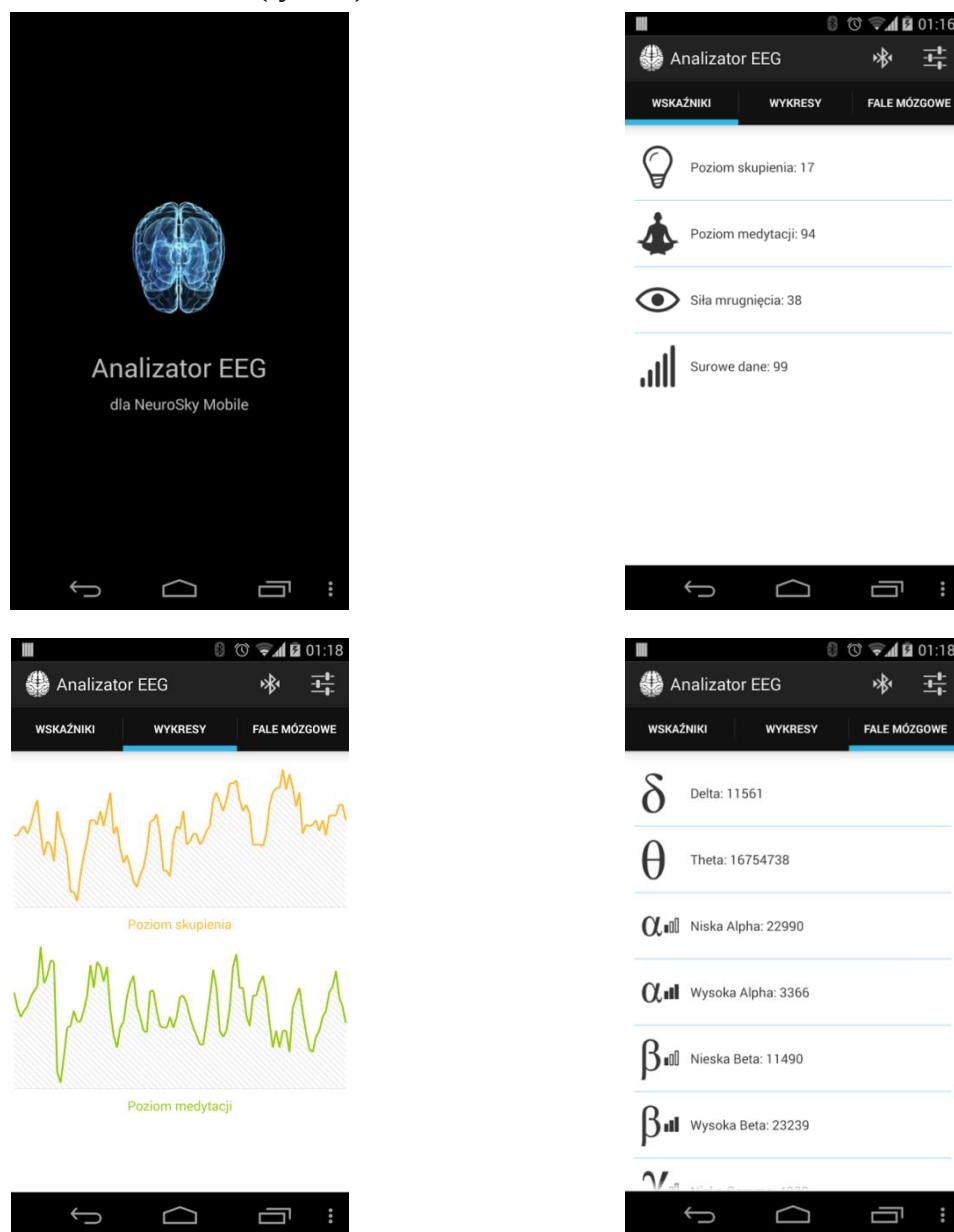
Rys. 10. Standard 10-20 rozmieszczenie elektrod EEG [16]

Produkt firmy NeuroSky zasilany jest pojedynczą baterią AAA, co zapewnia możliwość od 6 do 8 godzin nieprzerwanej pracy. Urządzenie pracuje w zakresie częstotliwości: (2,420 – 2,471) GHz, maksymalna moc sygnału to 6 dBm. Częstotliwość próbkowania realizowanych przy użyciu NeuroSky MindWave Mobile pomiarów wynosi 512 Hz [1].

Urządzenie, poza surowym sygnałem EEG, przekazuje poziom skupienia („Attention”) oraz relaksu („Meditation”). Oba współczynniki są bezwymiarowe. Producenci sprzętu nie podają szczegółowo sposobu ich wyznaczenia. Podana jest jedynie informacja o ich korelacji z falami alfa, beta oraz theta [2].

Zaprojektowano oprogramowanie rejestrujące dane (czas, poziom skupienia oraz poziom medytacji) w pliku typu „csv”. Oprogramowanie powinno pracować z urządzeniem wyposażonym w system operacyjny Android. Zarejestrowane dane zostaną poddane analizie w celu potwierdzenia słuszności założeń koncepcyjnych.

Oprócz oprogramowania autorskiego zostały sprawdzone również programy dostępne na rynku np. „Analizator EEG” (rys. 11).



Rys. 11. Widok programu „Analizator EEG” [17]

Dane przetworzone za pomocą oprogramowania będą wysyłane do elementów wykonawczych pulpitu operatora maszyny. Informacja o przekroczeniu wartości granicznych będzie wygenerowana w sposób wizualny lub dźwiękowy. Podczas badań weryfikujących zostanie sprawdzone, który ze sposobów wpływa korzystniej na poprawę pracy operatora maszyny.

4. Podsumowanie

Podjęte prace mają na celu poprawę stanu bezpieczeństwa operatora i osób postronnych podczas eksploatacji maszyn, urządzeń i pojazdów w różnych gałęziach przemysłu oraz w użytkowaniu prywatnym.

Przeprowadzone analizy wykazały, że do weryfikacji skupienia operatora maszyn i urządzeń można wykorzystać pomiar sygnału elektroencefalograficznego (EEG) emitowanego przez ludzki mózg.

W dalszych pracach przewiduje się budowę modelu sprzętowego systemu oraz przeprowadzenie testów, które zweryfikują jego działanie.

Literatura

- [1] E. Radziszewska-Zielina, A. Sobotka, E. Plebankiewicz, K. Zima: „Wstępna identyfikacja i ocena parametrów wpływających na wydajność układu operator-maszyna do robót ziemnych”, Budownictwo i Architektura, 2013, nr. 12(1), s. 53-60
- [2] K.Sadeghi, A. Banerjee, J. Sohankar: „SafeDrive: An Autonomous Driver Safety Application in Aware Cities”, S.K.S. Gupta; iMPACT Lab, CIDSE, Arizona State University
- [3] S. Paszkiel: „Akwizycja sygnału EEG przy użyciu Neurosky Mindwave Mobile na potrzeby procesów sterowania realizowanych z poziomu systemu android”, Academic Journals Poznan University of Technology, 2015, nr. 84, s. 237–244
- [4] M.Kołodziej, P. Tarnowski, A. Majkowski, R. J. Rak, D. Dec: „Rejestracja i analiza sygnału EEG na użytek neuromarketingu”, Przegląd Elektrotechniczny, 2015, nr. 91, str. 9-12
- [5] M. Jukiewicz, J. Merkisz, B. Orszulak: „Analiza stanu psychofizycznego kierowcy w warunkach rzeczywistych i symulacyjnych”, Logistyka, 2014, nr. 5, str. 655-660
- [6] A. Broniec, J. Chodak: „Sterowanie prostym urządzeniem elektrycznym za pomocą sygnału EEG”, Automatyka, 2009, nr. 13, str. 1059-1067
- [7] D. Jasiulek, J. Świder: „Mechatronic systems in mining roadheaders - examples of solutions” Miesięcznik Pomiary Automatyka Robotyka (ISSN1427-9126, Indeks 339512), nr 1/2013
- [8] D. Jasiulek, K. Stankiewicz, M. Woszczyński: Intelligent self-powered sensors in the state-of-the-art control systems of mining machines. Archives of Mining Science Vol 61, No 4 (2016)
- [9] S. Jendrysik, D. Jasiulek, K. Stankiewicz: System sterowania ścianowym przenośnikiem zgrzeblowym. Maszyny Górnicze nr 1(141)/2015. s. 29-32

- [10] M. Kostka, Ł. Krzak, A. Gawliński, D. Jasiulek, M. Latos, J. Rogala-Rojek, K. Stankiewicz, S. Bartoszek, S. Jendrysik, J. Jura: Systemy monitoringu, diagnostyki i sterowania maszyn górniczych. Masz. Gór. 2015 nr 3 s. 88-96, ISSN 0209-3693
- [11] <http://www.toyota.co.jp/> (15.05.2017)
- [12] <http://www.corporate.ford.com> (15.05.2017)
- [13] <http://www.bmw.com> (15.05.2017)
- [14] <http://www.neurocom.ru> (22.05.2017)
- [15] <http://www.neuro-innovation.pl> (22.05.2017)
- [16] <http://www.trans-cranial.com> (05.06.2017)
- [17] <http://www.neurosky.com> (30.05.2017)
- [18] Wyższy Urząd Górniczy: Ocena stanu bezpieczeństwa pracy, ratownictwa górniczego oraz bezpieczeństwa powszechnego w związku z działalnością górniczo-geologiczną w 2015 roku, <http://www.wug.gov.pl/download/6178.pdf> (05.06.2017)