



MASZYNY GÓRNICZE

2/2018

KWARTALNIK NAUKOWO-TECHNICZNY

MASZYNY GÓRNICZE

MINING MACHINES

2(154)2018

Kwartalnik naukowo-techniczny
Rok XXXVI, czerwiec 2018

Zespół Redakcyjny:

Redaktor Naczelny:
dr inż. Antoni Kozieł

Z-ca Redaktora Naczelnego:
dr inż. Edward Pieczora

Sekretarz Redakcji:
mgr inż. Romana Zając

Redaktor statystyczny:
dr inż. Jarosław Tokarczyk

Redaktor językowy:
mgr Elżbieta Kwaśniewska-Gajda

Redaktorzy tematyczni:
dr hab. inż. Beata Gryniewicz-Bylina
prof. nadzw. ITG KOMAG,
prof. dr hab. inż. Adam Klich,
prof. dr hab. inż. Aleksander Lutyński,
dr hab. inż. Stanisław Szweda
prof. nadzw. ITG KOMAG,
prof. dr hab. inż. Teodor Winkler,
mgr inż. Marzena Pabian-Macina

Wydawca:

Instytut Techniki Górniczej KOMAG
ul. Pszczyńska 37, 44-101 Gliwice
tel. 32 2374 129
<http://www.komag.eu>

Wersję elektroniczną wydawanego
kwartalnika należy traktować jako
wersję pierwotną.



ISSN 2450-9442

Szanowni Państwo

Za nami kolejny, X Europejski Kongres Gospodarczy, który odbył się w Katowicach w dniach 14 do 16 maja 2018 roku. Dyskutowano na nim, między innymi, o strategii dla polskiej energetyki, w tym o szansach dla krajowego górnictwa.

Polska technika i technologie górnicze są znane na rynkach światowym od wielu lat. Są poparte solidną podstawą naukową i badawczą, wynikającą ze współpracy kopalń z producentami maszyn górniczych oraz jednostkami naukowymi. Dotyczy to zwłaszcza bezpieczeństwa pracy, które skłania do tworzenia przyszłościowej, inteligentnej kopalni. Już dzisiaj stosowane są cyfrowe modele złoża, prowadzone są badania odprężenia górotworu stwarzających zagrożenia, wdrażane innowacyjne techniki górnicze poprawiające efektywność procesu wydobywania surowców mineralnych, czy też nowoczesne techniki szkoleniowe kadr dla górnictwa.

Szansą dla polskiej energetyki może być kompleksowość działań, od zaprojektowania kopalni do wybudowania elektrowni. W tym zakresie mieszczą się prace koncepcyjne, badawcze, przygotowanie nowych technologii i sprzętu, zarówno do eksploatacji transportu i przeróbki węgla, jak również technologie energetyczne oraz szkolenia kadry.

Oferta polskiej myśli górniczej wydaje się zatem być bardzo obiecująca. W niniejszym numerze Maszyn Górniczych przedstawiamy przykłady prac, realizowanych w Instytucie KOMAG, na rzecz bezpieczeństwa użytkowania maszyn górniczych i bezpieczeństwa pracy. Sądzymy, że mogą się one znaleźć w polskiej ofercie przemysłu maszyn górniczych, zarówno na rynku krajowym, jak i rynkach zagranicznych.

Zachęcamy zatem do zapoznania się z zamieszczonymi artykułami i tradycyjnie zapraszamy do współpracy z Redakcją naszego kwartalnika.

*Redaktor Naczelny
dr inż. Antoni Kozieł*

PROJEKTOWANIE I BADANIA

Talarek M.: Bezpośrednie testy zapalności
wyładowań elektrostatycznych z powierzchni
materiałów nieprzewodzących 3

PRZERÓBKA MECHANICZNA

Sidor J.: Budowa i zastosowanie układów
kruszenia 13

Friebe P.: Wzbogacalniki strumieniowo-
zwojowe do wydzielenia substancji
węglowych z miałów węglowych 28

Matusiak P., Kowol D.: Rozwój osadzarek
pulsacyjnych typu KOMAG 40

Kowol D., Matusiak P., Łagódka M.:
Możliwości zwiększenia efektywności
procesu produkcji miałów węgla koksowych
poprzez wzrost dokładności wtórnego
wzbogacania półproduktu w osadzarce
pulsacyjnej 53

**SYSTEMY ZASILANIA,
STEROWANIA, MONITORINGU
I DIAGNOSTYKI**

Jendrysik S.: Innowacyjne rozwiązania
ITG KOMAG w zakresie automatyzacji
węzłów osadzarkowych 65

BEZPIECZEŃSTWO I ERGONOMIA

Majewski M.: Konfigurowanie obwodów
sterowania w celu zwiększenia bezpieczeństwa
pracy maszyn górniczych Część 2.
Zatrzymanie awaryjne 78

Figiel A.: Zapewnienie bezpieczeństwa
technicznego maszyn i urządzeń górniczych 87

DESIGNING AND TESTING

Talarek M.: Direct ignition tests of
electrostatic discharges from non-conductive
surfaces 3

MECHANICAL MINERAL PROCESSING

Sidor J.: Construction and application of
crushing systems 13

Friebe P.: Stream-and-spiral separators for
recovery of coal from coal fines 28

Matusiak P., Kowol D.: Development of
KOMAG pulsatory jig 40

Kowol D., Matusiak P., Łagódka M.:
Possibility of increasing the effectiveness of
coking coal fines production by increasing
separation efficiency in secondary beneficiation
of semi-products in a pulsating jig 53

**SYSTEMS FOR POWER SUPPLY,
CONTROL, MONITORING AND
DIAGNOSTICS**

Jendrysik S.: KOMAG Innovative solutions
in the jig node automation process 65

SAFETY AND ERGONOMICS

Majewski M.: Configuring the control
circuits to increase safety of mining
machines Part 2. Emergency stop 78

Figiel A.: Ensuring the technical safety of
mining machines and equipment 87

Bezpośrednie testy zapalności wyładowań elektrostatycznych z powierzchni materiałów nieprzewodzących

mgr inż. Marcin Talarek
Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Direct ignition tests of electrostatic discharges from non-conductive surfaces

Streszczenie:

W niniejszej pracy zaprezentowano eksperyment bezpośrednich testów zapalności wyładowań elektrostatycznych snopiastych. Badania zostały przeprowadzone z wykorzystaniem sondy zapłonowej opisanej w normie PN-EN 60079-32-2 wzbogaconej o układ pomiaru prądu wyładowania. Przeprowadzono 100 prób zapłonu mieszaniny wybuchowej. Zaobserwowano wpływ przebiegu prądu wyładowania na zdolność wyładowania do spowodowania inicjacji zapłonu. Wyniki eksperymentu zestawione na wykresie $I_{\text{peak}} = f(Q)$ wykazują pewną regularność, która została opisana „krzywą wybuchowości”.

Abstract:

Experiment of direct ignition test with brush discharges was presented in the paper. Tests were carried out with ignition probe according to the EN 60079-32-2 Standard with current measurement set-up. 100 trials of ignition were conducted in the experiment. Influence of the current waveform on the incendivity of discharges was observed. There is some regularity in results, summarized at the chart $I_{\text{peak}} = f(Q)$, which was described with “ignition curve”.

Słowa kluczowe: atmosfera wybuchowa, wyładowanie elektrostatyczne, Minimalna Energia Zapłonu

Keywords: explosive atmosphere, electrostatic discharge, Minimum Ignition Energy

1. Wprowadzenie

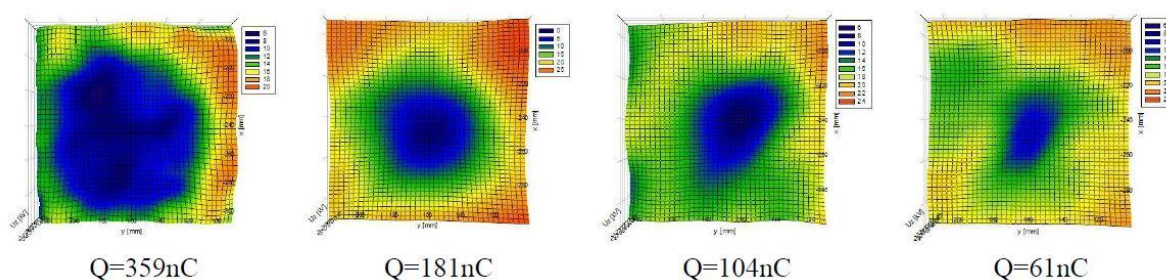
Wyładowanie elektrostatyczne to nagły i gwałtowny przepływ prądu między dwoma obiektami, mającymi różne potencjały elektryczne, występujący wskutek przekroczenia wytrzymałości dielektrycznej ośrodka, w którym zjawisko występuje. Wyładowania elektrostatyczne dzieli się na kilka rodzajów, które różnią się między sobą naturą fizyczną oraz zdolnością do spowodowania zapłonu [8]. Z punktu widzenia zagrożeń elektrostatycznych wyróżnić należy następujące rodzaje wyładowań: iskrowe, snopiaste, snopiaste rozprzestrzeniające się (Lichtenberga), ulotowe (koronowe) oraz stożkowe (Maurera). W niniejszej pracy skupiono uwagę na wyładowaniach snopiastych, które stanowią wyładowania z powierzchni materiałów nieprzewodzących, najczęściej występujące w praktyce. Fotografię wyładowania snopiastego pokazano na rysunku 1.



Rys. 1. Wyładowanie snopiaste [1]

Uwagę zwraca fakt, iż początkowo zwarty kanał prądowy ulega rozproszeniu, co determinuje przestrzenny i czasowy przebieg procesu uwolnienia do otoczenia pewnej ilości energii E , zwanej energią uwolnioną. Energia uwolniona w wyładowaniach elektrostatycznych snopiastych stanowi przedmiot zainteresowań badaczy od dziesięcioleci, jednak jak dotąd nie określono ścisłej formuły, która pozwalałaby obliczyć jej wartość. Na przestrzeni lat pojawiło się kilka interesujących koncepcji, podejmujących problem oszacowania energii uwolnionej [2, 3, 12], niemniej żadna z nich nie stanowi ścisłego rozwiązania problemu.

W związku z faktem, iż elektrony nie mogą poruszać się swobodnie w dielektryku, wyładowanie elektrostatyczne snopiaste nie spowoduje obniżenia potencjału powierzchniowego na całej powierzchni dielektryka do zera a jedynie lokalnie zostaje on obniżony. Owo lokalne obniżenie potencjału zwane jest „kraterem potencjału” [3]. Ładunek zostaje zebrany z pewnej ograniczonej powierzchni, co zostało zaprezentowane na rysunku 2, gdzie przedstawiono typowe rozkłady potencjału powierzchniowego na próbkach materiałów nieprzewodzących po wystąpieniu wyładowania snopiastego dla różnych wartości przeniesionego ładunku. Rozkład potencjału na próbce można wyznaczyć poprzez pozycjonowanie w kolejnych krokach sondy potencjału w wybranych punktach nad próbką. Więcej na ten temat można znaleźć w pracy [14].



Rys. 2. Rozkład potencjału powierzchniowego po wystąpieniu wyładowania elektrostatycznego snopiastego dla różnych wartości przeniesionego ładunku [17]

Przebieg wyładowania elektrostatycznego snopiastego jest bardzo gwałtowny i złożony, zaś rozkład potencjału powierzchniowego na próbce materiału nieprzewodzącego stanowi swego rodzaju ślad pozostawiony przez to zjawisko. Rozumienie zdolności do spowodowania zapłonu mieszaniny gazów oraz metody oceny zagrożenia wybuchem, związanego ze zjawiskiem wyładowania snopiastego, rozwijały się przez dziesięciolecia wraz z prowadzonymi badaniami i coraz lepszym poznaniem natury zjawiska.

Materiały nieprzewodzące, szeroko wykorzystywane w górnictwie, m. in. jako elementy składowe stosowanych urządzeń mechanicznych i elektrycznych, są podatne na gromadzenie się na ich powierzchniach ładunków elektrostatycznych wskutek różnych mechanizmów elektryzacji [6]. W praktyce najczęściej występującym mechanizmem elektryzacji jest tarcie. Naelektryzowany materiał nieprzewodzący stanowi potencjalne źródło zapłonu mieszaniny wybuchowej, występującej w jego otoczeniu. W podziemiach kopalń atmosferę wybuchową stanowią mieszaniny metanu z powietrzem oraz pyłu węglowego z powietrzem. Zdolność danej mieszaniny wybuchowej do spowodowania jej zapłonu charakteryzuje Minimalna Energia Zapłonu (MEZ) [8], która dla mieszaniny 8,3% metanu z powietrzem wynosi 0,28 mJ, zaś dla pyłu węgla kamiennego jest na poziomie kilkudziesięciu mJ. MEZ pyłu węglowego jest zatem praktycznie o dwa rzędy wielkości większa niż mieszaniny metanu z powietrzem, stąd oczywisty wniosek, iż mieszanina metanu z powietrzem jest znacznie bardziej podatna na spowodowanie jej zapłonu przez wyładowanie elektrostatyczne. Eksperymentalnie wykazano, że wyładowania snopiaste nie są zdolne do inicjacji wybuchu mieszanin pyłów [4, 5]. Mieszaniny pyłów mogą zostać zainicjowane przez wyładowania snopiaste rozprzestrzeniające się lub iskrowe.

2. Metody oceny zagrożeń elektrostatycznych

Rozwój i ewolucję metod badań zjawiska elektryczności statycznej w kontekście możliwości spowodowania wybuchu przedstawiono w pracy [11]. Po raz pierwszy zjawisko elektryczności statycznej zostało zidentyfikowane jako przyczyna wystąpienia wybuchu w latach 80-tych i 90-tych XIX-go wieku. Wówczas to wystąpiła seria wybuchów oparów benzyny w pralniach w Niemczech. M.M. Richter wykorzystując elektroskop wskazał, iż *silne wzbudzenie energii elektrycznej miało miejsce na ubraniach podczas ich czyszczenia*, co zostało przez niego wyjaśnione elektryzacją poprzez tarcie i wskazane jako przyczyna wystąpienia wybuchów. Od tego wydarzenia na przestrzeni kolejnych lat pojawiały się inne incydenty, niemniej na pierwsze opracowanie zawierające wskazówki praktyczne dotyczące zapobiegania zagrożeniom mogącym wystąpić wskutek zjawiska elektryczności statycznej przyszło czekać do 1937 roku [19]. Od tego czasu opracowano szereg norm i przewodników, zawierających praktyczne wskazówki zapobiegania zagrożeniom związanym ze zjawiskiem elektryczności statycznej. Obecnie, ocena możliwości bezpiecznego stosowania materiałów w podziemiach kopalń oparta jest o normy [16, 17].

Zgodnie z wymaganiami normy PN-EN ISO 80079-36:2016-07 [17], w sytuacji gdy powierzchnia rzutu materiału nieprzewodzącego w dowolnym kierunku przekracza $10\,000\text{ mm}^2$, należy wykonać następujące badania, celem oceny możliwości bezpiecznego stosowania materiału nieprzewodzącego w obecności mieszaniny metanu z powietrzem:

- rezystancji powierzchniowej, która nie powinna przekraczać $10^9\ \Omega$ (zmierzona w temperaturze 23°C i wilgotności względnej 50%) lub $10^{11}\ \Omega$ (zmierzona w temperaturze 23°C i wilgotności względnej 30%),

- przeniesionego ładunku, który nie powinien przekraczać 60 nC.

Należy podkreślić, że pozytywny wynik pomiaru rezystancji powierzchniowej wyklucza wystąpienie niebezpiecznych wyładowań snopiastych oraz snopiastych rozprzestrzeniających się, zaś pozytywny wynik badania przeniesionego ładunku wyklucza jedynie wystąpienie niebezpiecznych wyładowań snopiastych. Wyładowanie snopiaste rozprzestrzeniające się jest wyładowaniem snopiastym, które propaguje się na cienkiej warstwie dielektryka i jest widoczne w postaci jasno świecącego kanału plazmy. Wyładowanie takie może wystąpić w następujących przypadkach [8]:

- na powierzchni uziemionego podłoża metalowego znajduje się warstwa dielektryka o grubości do ok. 8 mm i wytrzymałości elektrycznej powyżej 4 kV lub ścianka urządzenia technologicznego, wykonanego z tworzywa izolacyjnego o określonej grubości i odpowiednio dużej wytrzymałości na przebicie,
- warstwa dielektryka ulega silnemu naelektryzowaniu, przy czym na obydwu jej stronach powstaje ładunek przeciwnego znaku o ekstremalnie dużej gęstości powierzchniowej.

Wykluczenie mechanizmów elektryzacji bardziej dynamicznych niż tarcie manualne, wyklucza możliwość wystąpienia wyładowań snopiastych rozprzestrzeniających się. Wówczas, możliwość bezpiecznego stosowania materiałów o rezystancji przekraczającej wartości dopuszczalne określone powyżej, może zostać zweryfikowana na podstawie badania przeniesionego ładunku.

Istotą badania jest zmierzenie ładunku przeniesionego w wyładowaniu z naelektryzowanej powierzchni próbki materiału badanego. Próbkę elektryzowaną jest poprzez pocieranie tkaniną bawełnianą, tkaniną z czystego poliamidu oraz elektryzację ulotową. Dla każdej z metod elektryzacji próbę wykonuje się 10-krotnie, zaś wynikiem końcowym jest największa zmierzona wartość przeniesionego ładunku. Norma PN-EN ISO 80079-36:2016-07 [17] przewiduje pomiar przeniesionego ładunku, Q w układzie z kondensatorem o znanej pojemności, C i woltomierzem o wysokiej impedancji wejściowej. Napięcie mierzone na kondensatorze, U_C pozwala wyznaczyć wartość przeniesionego ładunku ze wzoru (1):

$$Q = C \cdot U_C \quad (1)$$

Jak wspomniano wyżej, badany materiał może być bezpiecznie stosowany w przestrzeniach zagrożonych wybuchem mieszaniny metanu z powietrzem (grupa I), wówczas gdy wartość przeniesionego ładunku nie przekracza 60 nC.

Norma PN-EN 60079-32-2:2015-08 [18] dopuszcza również inne elektryczne metody pomiaru. Przeprowadzone badania międzylaboratoryjne wykazały istotne rozbieżności w wynikach uzyskanych z wykorzystaniem różnych metod pomiaru ładunku [13]. Warto w tym miejscu podkreślić, że w Instytucie Techniki Górniczej KOMAG opracowano akustyczną metodę pomiaru ładunku przeniesionego [10], która pozwala wyznaczyć wartość przeniesionego ładunku z wykluczeniem wszelkich niedogodności związanych z elektrycznym pomiarem ładunku przeniesionego.

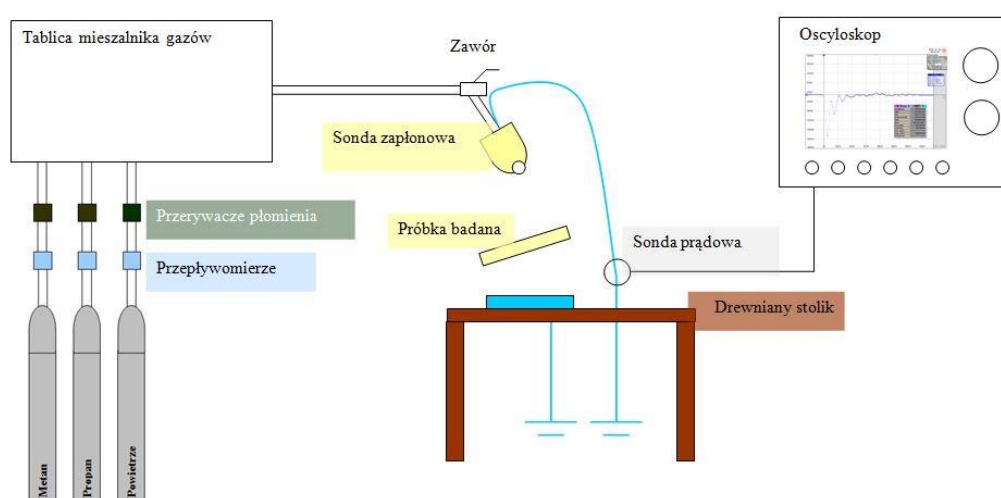
Norma PN-EN 60079-32-2:2015-08 [18] przewiduje również badanie możliwości spowodowania zapłonu przez wyładowanie elektrostatyczne poprzez bezpośrednią obserwację wystąpienia bądź nie inicjacji zapłonu z wykorzystaniem sondy zapłonowej. Metoda ta, zmodyfikowana i wzbogacona o pomiar prądu wyładowania elektrostatycznego,

została w niniejszej pracy wykorzystana do oceny zdolności do spowodowania zapłonu mieszaniny wybuchowej przez wyładowania snopiaste.

3. Badania bezpośrednie zapalności wyładowań snopiastych

3.1. Stanowisko badawcze

Stanowisko badawcze składało się z następujących części: sondy zapłonowej (ang. ignition probe), instalacji mieszaniny gazów, zapewniającej doprowadzenie odpowiedniej mieszaniny do sondy zapłonowej, rejestratora wraz z sondą prądową oraz instalacji odprowadzania spalin. Na rysunku 3 w sposób schematyczny zaprezentowano stanowisko badawcze do bezpośrednich testów zapalności wyładowań.



Rys. 3. Schemat stanowiska badawczego bezpośrednich testów zapalności wyładowań

Budowa sondy zapłonowej jest opisana w normie [18], widok sondy zastosowanej w eksperymencie zaprezentowano na rysunku 4.

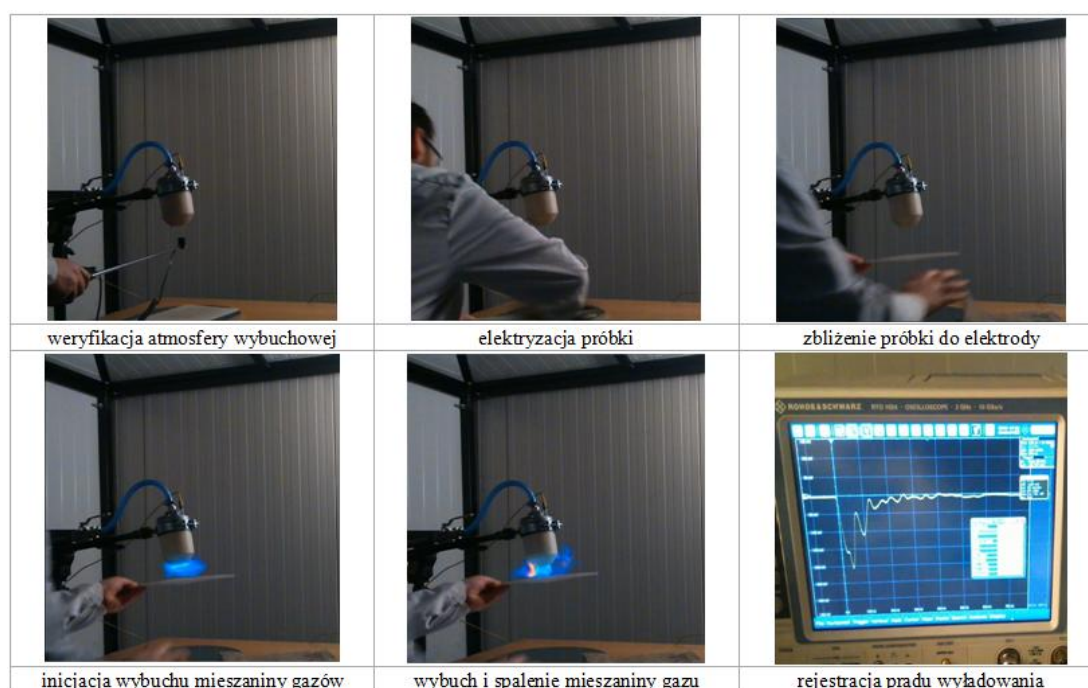


Rys.4. Widok sondy zapłonowej [fotografia własna]

Przedmiotem badań była próbka materiału nieprzewodzącego z polietylenu fluorowanego o wymiarach 300 mm x 200 mm i grubości 2 mm, wytypowana na podstawie wcześniej przeprowadzonych badań [13].

3.2. Procedura realizacji badań

Procedura badawcza obejmowała następujące działania: weryfikację atmosfery wybuchowej, naelektryzowanie próbki poprzez pocierania szmatką z owczej wełny, zbliżenie naelektryzowanej próbki do elektrody sondy zapłonowej w celu inicjacji (bądź nie) wybuchu mieszaniny gazowej (w przypadku inicjacji zapłonu – zamknięcie zaworu i spalenie mieszaniny gazowej) oraz rejestrację przebiegu prądu wyładowania elektrostatycznego. Realizacja kolejnych etapów procedury badawczej została zaprezentowana na rysunku 5. Do sondy zapłonowej doprowadzono mieszaninę metanu z powietrzem oraz propanu z powietrzem, w proporcjach określonych w normie [18]. MEZ zastosowanych mieszanin wybuchowych wynosi odpowiednio: 0,28 mJ i 0,25 mJ. Przed przystąpieniem do badań próbka została oczyszczona alkoholem izopropylowym. Celem zapewnienia zadowalającej powtarzalności wykonywanych badań, wszystkie próby zostały przeprowadzone przez tę samą osobę w następujących warunkach środowiskowych: temperatura, $T = 20^{\circ}\text{C}$, wilgotność względna powietrza, $\text{RH} \sim 36\%$.

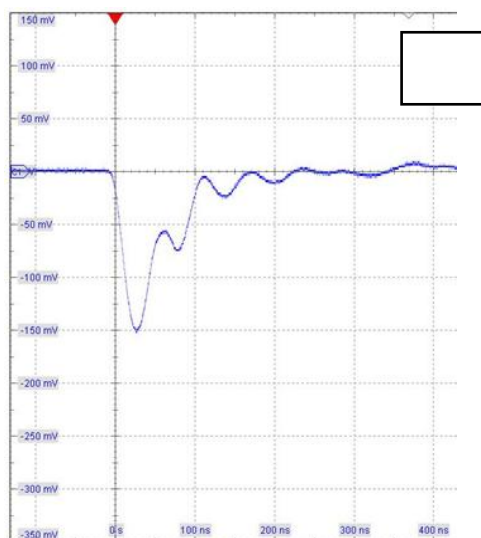


Rys. 5. Procedura realizacji badań [fotografia własna]

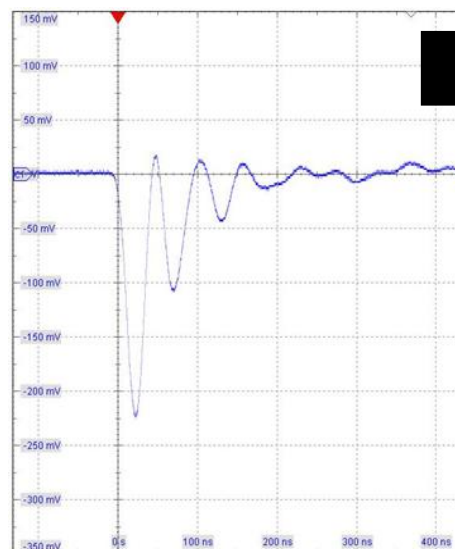
3.3. Wyniki eksperymentu

W wyniku przeprowadzonych badań uzyskano przypadki wyładowań elektrostatycznych, dla których ta sama wartość przeniesionego ładunku raz spowodowała inicjację zapłonu mieszaniny wybuchowej a raz nie. Stanowi to esencję prowadzonych w pracy rozważań. Przykładowe wyniki zestawiono na rysunkach 6 ÷ 8. Zaprezentowane na wykresach przebiegi stanowią zrzuty ekranu z oscyloskopu, pracującego z następującymi podziałkami: pionowa

0,5 A/działkę, pozioma 100 ns/działkę. Inicjację zapłonu oznaczono na rysunkach wypełnionym czarnym kwadratem, zaś brak inicjacji zapłonu kwadratem pustym.

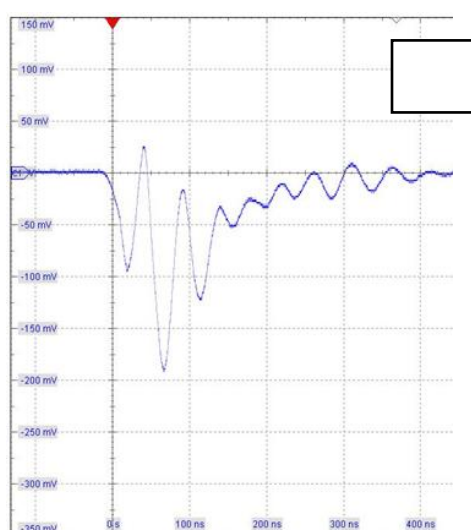


$$I_{\text{peak}} = 1,50\text{A}; Q = 96 \text{ nC}$$

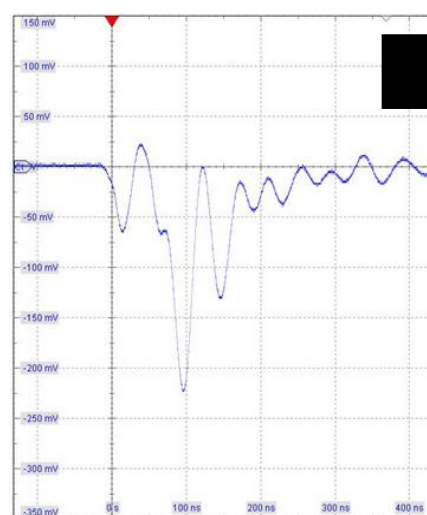


$$I_{\text{peak}} = 2,23\text{A}; Q = 90 \text{ nC}$$

Rys. 6. Zarejestrowany przebieg prądu wyładowania – przypadek 1

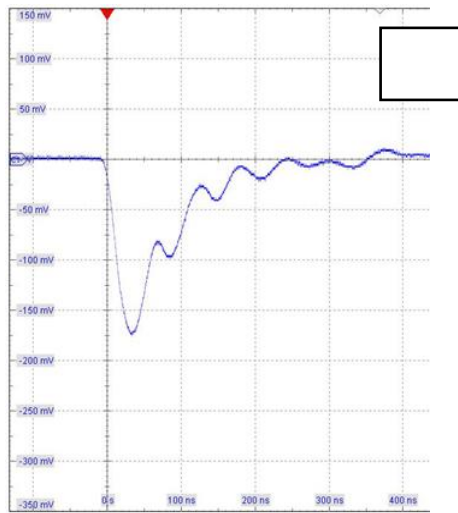


$$I_{\text{peak}} = 1,90\text{A}; Q = 145 \text{ nC}$$

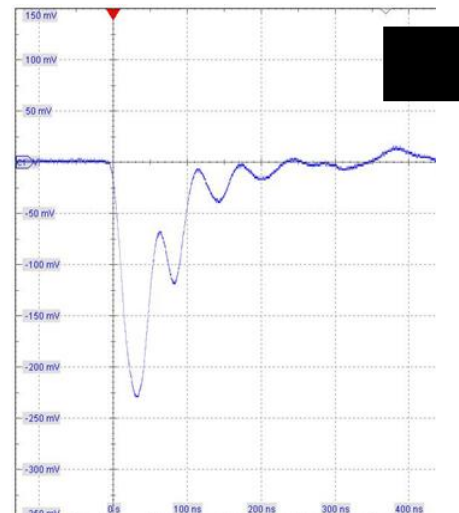


$$I_{\text{peak}} = 2,22\text{A}; Q = 147 \text{ nC}$$

Rys. 7. Zarejestrowany przebieg prądu wyładowania – przypadek 2



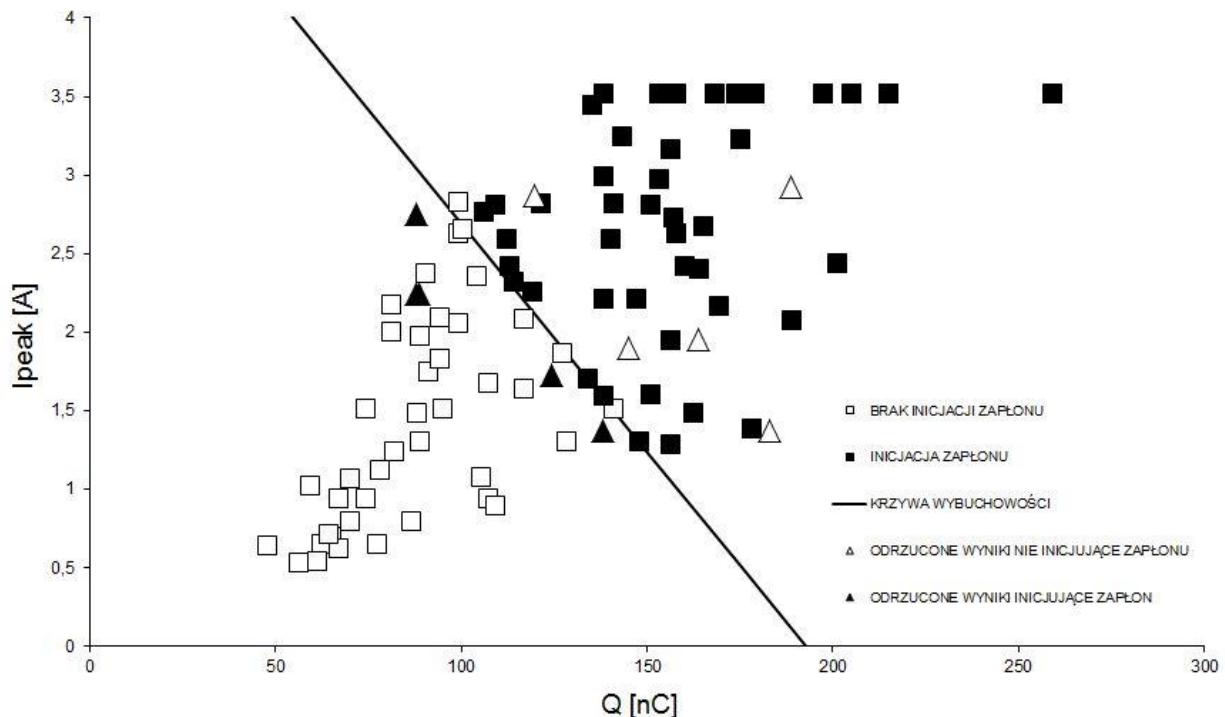
$$I_{\text{peak}} = 1,61\text{A}; Q = 151 \text{ nC}$$



$$I_{\text{peak}} = 2,35\text{A}; Q = 150 \text{ nC}$$

Rys. 8. Zarejestrowany przebieg prądu wyładowania – przypadek 3

Zestawienie wyników wszystkich prób zrealizowanych w eksperymencie na wykresie $I_{\text{peak}}=f(Q)$ pozwala zaobserwować pewną regularność (rys. 9). Regularność ta została opisana „krzywą wybuchowości” [15]. Krzywa wybuchowości dzieli populację wyników na wyniki, które znajdują się powyżej oraz te, które znajdują się poniżej krzywej. Wyniki znajdujące się powyżej krzywej powodują zapłon mieszaniny wybuchowej, zaś te poniżej krzywej wybuchowości nie powodują zapłonu. Stwierdzenie to jest prawdziwe dla populacji 90% wyników uzyskanych w eksperymencie (odrzucone wyniki zaznaczono na wykresie).



Rys. 9. Rezultaty bezpośrednich testów zapalności wyładowań [15]

4. Podsumowanie i wnioski

Wyładowania elektrostatyczne z powierzchni materiałów nieprzewodzących mogą stanowić źródło zapłonu mieszanin gazów oraz ich par. Stosowana powszechnie metoda badania przeniesionego ładunku [17] pozwala ocenić bezpieczeństwo stosowania w przestrzeniach zagrożonych wybuchem materiałów nieprzewodzących, poprzez pomiar wartości przeniesionego ładunku i porównanie go do kryterium dla danej grupy mieszanin wybuchowych. Dla zagrożeń występujących w górnictwie, tj. mieszaniny metanu z powietrzem, wartość dopuszczalna wynosi 60 nC. W pracy zrealizowano eksperyment bezpośrednich testów zapalności wyładowań z wykorzystaniem zmodyfikowanego układu pomiarowego sondy zapłonowej [18], wzbogaconego o pomiar przebiegu prądu wyładowania elektrostatycznego, celem obserwacji wpływu przebiegu prądu wyładowania na zdolność wyładowania do spowodowania zapłonu.

Zaobserwowano, iż ta sama wartość przeniesionego ładunku może raz spowodować zapłon mieszaniny wybuchowej, a raz nie (rys. 6÷8). Podobne obserwacje zostały opisane w pracy [7], w której jednak nie realizowano pomiaru przebiegu prądu wyładowania a jedynie mierzono wartość przeniesionego ładunku. Uzyskane w eksperymencie wyniki wskazują, iż zdolność wyładowania do spowodowania zapłonu jest ściśle związana z przebiegiem prądu w czasie. Dla prób zaprezentowanych na rys. 6÷8 zapłon mieszaniny wystąpił w przypadku, gdy wartość szczytowa prądu wyładowania była większa, co wskazuje na bardziej gwałtowny przebieg zjawiska.

W ramach eksperymentu wykonano 100 prób. Najmniejsza wartość przeniesionego ładunku, która spowodowała zapłon wyniosła 86 nC. Wynik ten jest w satysfakcjonującej zgodności z wynikami eksperymentu przeprowadzonego w Physikalisch-Technische Bundesanstalt z wykorzystaniem kulombomierza do pomiaru przeniesionego ładunku oraz stacjonarnej komory wybuchowej [9], gdzie najmniejsza wartość przeniesionego ładunku powodująca inicjację zapłonu wyniosła 93 nC. Największa wartość przeniesionego ładunku, która nie spowodowała inicjacji zapłonu wyniosła 189 nC.

Zestawienie wyników wszystkich prób, uzyskanych w eksperymencie bezpośrednich testów zapalności wyładowań na wykresie $I_{\text{peak}} = f(Q)$ pozwala zaobserwować pewną regularność: wyniki położone powyżej pewnej krzywej, zwanej „krzywą wybuchowości” z 90-procentowym prawdopodobieństwem spowodują inicjację zapłonu mieszaniny wybuchowej, zaś te położone poniżej nie. Zatem do pełnej oceny zdolności do spowodowania zapłonu mieszaniny wybuchowej przez wyładowanie snopiaste nie wystarczy sama informacja o wartości przeniesionego ładunku ale również o wartości szczytowej prądu wyładowania. W każdym razie uzyskane w eksperymencie wyniki oraz wyniki opisane w pracy [9] pozwalają skonkludować, że stosując dotychczasowe kryterium oceny zagrożeń, bazujące na wartości dopuszczalnej przeniesionego ładunku wynoszącej 60 nC dla mieszaniny metanu z powietrzem, zawsze będziemy po „bezpiecznej stronie”, zaś uzyskany rezultat można wykorzystać do wiarygodnej oceny zagrożeń związanych z wystąpieniem wyładowań elektrostatycznych snopiastych.

Literatura

- [1] Britton L. G.: Avoiding static ignition hazards in chemical operations, Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, New York, 1999

- [2] Cragger J. C., Horenstein M. N.: Distributed parameter model for computing energy dissipation in brush-type electrostatic discharges, *Journal of Electrostatics* 63 (2005) 239–247
- [3] Davidson J. L., Williams T. J., Bailey A. G., Stevens R. P.: Discharge energy available to grounded spheres approaching charged ground-backed insulators, *Journal of Electrostatics* 59 (2003) 153–172
- [4] Glor M., Schwenzfeuer K.: Ignition tests with brush discharges, *Journal of Electrostatics* 51-52 (2001) 402-408
- [5] Glor M., Schwenzfeuer K.: Direct ignition tests with brush discharges, *Journal of Electrostatics* 63 (2005) 463–468
- [6] Grabarczyk Z., Kurczewska A.: Zagrożenia elektrostatyczne w przestrzeniach zagrożonych wybuchem, Centralny Instytut Ochrony Pracy – PIB, Warszawa 2008
- [7] Holdstock P.: Does charge transfer correlate with ignition probability?, *Journal of Physics: Conference Series* 142 (2008) 01. 2009
- [8] Kowalski J. M.: Ochrona przed elektrycznością statyczną. Zasady prognozowania, oceny i likwidacji zagrożeń, Automatic Systems Engineering Sp. z o.o., 2015
- [9] Langer T., Mockel D., Beyer M.: Transferred charge of brush discharges in explosive atmospheres – A verification of the ignition threshold limits, *Journal of Electrostatics* 69 (2011) 200-205
- [10] Orzech Ł.: Akustyczna metoda badania pojedynczych wyładowań elektrostatycznych, praca doktorska, AGH Kraków, 2014
- [11] Pidoll U., Helmut Krämer memorial lecture: Electrostatic assessment of products and processes - A view backwards and forwards, *Journal of Electrostatics* 71 (2013) 586-590
- [12] Tabata Y., Masuda S.: Minimum Potential of Charged Insulator to Cause Incendiary Discharges, *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. IA-20, No. 5, September/October 1984
- [13] Talarek M., Orzech Ł.: Results of an interlaboratory comparison on the measuring of transferred charge, *Proceedings of the 12th European Conference on Electrostatics, Electrostatics* 2013
- [14] Talarek M., Kacprzyk R.: Charge transferred in brush discharges, *Journal of Physics: Conference Series* 646 (2015) 012022
- [15] Talarek M., Kacprzyk R.: Direct ignition tests of brush discharges for explosive methane-air and propane-air gas mixtures, *Journal of Electrostatics* 88 (2017) 165-170
- [16] PN-EN 60079-0:2013-03 Atmosfery wybuchowe. Część 0: Urządzenia. Podstawowe wymagania
- [17] PN-EN ISO 80079-36:2016-07 Atmosfery wybuchowe. Część 36: Urządzenia nieelektryczne do atmosfer wybuchowych. Metodyka i wymagania
- [18] PN-EN 60079-32-2:2015-08 Atmosfery wybuchowe. Część 32-2: Zagrożenia elektrostatyczne. Badania
- [19] Static Electricity, National Safety Council Inc., Chicago, 1937, Safe practices pamphlet No. 52. (autor opracowania nieznany)

Budowa i zastosowanie układów kruszenia

dr hab. inż. Jan Sidor, prof. nadzw. AGH
AGH Akademia Górniczo-Hutnicza

Construction and application of crushing systems

Streszczenie:

Procesy wytwarzania uziarnionych surowców mineralnych oraz materiałów syntetycznych o wymiarach ziaren powyżej 1 mm przeprowadza się w maszynach rozdrabniających – kruszarkach. Każda kruszarka eksploatowana jest w węźle technologicznym zwanym układem, linią, węzłem, systemem, lub rozdrabniania (kruszenia), a jeśli w tym układzie występuje proces klasyfikacji ziarnowej, układ nazywany jest krusząco-przesiewającym lub krusząco-sortującym. Praca zawiera klasyfikacje użytkowanych obecnie układów kruszenia, przykłady ich budowy w wersji stacjonarnej i mobilnej w przemysłach: kruszyw, spoiw mineralnych, węgla kamiennego, rud oraz innych materiałów uziarnionych. Większość z nich stanowią układy jednomaszynowe pracujące w cyklu otwartym z dozowaniem nadawy bez odsiewania podziarna. Układy te cechuje najmniej skomplikowana budowa, ale też najmniejsza efektywność. Największą efektywnością cechują się układy pracujące w cyklu zamkniętym z klasyfikatorem ziarnowym – przesiewaczem i wstępnym odsiewaniem podziarna.

Słowa kluczowe: kruszarka, układ technologiczny, układ kruszenia

Keywords: crusher, technological system, crushing system

Abstract:

Processes of producing grained mineral and synthetic raw materials with grain sizes above 1 mm are carried out in comminution machines - crushers. Each crusher is operated in a technological system, line, or node, and if there is a grain classification process in this system, it is called crushing-screening or crushing-sorting system. The work contains classifications of currently used crushing systems, examples of their construction in stationary and mobile versions. The application of these machines in the following industries was also described: aggregates, mineral binders, hard coal, ores and other grained materials. Most of them are stand-alone machine systems operating in an open cycle with the dosing of feed without sub grains pre-sieving. These systems are characterized by the least complicated construction, but also the lowest efficiency. The most effective systems operates in a closed cycle with grains classifier - a screen and a preliminary sub grains pre-sieving.

1. Wprowadzenie

Proces kruszenia zachodzi w maszynie technologicznej – kruszarce. Każda kruszarka do realizacji zadania procesowego wymaga wyposażenia w podstawowe urządzenia pomocnicze, z których najważniejszymi są dozownik nadawy oraz urządzenie odbioru produktu rozdrabniania. Niektórzy użytkownicy traktują wyżej wymienione urządzenia pomocnicze jako integralne zespoły tej maszyny, dotyczy to w szczególności agregatów mobilnych. Kuszarka wraz z podstawowymi i dodatkowymi, często bardzo ważnymi urządzeniami pomocniczymi, nazywana jest często: układem technologicznym (lub krótko układem i tę nazwę przyjęto w pracy), a także linią, węzłem, systemem, agregatem rozdrabniania (kruszenia), a jeśli równocześnie zachodzi w tym układzie klasyfikacja ziarnowa, również układem krusząco-przesiewającym lub krusząco-sortującym. W każdym przypadku głównym wyposażeniem technologicznym układu jest kruszarka, a pomocniczymi (towarzyszącymi) urządzeniami: dozownik (podajnik) nadawy, urządzenie odbierające produkt kruszenia, układy: zasilania energetycznego, sterowania, kontroli podstawowych parametrów eksploatacyjnych oraz opcjonalnie: separator metali, układ odpylania, archiwizacji

parametrów technologicznych, parametrów eksploatacyjnych – ruchowych kruszarki - smarowania, temperatury łożysk, stanu obciążenia silnika kruszarki oraz parametrów technologicznych i eksploatacyjnych urządzeń pomocniczych, wstępnej i finalnej klasyfikacji ziarnowej, układu odpylania i innych.

W układach wstępnego kruszenia o dużych wydajnościach, a zwłaszcza wyposażonych w kruszarki stożkowe, dozowanie nadawy może odbywać się bezpośrednio z wozidła, lub za pomocą ładowarki. Na rynku oferowane są również kruszarki, które w swoim ustroju mają wbudowany wstępny odsiewacz nadziarna, którym jest ruszt wyposażony w jedną lub dwie obrotowe rolki, lub utworzony z rusztowin, który oddziela z nadawy podawanej do kruszarki strumień materiału o uziarnieniu zbliżonym do uziarnienia produktu kruszenia.

W przypadku kruszarek, w których zachodzi jednoczesny proces suszenia rozdrabnianego materiału, w układzie kruszenia znajduje się również palenisko lub instalacja podawania gorących gazów z innego źródła.

Budowę układu kruszenia determinują następujące względy:

- wersja układu (stacjonarny, mobilny, semimobilny, kontenerowy),
- własności technologiczne kruszonego materiału: wytrzymałość na ściskanie, uziarnienie, abrazyjność – związana zwykle z udziałem krzemionki, wilgotność i inne, które znacząco wpływają na rodzaj zastosowanej kruszarki,
- wymagania technologiczne dotyczące produktu kruszenia: skład ziarnowy, maksymalny wymiar ziarna, parametry kształtu ziaren, udział klasy pylistej i inne,
- wydajność układu,
- rodzaj kruszarki (o dominacji obciążeń quasi statycznych, dynamicznych, lub inna),
- dostępność i warunki serwisu kruszarki,
- możliwości finansowe inwestora kruszarki,
- planowany okres eksploatacji kruszarki uwarunkowany: zasobnością złoża surowca, lub produkcją uziarnionego materiału syntetycznego, przewidywanym popytem na produkt kruszenia oraz prognozą kształtowania się kosztów eksploatacji kruszarki związanych z warunkami lokalnymi zakładu przeróbczego (cen energii, produktu kruszenia, pozostałych kosztów eksploatacji, w tym kosztów obsługi) [1],
- ewentualne dodatkowe zadanie technologiczne kruszarki, np. suszenie materiału.

W zależności od wymagań uziarnienia produktu rozdrabniania oraz nadawy, układ kruszenia może być jedno-, dwu- a nawet trójmaszynowy, utworzony z dobranych - odpowiednio do własności fizycznych rozdrabnianego materiału, kruszarek usytuowanych szeregowo.

Ze względu na wymagania technologiczne produktów rozdrabniania, najbardziej złożonymi układami kruszenia są układy technologiczne stosowane w przemyśle kruszyw naturalnych. Problematykę technologiczną układów kruszenia stosowanych w tym przemyśle podano w pracach [2, 3, 4, 5], a układów specjalnego rozdrabniania węgla [6]. Metody doboru kruszarek do układów kruszenia w aspekcie technologicznym podano w pracy [7].

Główne kryterium doboru układu kruszenia zawiera cel technologiczny, czyli wymagane uziarnienie produktu kruszenia, wydajność godzinową, zmianową, a w niektórych branżach również kształt ziaren. Cel ten powinien być uzyskany przy możliwie najmniejszych kosztach inwestycyjnych i eksploatacyjnych oraz możliwie najmniejszej szkodliwości oddziaływania na środowisko.

Przedmiotem pracy są zagadnienia układów kruszenia w aspekcie mechanicznym, czyli związane z ich budową oraz działaniem. Niewątpliwie budowa układu kruszenia ma również istotny wpływ na parametry technologiczne produktu kruszenia oraz techniczne i ekonomiczne zakładu przerobczego.

2. Klasyfikacja układów kruszenia

Podstawowy podział układów kruszenia uwzględnia możliwość przemieszczania się układu i wyróżnia układy [8, 9, 10, 11, 12]:

- stacjonarne – bez możliwości przemieszczania się (umieszczone na fundamentach),
- mobilne z własnym podwoziem gąsienicowym lub kołowym oraz zintegrowanym napędem do przemieszczania na terenie wyrobiska,
- semimobilne z podwoziem kołowym bez napędu, które do przemieszczania na terenie wyrobiska oraz po drogach publicznych wymaga ciągnika, lub samochodu,
- kontenerowe – przystosowane do transportu na specjalnych naczepach ciągnikowych.

Podział drugi klasyfikuje układy ze względu na liczbę stopni kruszenia, czyli kruszarek usytuowanych szeregowo w układzie. Są to układy: jedno-, dwu- a nawet trójstopniowe. Układy te nazywa się również odpowiednio: jedno-, dwu- oraz trójmaszynowe. Kolejny podział dotyczy sposobu dozowania nadawy do kruszarki i wyróżnia:

- dozowanie podajnikiem (przenośnikiem stalowo-członowym lub taśmowym) bez wstępnego odsiewania podziarna,
- dozowanie podajnikiem z wstępnym odsiewaniem podziarna – wyposażonym w ruszt zewnętrzny lub wbudowany w ustrój kruszarki,
- dozowanie ładowarką lub wozidłem najczęściej bezpośrednio do paszczy kruszarki, a w niektórych przypadkach przez ruszt.

Ważny podział dotyczy sposobu pracy pojedynczej kruszarki i wyróżnia układy:

- pracujące w cyklu otwartym bez klasyfikatora ziarnowego (przesiewacza),
- pracujące w cyklu otwartym z klasyfikatorem ziarnowym produktu kruszenia – jedno- lub kilku pokładowym przesiewaczem,
- pracujące w cyklu zamkniętym z klasyfikatorem ziarnowym - najczęściej jednopokładowym przesiewaczem oraz układem transportowym zawrotu nadziarna do ponownego kruszenia w kruszarce,
- pracujące w cyklu zamkniętym wyposażone w ruszt odsiewający podziarno z nadawy.

W praktyce wiele układów kruszenia użytkowanych jest jako dwu- i trójmaszynowe z różnymi wariantami pracy pojedynczej kruszarki, np. w układzie dwustopniowym pierwsza kruszarka może posiadać ruszt odsiewający i pracuje w cyklu otwartym, a kruszarka drugiego stopnia bez rusztu odsiewającego pracuje w cyklu zamkniętym.

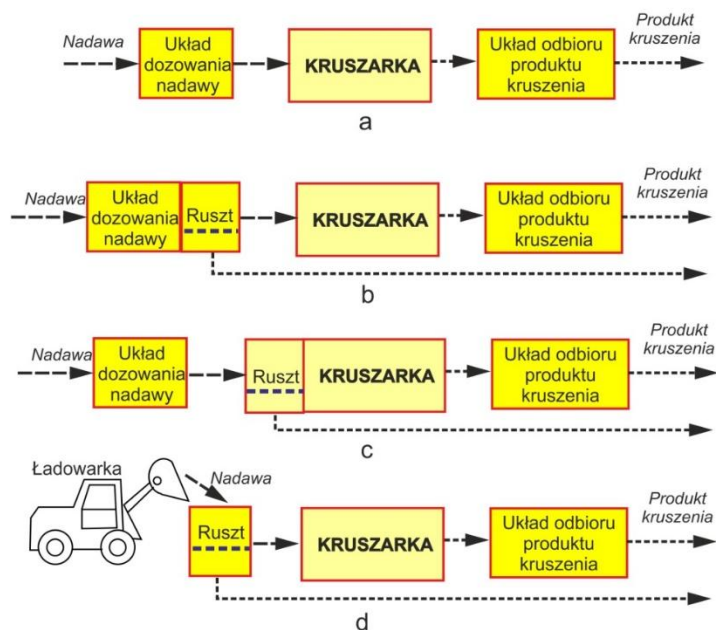
Ze względu na środowisko i warunki technologiczne procesu kruszenia wyróżnia się układy kruszenia z procesem rozdrabniania zachodzącym w:

- powietrzu – dominująca ilość,
- gazach suszących, czyli z jednoczesnym suszeniem,
- w wodzie [13],
- z uszlachetnianiem - kubizacją ziaren produktu kruszenia [4, 7],

- z wstępnym wzbogacaniem kruszonego materiału przez wydzielenie z niego ziaren zanieczyszczeń o innym kolorze [14], zwanym też wzbogacaniem optycznym.

3. Budowa układów kruszenia

Na rysunku 1 zamieszczono cztery warianty budowy najmniej skomplikowanych, jednostopniowych układów kruszenia – kruszarek pracujących w cyklu otwartym.



Rys. 1. Układy kruszenia jednostopniowego z kruszarkami pracującymi w cyklu otwartym:
 a – bez wstępnego klasyfikatora, b – z wstępnym klasyfikatorem – rusztem umieszczonym za podajnikiem nadawy lub z nim zintegrowanym, c – z rusztem wbudowanym w ustrój kruszarki, d – z odrębnym rusztem umieszczonym nad wlotem kruszarki, na który nadawa podawana jest przez ładowarkę

Rysunek 1 nie uwzględnia jeszcze dwóch wariantów układu kruszenia. Wariantu, w którym dozowanie nadawy odbywa się bezpośrednio z wozidła. Wariant ten stosowany jest w dozowaniu kruszarek stożkowych o dużej wydajności. Drugi wariant to układ, w którym oprócz procesu rozdrabniania występuje proces suszenia. Wówczas do strefy kruszenia podawane są gorące gazy z paleniska lub z innego źródła ciepła.

Na rysunku 2 zamieszczono dwa typowe układy kruszenia, w których kruszarki eksploatowane są w cyklu zamkniętym, czyli z klasyfikatorem ziarnowym – przesiewaczem. Podstawowa różnicą pomiędzy tymi układami polega na zastosowaniu (rys. 2b) wstępnego odsiewania podziarna z nadawy odprowadzanego zwykle do przesiewacza.



b

Na rysunku 3 zamieszczono układ jednostopniowego kruszenia zawierający najważniejsze układy pomocnicze kruszarki: zasilania energetycznego, automatycznego sterowania - UAS, smarowania oraz opcjonalnie odpylania i oczyszczania powietrza.



z pozostałymi układami pomocniczymi współpracującymi tylko z kruszarką

Na rysunku 3 pominięto system archiwizacji parametrów kruszarki oraz wszystkich urządzeń pomocniczych, a także układy sterowania pozostałymi układami pomocniczymi (dozowania nadawy, odbioru produktu kruszenia oraz transportu zawrotu – nadziarna).

Układ kruszenia przedstawiony na rysunku 3 stosowany jest głównie w układach stacjonarnych. Natomiast w układach mobilnych częściej stosowany jest układ kruszenia z odsiewem podziarna na odrębną hałdę.

Na przedstawionych wyżej rysunkach pominięto eksperymentalne układy kruszenia stosowane w technologiach: kruszenia na mokro [13], z młynami (prasami walcowymi HPGR), rozdrabniania SWE, ZSEE, odpadów komunalnych oraz z wstępnym wzbogacaniem materiału metodą optyczną [14].

Bardzo ważnym problemem jest zapewnienie dozowania nadawy do kruszarek o możliwie najmniejszych wahanach wydajności – przy dozowaniu wolumetrycznym, co ma największe znaczenie w pracy kruszarek z dominacją obciążeń dynamicznych, czyli kruszarek młotkowych, bijakowych oraz odśrodkowych, a także kruszarek stożkowych, zwłaszcza przy rozdrabnianiu materiałów o wytrzymałości na ściskanie powyżej 150 MPa.

Na podstawie własnych doświadczeń firma Metso stwierdziła, że najlepsze parametry jakościowe produktu rozdrabniania można otrzymać dzięki przestrzeganiu pewnych reguł eksploatacyjnych zwanych „złotymi regułami” [15]. Zasady te są znane użytkownikom kruszarek stożkowych, a ich stosowanie zapewnia właściwe wykorzystanie tych urządzeń oraz otrzymywanie produktów kruszenia wysokiej jakości.

Najważniejsze „złote reguły” to:

- wypełnienie komory kruszenia wraz ze stabilnym i ciągłym podawaniem nadawy,
- stabilne utrzymywanie w nadawie podziarna - materiału o wymiarze ziaren poniżej wymiaru szczeliny,
- zachowanie odpowiedniego i stabilnego wymiaru ziaren materiału podawanego na trzeci stopień kruszenia,
- właściwe rozprowadzenie nadawy do kruszarki,
- racjonalne ustawienie szczeliny w celu uzyskiwania wymaganej klasy ziarnowej produktu kruszenia.

Znaczną poprawę parametrów technologicznych w układach kruszenia uzyskuje się przez zastosowanie układów automatycznego sterowania, zwłaszcza do dozowania nadawy. Jest to szczególnie ważne w przypadku kruszarek udarowych (młotkowych, bijakowych i odśrodkowych). Układy te zapewniają minimalizację kosztów procesu kruszenia, zwłaszcza jednostkowego poboru energii oraz zapewniają stabilną pracę kruszarek przez dostosowanie wydajności podajnika dozującego nadawę do stanu obciążenia silnika kruszarki, przy zmiennym uziarnieniu oraz zmiennych własnościach fizycznych nadawy. Stabilne warunki pracy kruszarki zapewniają jednocześnie stabilne uziarnienie produktu kruszenia, co stanowi dodatkowo korzystny rezultat technologiczny.

4. Stacjonarne układy kruszenia

Stacjonarne układy kruszenia znajdują się zwykle w zadaszonych halach, a kruszarka i urządzenia pomocnicze użytkowane są na stałych fundamentach. Budowa stacjonarnego układu kruszenia uwarunkowana jest jego wydajnością, własnościami fizycznymi rozdrabnianego materiału, stopniem rozdrabniania (wstępny, średni, drobny), wymaganiami technologicznymi produktu kruszenia, lokalizacją układu (teren płaski, zbocze góry i inne), jego wyposażeniem, a także możliwościami ekonomicznymi inwestora.

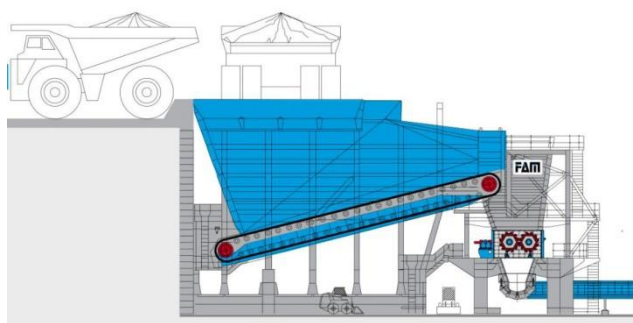
Układy stacjonarne stosowane są najczęściej w zakładach przeróbczych, do których nadawa sprowadzana jest z kilku kopalni lub złóż, a produkt kruszenia jest podawany do kolejnego procesu rozdrabniania – mielenia.

W układach stosowanych do wstępnego kruszenia wyróżnić można trzy rozwiązania różniące się sposobem dozowania nadawy do kruszarki, to jest:

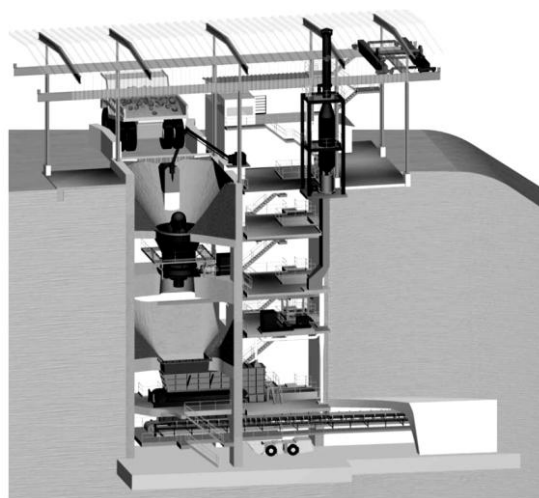
- dozowanie bezpośrednio do kruszarki (leja, paszczy) z samochodu, wozidła lub ładowarki – rozwiązanie stosowane przy kruszarkach szczękowych i stożkowych,
- dozowanie przez podajnik stalowo-członowy – stosowane w układach pierwszego stopnia kruszarek bijakowych i młotkowych,
- dozowanie z samochodu, wozidła lub ładowarki z wstępnym odsiewaniem nadziarna.

W układach kruszenia stosowanych na drugim lub trzecim stopniu rozdrabniania nadawa do kruszarki podawana jest najczęściej standardowym przenośnikiem taśmowym.

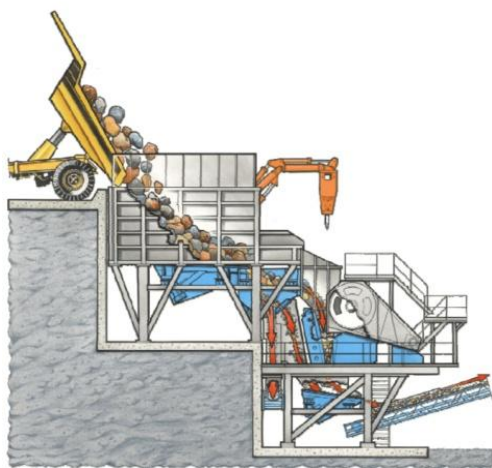
Przykłady rozwiązań konstrukcyjnych typowych stacjonarnych układów kruszenia zamieszczono na rysunkach 4÷7.



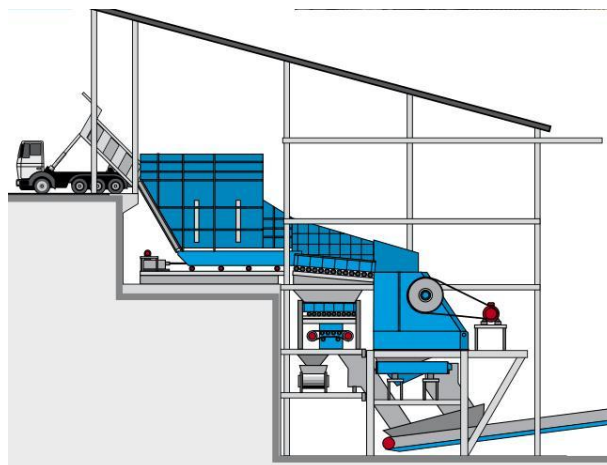
Rys. 4. Układ kruszenia bez wstępnego odsiewania z dozowaniem przenośnikiem stalowo-członowym firmy FAM [16]



Rys. 5. Układ kruszenia bez wstępnego odsiewania z dozowaniem wozidłem [17]



Rys. 6. Układ kruszenia z dozowaniem podajnikiem wibracyjnym i odsiewaniem nadziarna [18]



Rys. 7. Układ kruszenia z dozowaniem podajnikiem rynnowym i odsiewaniem nadziarna firmy FAM [16]

Dozowanie wolumetryczne nadawy przenośnikiem taśmowym nie jest dokładne, dlatego aby zapewnić stabilną pracę kruszarek, zwłaszcza kruszarek udarowych (młotkowych, bijakowych i odśrodkowych) zaleca się dozowanie nadawy podajnikiem wibracyjnym [8]. Zaletą tego podajnika jest łatwiejsza możliwość sterowania jego wydajnością do aktualnego obciążenia silnika kruszarki, dzięki temu można wykorzystywać bezpiecznie możliwości

technologiczne kruszarki, w szczególności stabilne uziarnienie produktu kruszenia, przy zmiennych własnościach fizycznych nadawy.

W ostatnich latach coraz częściej stosowane są kruszarki odśrodkowe. Przykłady rozwiązań konstrukcyjnych stacjonarnych układów kruszenia z kruszarką odśrodkową przedstawiono na rysunkach 8÷9. Są to układy firmy BHS Sonthofen, z których tego rodzaju układ (rys. 8) [19] zastosowano do kruszenia materiałów generujących niewielkie ilości pyłu, natomiast układ zamieszczony na rysunku 9 do kruszenia materiałów o dużej zawartości pyłu. W tym układzie, ze względu na silny efekt wentylatorowy - występujący w kruszarkach wirnikowych (młotkowych, bijakowych i odśrodkowych), zamiast klasycznego układu odpylania, zastosowano system cyrkulacji powietrza, który odprowadza pył z nad strefy kruszenia do przesypu na przenośnik taśmowy odbierający produkt kruszenia z kruszarki. Rozwiązanie to znacząco upraszcza układ kruszenia, obniża jego koszty. Najbardziej złożone układy kruszenia występują w produkcji kruszyw przeznaczonych do betonów, budowy dróg, jako wsad do pieców szybowych wypalających wapno palone oraz innych technologii. Najmniej złożone układy kruszenia stosuje się w przypadku, gdy produkt kruszenia poddawany jest mieleniu. Wówczas nieistotny jest kształt ziaren, ale głównie otrzymanie produktu kruszenia o jak najdrobniejszym uziarnieniu.

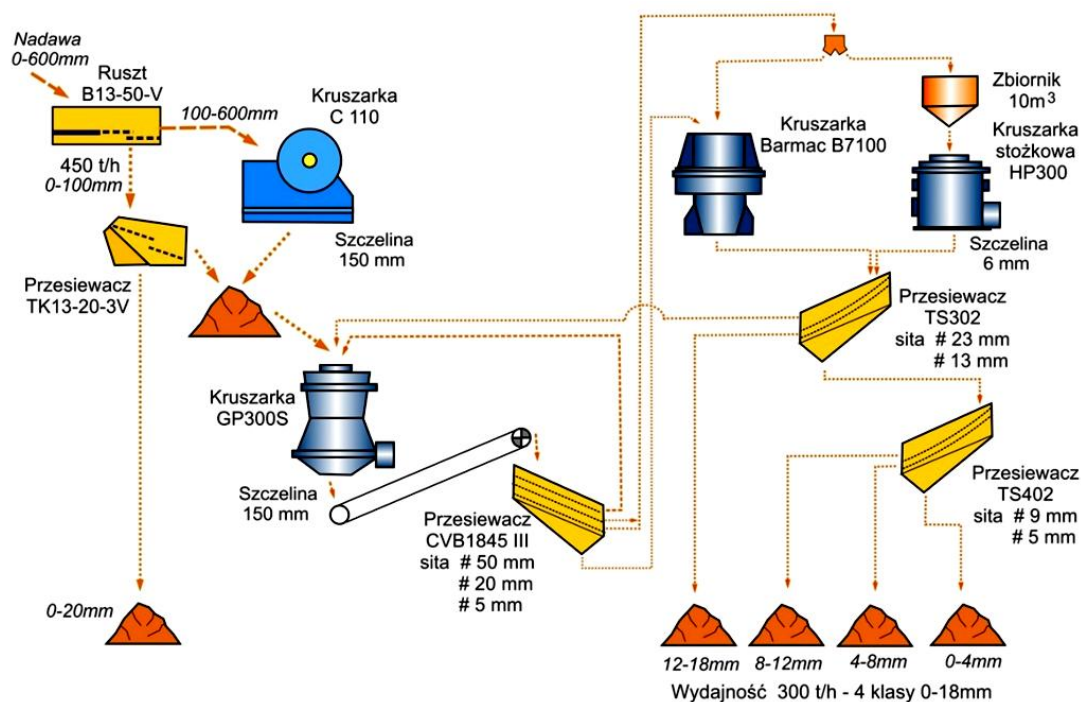


Rys. 8. Układ kruszenia kruszarki odśrodkowej z dozowaniem podajnikiem wibracyjnym bez odsiewania nadziarna [19]



Rys. 9. Układ kruszenia z dozowaniem przenośnikiem taśmowym i cyrkulacją zapyłonego powietrza [19]

Rysunek 10 przedstawia schemat układu przeróbczego do produkcji wysokiej jakości kruszywa z surowca o dużej wytrzymałości mechanicznej (około 250 MPa), o specjalnych wymaganiach odnośnie kształtu ziaren, to jest kruszywa do produkcji betonów specjalnych.



Rys. 10. Schemat budowy stacjonarnego układu krusząco-przesiewającego do wytwarzania kruszywa do produkcji betonu. Schemat opracowano na podstawie materiałów firmowych firmy Metso Minerals [12]

5. Mobilne, semimobilne i kontenerowe układy kruszenia

W ostatnich latach znacznie wzrosło zainteresowanie bardziej uniwersalnymi układami niestacjonarnymi. Są to w dominującej większości agregaty rozdrabniająco-klasyfikujące. Najczęściej nazywane są kruszarkami mobilnymi [9, 10], zestawami mobilnymi [7, 10, 11], sortująco-kruszącymi [11, 12] lub mobilnymi układami technologicznymi [13, 14]. Ich budowa wskazuje, że są to układy technologiczne tworzące jednolitą strukturę mechaniczną z wspólnym zasilaniem energetycznym, sterowaniem, przystosowane do przemieszczania w obrębie kopalni oraz pomiędzy kopalniami. Układy te nie mają fundamentów, a łatwą zmianę położenia umożliwia im własne podwozie, własny lub zewnętrzny napęd, lub tylko przystosowanie do transportu. W języku angielskim noszą nazwy: *mobile crushing plants*, lub *mobile crusher*, a w niemieckim: *Mobile Zerkleinerungsanlagen*.

Układy te dzięki korzystnym parametrom technologicznym, możliwości sterowania i regulacji parametrów technologicznych z kabiny operatora, łatwości automatyzacji, autonomicznemu układowi napędowemu (mobilne), który dodatkowo jest źródłem energii elektrycznej dla wszystkich zainstalowanych w nim maszyn, mobilności w obrębie wyrobiska oraz często możliwości eliminacji kosztownych wozideł, są w programach produkcyjnych niemal wszystkich producentów kruszarek. Ich wiodący producenci to: Metso (Lokotrack), firmy z grupy Metso: Sandvik i Nordberg, oraz Aubema, Amman, Atlas Copco, BHS Sonthofen, FLSmidth, Kleeman, MFL, McCloskey, PSP Engineering a.s., Terex, Thyssen-Krupp, a także firmy rosyjskie, chińskie, japońskie, koreańskie, hinduskie, z Republiki Południowej Afryki. W Polsce producentami tych agregatów są: KGHM Zanam S.A., Makrum S.A., Makrusz S.A. oraz Goster.

W skład typowego układu rozdrabniająco-klasyfikującego wchodzi:

- kruszarka (szczękowa, stożkowa, bijakowa, odśrodkowa i inne) – jako podstawowa maszyna technologiczna,
- dozownik nadawy – podajnik wibracyjny z koszem zasypowym, opcjonalnie z rusztem odsiewającym podziarno z nadawy,
- przesiewacz produktu kruszenia,
- agregat napędowy,
- konstrukcja wsporcza – rama,
- podwozie – gąsienicowe, kołowe,
- układ elektryczny,
- układ sterowania, kontroli i archiwizacji,
- przesypy, zsypy,
- opcjonalnie: separator magnetyczny, układ odpylania i inne.

Układy rozdrabniająco-klasyfikujące produkowane są w trzech wariantach, to jest jako [3, 10]:

- mobilne - kompletne agregaty z własnym podwoziem kołowym – przy mniejszych wydajnościach lub gąsienicowym przy średnich i dużych oraz własnym autonomicznym napędem i sterowaniem,
- semimobilne - kompletne agregaty z własnym podwoziem najczęściej kołowym, ale nie posiadające własnego napędu. W tych agregatach do zmiany lokalizacji wymagany jest dodatkowy napęd zwykle z ciągnika, przy czym agregaty te mogą być również transportowane po drogach publicznych,
- kontenerowe (kompaktowe) – zestawiane z jednej lub kilku maszyn przeróbczych, ze wspólnym zasilaniem i sterowaniem i usytuowane w naczepach ciągnikowych, przy czym do ich przemieszczania niezbędny jest ciągnik lub samochód.

Na rysunku 11 przedstawiono układ mobilny typ Lokotrack 1213S firmy Metso przystosowany do pracy kruszarki w zamkniętym cyklu kruszenia [16].



Rys. 11. Układ mobilny Lokotrack LT z kruszarką bijakową NP1213M [20]

Podstawowe parametry układu mobilnego Lokotrack LT: wydajność: 400 Mg/h, moc 310 kW, masa 40 Mg.

Największe wydajności, zainstalowane moce i masę mają układy mobilne produkowane na zamówienie do odkrywkowych kopalń węgla, rudy żelaza, rudy miedzi, piasków

roponośnych, osiągają wydajności od 3000 do 13 000 Mg/h, moce od 1000 do 3000 kW i masę od 250 do 800 Mg [9].

Na rysunku 12 zamieszczono mobilny układ do przeróbki węgla firmy Thyssen-Krupp Robins o wydajności około 10 000 Mg/h [21].



Rys. 12. Układ mobilny o dużej wydajności do przeróbki węgla [21]

Na rysunku 13 zamieszczono semimobilny zestaw firmy Metso NW 116 z kruszarką szczękową [22].

Podstawowe parametry zestawu semimobilnego firmy Metso NW 116 z kruszarką szczękową: wydajność: 520 Mg/h, moc 132 kW, masa 41,3 Mg.

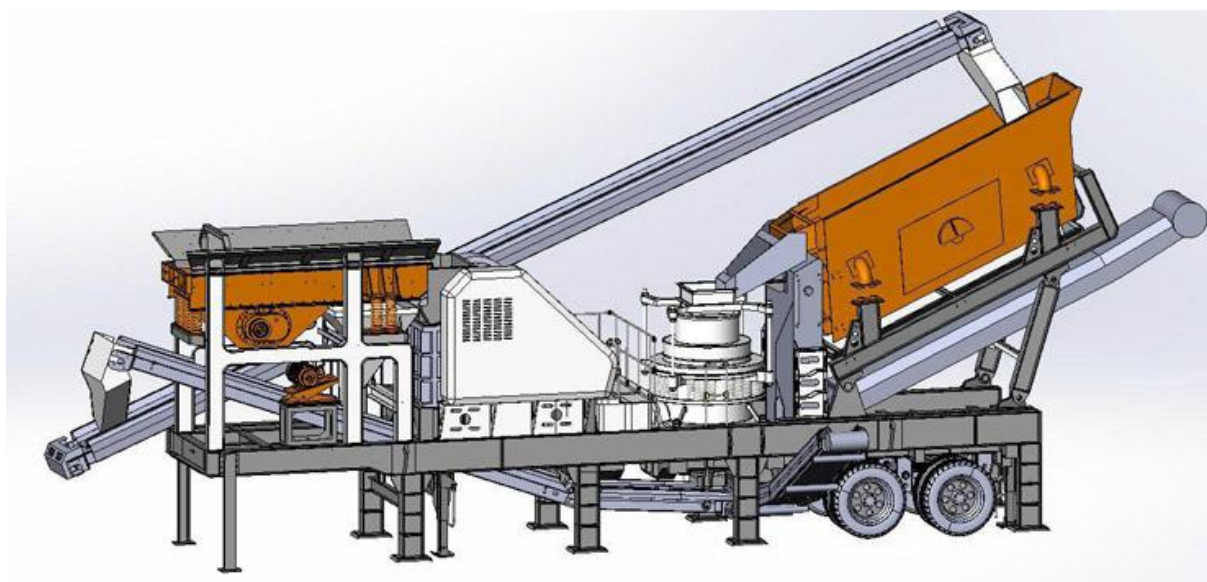


Rys. 13. Semimobilny układ kruszenia firmy Metso NW116 z kruszarką szczękową [22]

W wyżej wymienionych agregatach umieszcza się niemal wszystkie rodzaje kruszarek, to jest szczękowe, stożkowe, młotkowe, bijakowe i odśrodkowe (z wałem pionowym). Agregaty

te produkowane są jako kruszarki wstępne o szerokim zakresie wydajności od ponad 100 Mg/h do około 1500 Mg/h. Masa największych agregatów mobilnych produkowanych seryjnie dla potrzeb przemysłu kruszyw mineralnych wynosi 400 Mg, a zainstalowana moc 580 kW [22].

Na rysunku 14 zamieszczono oryginalne rozwiązanie zestawu dwóch kruszarek szczękowej i stożkowej w wersji semimobilnej, przeznaczonych do kruszenia materiałów o wytrzymałości na ściskanie powyżej 200 MPa, o niewielkiej wydajności 30-50 Mg/h, dużym stopniu rozdrobnienia z pracą w cyklu zamkniętym [24].



Rys. 14. Semimobilny układ kruszenia dwoma kruszarkami [24]

Najważniejszą zaletą tych agregatów jest mobilność, czyli możliwość stosunkowo szybkiego przemieszczania w obrębie wyrobiska, w szczególności możliwość przeróbki mechanicznej kruszywa w pobliżu ściany wydobywczej, bez kosztownego urządzenia transportu technologicznego, czyli wozideł. Agregaty mobilne można stosować na pierwszym, drugim i trzecim stopniu rozdrabniania. Dzięki łatwej i szybkiej możliwości zmian parametrów kruszarek można najkorzystniej zmieniać udziały poszczególnych klas ziarnowych kruszyw. Stosowane do napędu układów silniki spalinowe o zapłonie samoczynnym i dużej mocy są przyjazne dla środowiska dzięki spełnieniu aktualnych norm emisji spalin, obowiązujących dla silników towarowego transportu publicznego.

Odrębną grupę, znacznie mniejszą ilościowo oraz o znacząco mniejszej wydajności od klasycznych układów mobilnych i semimobilnych, stanowią układy kontenerowe zwane również kompaktowymi. Produkowane są przez wiele firm, a w Polsce przez firmy: KGHM Zanam S.A., Makrum S.A., Goster, Lento. Układy te szczególnie są przydatne dla zakładów przerobczych o wydajności nie przekraczającej 100 Mg/h.

Na rysunku 15 zamieszczono układ kontenerowy firmy KGHM Zanam S.A., typ KKL50GE/KKL50E, przeznaczony do przeróbki mechanicznej surowców mineralnych i gruzu budowlanego [25].



Rys. 15. Układ mobilny o dużej wydajności do przeróbki gruzu budowlanego i granitu [25]

Wydajność układu (rys. 15) wynosi do $34 \text{ m}^3/\text{h}$ – przy rozdrabnianiu gruzu budowlanego oraz do $24 \text{ m}^3/\text{h}$ – przy rozdrabnianiu granitu, przy zainstalowanej mocy 90 kW oraz masie 22 Mg [26].

6. Podsumowanie

W ostatnich latach można zaobserwować rozwój układów przeróbczych krusząco-przesiewających, przy czym najszybszy rozwój dotyczy układów mobilnych, semimobilnych i kontenerowych.

Najbardziej złożone są układy stacjonarne przeznaczone do produkcji kruszyw z materiałów o wytrzymałości na ściskanie powyżej 200 MPa przeznaczonych do produkcji betonu oraz budowli inżynierskich, dróg, lotnisk.

Szybszy rozwój układów mobilnych spowodowany jest możliwością obniżenia kosztów transportu przez łatwe i szybkie ich przemieszczanie pod eksploatawaną ścianę wydobywczą. Dzięki temu w kopalni można wyeliminować transport kołowy. Mobilna linia kruszenia może być zestawiana z dwóch, a nawet trzech niezależnych układów mobilnych o szerokim zakresie wydajności oraz szerokim zakresem możliwości technologicznych.

Podstawową zaletą układów mobilnych, semimobilnych i kontenerowych jest ich zwarta konstrukcja, jedna konsola operatora, do sterowania i monitorowania parametrów technologicznych i eksploatacyjnych układu, takich jak: wymiar szczeliny wylotowej kruszarki szczękowej lub stożkowej, chwilowa wydajność kruszarki, parametry eksploatacyjne silnika spalinowego i układu elektrycznego oraz sterowania generowane przez układ automatycznego sterowania. Rozwiązanie to zmniejsza liczebność, a tym samym koszty personelu obsługi.

W wielu przypadkach koszty inwestycji drogowych można obniżyć przez zmniejszenie kosztów transportu kruszyw z odległości powyżej kilkudziesięciu kilometrów. Można to uzyskać przez wykorzystanie kruszyw z lokalnych złóż, dzięki szybkiemu przemieszczeniu układu mobilnego z innej, bardziej odległej kopalni i przystosowaniu go do eksploatacji w ciągu jednej lub dwóch zmian, a po zakończeniu inwestycji szybkie przemieszczenie na kolejną inwestycję drogową.

Układy semimobilne, a w szczególności zestawy kontenerowe, są mniej złożone od mobilnych, cechują się mniejszymi kosztami inwestycyjnymi i są bardzo przydatne dla mniejszych i małych firm, które mogą je eksploatować nie tylko jako właściciele, lecz także w leasingu, co ma szczególne znaczenie w mniejszych lokalnych inwestycjach, czy podczas przeróbki gruzu budowlanego.

Literatura

- [1] Kawalec P.: Podstawa doboru maszyn czyli kosztowa i technologiczna ocena układu produkcyjnego. Surowce i Maszyny Budowlane. Nr 4-5, 2017, s. 74-77
- [2] Nowak A., Gawenda T.: Analiza porównawcza kruszarek w wielostadialnych układach rozdrabniania skał bazaltowych. Górnictwo i Geoinżynieria. R. 30 Z. 3/1 2006, s. 267-278
- [3] Gawenda T.: Analiza porównawcza mobilnych i stacjonarnych układów technologicznych przesiewania i kruszenia. Annual Set The Environment Protection Rocznik Ochrona Środowiska. Vol. 15. 2013 s. 1318–1335
- [4] Gawenda T.: Innowacyjne technologie produkcji kruszyw o ziarnach foremnych. Mining Science – Mineral Aggregates, vol. 22(1), 2015, s. 45–59
- [5] Gawenda T.: Produkcja surowców mineralnych o wąskim zakresie uziarnienia w dwustadialnym zamkniętym układzie rozdrabniania i klasyfikacji. Górnictwo i Geologia T. 6 Z. 2 2011, s. 40-48
- [6] Malewski J.: Analiza kruszenia rudy w ZWR Lubin. Mining Science – Mineral Aggregates, vol. 22, 2015, s. 111–115
- [7] Gawenda T.: Zasady doboru kruszarek oraz układów technologicznych w produkcji kruszyw. Rozprawy Monografie Nr 304. Wydawnictwa AGH Kraków 2015
- [8] Wodziński P.: Przeróbka kopalin mineralnych w zestawach mobilnych. Surowce i Maszyny Budowlane. Nr 2. 2009, s. 49-53
- [9] Antoniuk J.: System kruszenia i odstawy przenośnikowej w kopalni odkrywkowej surowców zwięzłych. Surowce i Maszyny Budowlane Nr 7 2009 s. 76-79
- [10] Mazur M.: Przegląd konstrukcji zestawów kruszących wykorzystywanych w produkcji surowców drogowych. Górnictwo Odkrywkowe 2010 Nr 1 s. 29-33
- [11] Feliks J., Mazur M.: Mobilne zestawy do produkcji surowców skalnych. Monografia „Problemy eksploatacji i zarządzania w górnictwie”. Red. K. Krauze. AGH Kraków 2017 s. 115-123
- [12] Crushing and Screening Handbook. Metso Minerals Brochure No. 2051-09-06-CSR/Tampere-English. 2009
- [13] Water Flush Crushing: moka <https://books.google.pl/books>
- [14] Kołacz J.: Nowoczesne kompleksowe metody przeróbki surowców mineralnych. www.easyfairs.com/uploads/tx_ef/P-B-2013-comex.pdf (02.03.2018)
- [15] Mrowiec M.: Nowe podejście do optymalizacji pracy kruszarek stożkowych. Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej Nr 134, 2012, Studia i Materiały Nr 41 s. 201-208
- [16] FAM Mineral Processing Plants. FAM118_E_12_11_27_the-red-point.dw. www.fam.de (02.03.2018)
- [17] Boyd K.: Crushing Plant Design and Layout Considerations www.china-sand-maker.com/propdf2/20160118014727557.pdf
- [18] <https://www.911metallurgist.com/blog/primary-crusher-selection> (02.03.2018)
- [19] <http://www.directindustry.com/prod/bhs-sonthofen/product-61414-1143515.html> (02.03.2018)

- [20] Lokotrack Mobile crushing plants for contractors. Brochure No. 1127-03-09-CBL
- [21] <http://www.thyssenkrupp-industries-india.com/Products/Mhe/OCME/Mobile-Crushing-Plants.aspx>
- [22] Subject to alteration without prior notice, Brochure No. 3105-12-16-AGG/Tampere-English
- [23] Maszyny do Przetwarzania Surowców Skalnych i Recyklingu. Kleemann GmbH. Wersja 2015-7 <https://media.wirtgen-group.com> (02.03.2018)
- [24] <http://www.hsicrusher.com/30-50-tph-small-mobile-crusher-station/>
- [25] <http://www.kghmzanam.com/produkty/kruszarki/kruszarki-03/kkl50ge> (02.03.2018)

*Powyższy artykuł jest przedrukiem z materiałów konferencyjnych KOMEKO 2018 -
19. Konferencji Naukowo-Technicznej
Innowacyjne i Przyjazne dla Środowiska Techniki i Technologie
Przeróbki Surowców Mineralnych BEZPIECZEŃSTWO – JAKOŚĆ – EFEKTYWNOŚĆ*

Czy wiesz, że

...ceny surowców na świecie są coraz wyższe. Wskaźniki kapitałowe firm wydobywczych ostro wzrosły od początku 2018 roku. Rosną również, po raz pierwszy od pięciu lat, kwoty przeznaczone w budżetach na prace geologiczno-poszukiwawcze, kończąc długi okres spadków w przemyśle produkującym maszyny i urządzenia dla branży. Dzieje się tak przy wciąż utrzymujących się wysokich kosztach i silnej konkurencji na rynkach. Węgiel, którego wydobycie w roku 2017 wyniosło 6900 mln ton, pozostaje niekwestionowanym liderem wśród wydobywanych surowców. Jednak jego przyszłość jest niepewna ze względu na dyskusje wokół zmian klimatycznych na ziemi. Niemniej jednak, globalny wzrost zapotrzebowania na surowce, wobec osiągania granic produktywności istniejących kopalń, wskazuje na konieczność realizacji nowych projektów wydobywczych.

AT Mineral Processing 2018 nr 4 s.54-65

Wzbogacalniki strumieniowo-zwojowe do wydzielenia substancji węglowych z miałow

mgr inż. Paweł Friebe
Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Stream-and-spiral separators for recovery of coal from coal fines

Streszczenie:

W artykule przedstawiono charakterystykę procesu wzbogacania na wzbogacalnikach strumieniowo-zwojowych, omówiono zasadę działania wzbogacalnika, w szczególności siły działające na ziarno płynące w korycie zwojowym. Dokonano przeglądu aktualnie stosowanych wzbogacalników strumieniowo-zwojowych oraz przedstawiono koncepcję wzbogacalnika strumieniowo-zwojowego typu KOMAG. Zaprezentowano schematy technologiczne ciągów technologicznych z wykorzystaniem wzbogacalników strumieniowo-zwojowych, w polskich warunkach, dla węzłów: osadzarkowego i flotacyjnego.

Abstract:

Characteristics of beneficiation process in stream-and-spiral separators is presented. Principle of the separator operation, especially the forces acting on grains flowing in a spiral trough is discussed. Currently used stream-and-spiral separators are reviewed and a concept of KOMAG stream-and-spiral separator is presented. Diagrams of technological lines of the process with use of stream-and-spiral separators in Polish conditions for jig and flotation nodes are given.

Słowa kluczowe: górnictwo, przeróbka mechaniczna węgla, wzbogacanie, wzbogacalniki strumieniowo-zwojowe

Keywords: mining industry, coal mechanical processing, beneficiation, stream-and-spiral separators

1. Wprowadzenie

Wzbogacalniki strumieniowo-zwojowe stosowane się do separacji ziaren surowego węgla lub produktu przejściowego, wytworzonego podczas innego procesu.

Wykorzystują one różnice między gęstością wzbogaczanych ziaren kopaliny, co w efekcie pozwala rozdzielić materiał. W zależności od wymaganego składnika w koncentracie, ziarna o mniejszej lub ziarna o większej gęstości kierowane są do procesu. Rozdział ziaren o różnej gęstości przebiega w strumieniu wody roboczej, który przepływa z określoną prędkością.

Głównym czynnikiem wpływającym na rozdział ziaren nadawcy jest grawitacyjna klasyfikacja hydrauliczna. Czynnikiem ten osiąga największą skuteczność w przypadku materiałów drobno i bardzo drobno uziarnionych.

2. Charakterystyka ruchu drobin materiału we wzbogacalniku strumieniowo-zwojowym

Zawiesina porusza się wzdłuż koryta ruchem złożonym. Można wyróżnić dwa składowe ruchy cieczy:

- ruch śrubowy wynikający z promienia zakrzywienia koryta i skoku linii śrubowej,
- ruch w płaszczyźnie prostopadłej do powierzchni koryta, poprowadzonej przez środek krzywizny koryta, w wyniku którego zmienia się głębokość strumienia zawiesziny na przekroju koryta.

Na ziarno wzbogacanego materiału działają następujące siły:

- ciężkości,
- odśrodkowa,
- naporu hydrodynamicznego wody roboczej,
- tarcia ziaren po powierzchni koryta,
- reakcja koryta.

Wartość siły odśrodkowej jest uzależniona od masy drobiny i kwadratu prędkości, która z kolei rośnie wraz z odległością ziarna od osi koryta.

Siła naporu hydrodynamicznego jest uzależniona od rodzaju przepływu wody roboczej, od różnicy prędkości strumienia wody roboczej i prędkości ziarna, jego rozmiarów i gęstości zawiesiny. W przepływie nieustalonym, odbywającym się w części koryta położonej bliżej osi wzbogacalnika, na wartość naporu hydrodynamicznego ma wpływ również lepkość zawiesiny.

Na wartość siły tarcia ziaren po dnie koryta roboczego ma wpływ współczynnik tarcia, masa ziarna i kąt pomiędzy normalną do koryta w miejscu styku ziarna z korytem, a pionem oraz kąt pochylenia stycznej do powierzchni koryta, mierzony w płaszczyźnie przekroju normalnego koryta.

W ruchu dowolnego ziarna w korycie wzbogacalnika strumieniowo-zwojowego wyróżnia się dwa okresy.

Okres początkowy charakteryzujący się tym, że układ sił działających na ziarno nie jest w równowadze, co skutkuje nieustalonym ruchem ziarna, zarówno w płaszczyźnie przekroju normalnego koryta, jak również wzdłuż koryta. Czas trwania tego okresu zależy od fizycznych właściwości ziaren.

Okres ruchu ustalonego, charakteryzującego się tym że układ sił działających na ziarno jest w równowadze. W związku z tym ziarno, porusza się ze stałą prędkością po torze w kształcie linii śrubowej o stałej krzywiznie.

W przypadku ziaren o dużej gęstości położenie, w którym siły działające na ziarno są w równowadze występuje bliżej osi wzbogacalnika, gdzie kąt nachylenia linii śrubowej jest większy. Ziarna poruszają się z mniejszą prędkością gdyż wypadkowa siła naporu hydrodynamicznego oraz składowa styczna siły ciężkości są mniejsze od siły tarcia.

Równowaga sił działających na ziarno o mniejszej gęstości zwykle występuje w większej odległości od osi wzbogacalnika, gdzie kąt nachylenia linii śrubowej jest mniejszy. Drobinę posiadają większą prędkość gdyż na ruch ziarna większy wpływ ma siła odśrodkowa i siła naporu hydrodynamicznego niż ciężar.

3. Przegląd stosowanych wzbogacalników strumieniowo-zwojowych

3.1 Wzbogacalnik Reichert LD4

Wzbogacalnik ten jest stosowany w przypadku drobno uziarnionego węgla od 0,1 mm do 3,2 mm. Stosuje się zawiesinę o zagęszczeniu najczęściej 45% części stałych (wagowo). Optymalne zagęszczenie wyznacza się doświadczalnie. Koryta robocze mają poprzeczny przekrój typu Wyong i w związku z powyższym nie posiadają odbieralników produktów

ciężkich rozmieszczonych w dnie. Najczęściej spotykana konstrukcja wzbogacalnika Reichert LD4 składa się z czterech potrójnych koryt roboczych („triple start”), zamontowanych w konstrukcji nośnej. Podstawowe parametry techniczne urządzenia to: liczba zwojów: – 6, wysokość spirali – 2500 mm, promień spirali: – 450 mm, szerokość zwojów – 280 mm, nachylenie zwojów – 15°.

Działanie wzbogacalnika przebiega w następujący sposób. Nadawę węgla surowego lub produktu przejściowego o uziarnieniu podanym powyżej podaje się do dozownika, z którego przepływa ona do rozdzielacza. Nadawę można również podać od dołu do pionowej rury zasilającej, która doprowadza ją do dozownika i rozdzielacza. Z rozdzielacza zawiesina spływa dwunastoma, giętkimi przewodami równocześnie do wszystkich koryt roboczych, poprzez skrzynki nadawcze. W korytach roboczych następuje rozdział materiału na strugi ułożone według gęstości, od najcięższych, zlokalizowanych blisko osi koryta do najlżejszych, najbardziej oddalonych od osi koryta. Produkty wzbogacania odbierane są do skrzynek odbiorczych u wylotów koryt roboczych. Ponieważ wzbogacalnik umożliwia trójproduktowe wzbogacanie węgla, skrzynki odbiorcze podzielone są na trzy komory, do których odbiera się wydzielone produkty wzbogacania: koncentrat, produkt pośredni oraz odpady.

3.2 Wzbogacalnik Krebs typu SWMS

Rozwiązanie konstrukcyjne wzbogacalnika Krebs typu SWMS to w pierwszym stopniu wzbogacania „double start” – dwie rynny zwinięte śrubowo wokół jednej osi (wlot drugiej rynny jest przesunięty w dół) po czym przechodzi w „single start” w drugim stopniu wzbogacania. Wydajność wzbogacalnika to 3 – 5 Mg/h przy zagęszczeniu 300 – 450 g/dm³. Największą efektywność procesu separacji ziaren urządzenie to osiąga, wzbogacając materiał w klasie ziarnowej 1 – 0,125 mm lub węższej.

Wzbogacalniki te są produkowane osobno lub w modułach wyposażonych, w dodatkowe spirale drugiego stopnia poniżej spirali pierwotnych (Krebs). Rozwiązanie to umożliwia uzyskanie dodatkowego koncentratu poprzez ponowną separację produktu pośredniego.

Oferowany jest szeroki zakres wielkości jednostek modułów do wzbogacania węgla o różnych wydajnościach.

3.3 Wzbogacalniki Multotec SX4, MX7, SX7

Rozwiązania wzbogacalników strumieniowo-zwojowych firmy Multotec posiadają średnicę 1000 mm, zabudowane są w konfiguracji pojedynczej, podwójnej lub potrójnej rynny („single, double lub triple start”). Liczbę rynien dobiera się w zależności od wymaganej wydajności zespołu.

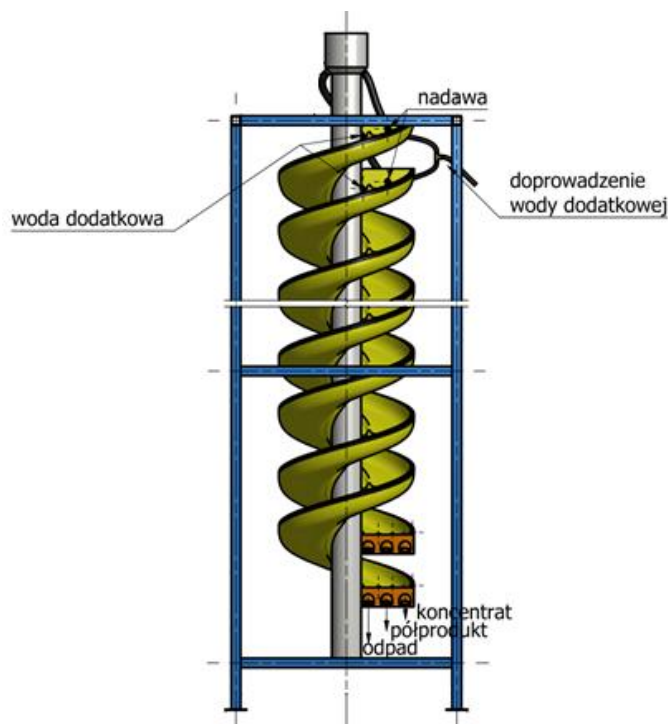
Rozwiązania jednostopniowe SX4 (4 zwoje), jak i dwustopniowe MX7 oraz SX7 (7 zwoi), opracowano do wzbogacania węgla o uziarnieniu 2 – 0,1 mm. Wzbogacalniki dwustopniowe MX7 oraz SX7 składają się z dwóch spiral połączonych w jeden zespół. Takie rozwiązanie skutkuje zmniejszeniem wysokości konstrukcji i umożliwia umieszczenie urządzenia w budynkach, gdzie inne rozwiązania wzbogacalników dwustopniowych nie byłyby możliwe do zabudowania.

Wzbogacalniki SX7 i MX7 różnią się pod względem konstrukcji jednym elementem. Jest to kanał do odprowadzania produktu ciężkiego, zabudowany w rynnie/rynnach urządzenia typu MX7, którego brak jest w urządzeniu typu SX7.

Separatory jednostopniowe SX4 służą do rozdziału miałow węglowych o niskiej trudności wzbogacania, a separatory SX7 oraz MX7 stosuje się do miałow węglowych, wymagających większego czasu przepływu przez wzbogacalnik (trudniej rozdzielających się), z możliwością wcześniejszego odbioru produktu cięższego za pomocą kanału umiejscowionego w wewnętrznej części rynny (tylko MX7).

4. Wzbogacalnik strumieniowo-zwojowy typu KOMAG

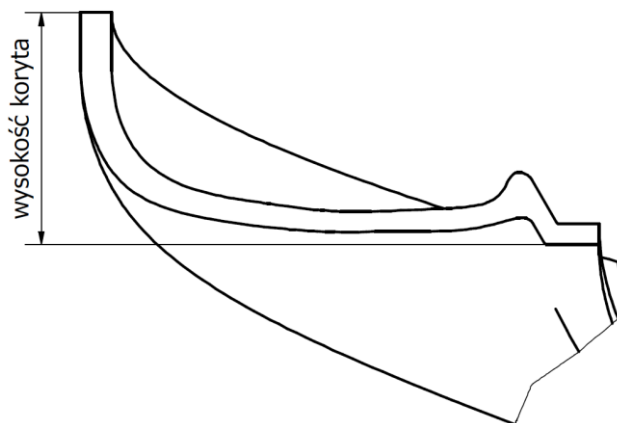
Urządzenie to zaprojektowano w ITG KOMAG, w pracy statutowej pt. „Projekt wstępny wzbogacalnika strumieniowo-zwojowego typu KOMAG na potrzeby polskich zakładów przeróbki mechanicznej”. Wzbogacalnik przeznaczony jest do wzbogacania surowego węgla lub produktu pośredniego. Podczas konstruowania wzbogacalnika zwrócono szczególną uwagę na możliwość osiągnięcia jak największego udziału substancji palnej w koncentracie, przy akceptowalnych stratach węgla w odpadach. Na rysunku 1 zaprezentowano widok ww. wzbogacalnika.



Rys. 1. Widok wzbogacalnika strumieniowo-zwojowego typu KOMAG [7]

Na rysunku 2 przedstawiono widok profilu koryta roboczego. Zastosowano kształt eliptyczny profilu, o dużym promieniu zaokrąglenia.

Zawieszina poruszająca się w korycie o ww. kształcie profilu będzie charakteryzować się większą prędkością przepływu oraz większą wysokością, bliżej zewnętrznej części rynny (na rysunku część lewa) oraz mniejszą prędkość przy wewnętrznej części rynny.



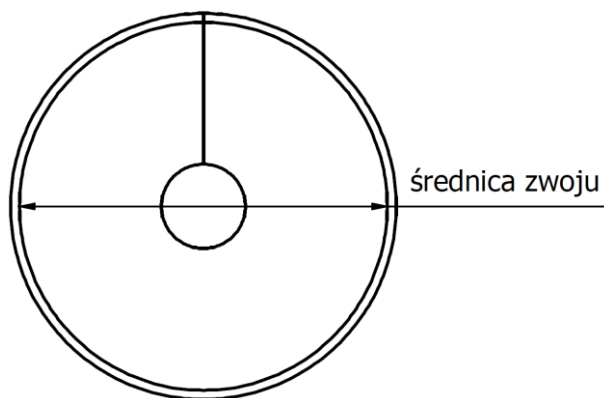
Rys. 2. Widok profilu koryta roboczego [opracowanie własne]

Doboru górnej powierzchni koryta roboczego dokonano na podstawie dotychczasowych doświadczeń, według których najlepsze wyniki wzbogacania uzyskuje się we wzbogacalnikach o płaskiej powierzchni. Na rysunku 3 zaprezentowano obraz ilustrujący gładką powierzchnię rynny roboczej w strefie przepływu materiału.



Rys. 3. Widok górnej powierzchni koryta roboczego [6]

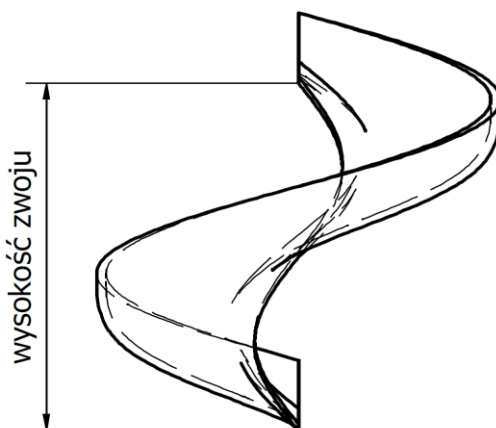
Średnice zwojów koryta roboczego wynoszą między 250 mm, a 1250 mm, w zależności od założonej charakterystyki nadawy [1]. Dla grubo uziarnionych minerałów ciężkich stosuje się większe średnice, a do minerałów lekkich i drobno uziarnionych mniejsze średnice. Wzbogacalnik strumieniowo-zwojowy typu KOMAG posiada średnicę 610 mm. Na rysunku 4 zaprezentowano widok pojedynczego zwoju z góry.



Rys. 4. Widok pojedynczego zwoju z góry [opracowanie własne]

Kąt nachylenia linii śrubowej zależy od kąta tarcia ziaren materiału na powierzchnię roboczą koryta. Według literatury „Na podstawie wielu przeprowadzonych badań ustalono, że najkorzystniejszy kąt nachylenia linii śrubowej mieści się w przedziale 16° do 20° ” [1]. W rozwiązaniu KOMAG-u przyjęto wartość tego kąta, wynoszącą 16° , uwzględniając małą chropowatość powierzchni węgla w porównaniu do chropowatości ziaren innych minerałów wzbogacanych we wzbogacalnikach strumieniowo-zwojowych.

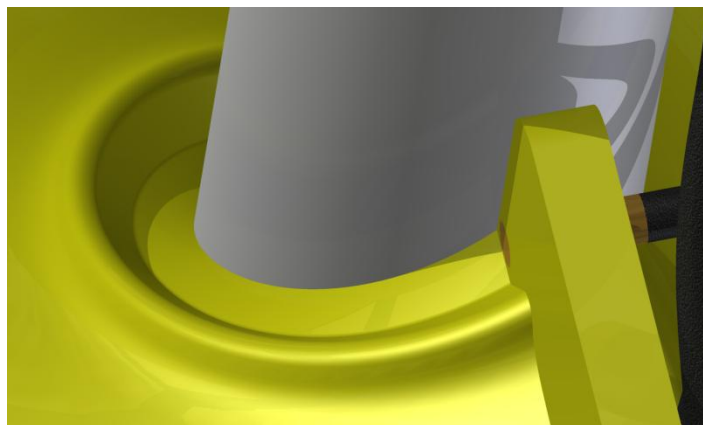
Na rysunku 5 zaprezentowano widok pojedynczego zwoju z boku. Wysokość pojedynczego zwoju obliczono na podstawie wcześniej wyznaczonego kąta nachylenia linii śrubowej, z zależności pomiędzy wysokością spirali, obwodem widoku z góry spirali oraz kątem nachylenia linii śrubowej spirali. W przypadku założonej średnicy 610 mm oraz kąta 16° wysokość spirali wynosi 550 mm [7].



Rys. 5. Widok pojedynczego zwoju z boku [opracowanie własne]

Formowanie się materiału w strudze o różnej gęstości następuje już w obrębie pierwszego i drugiego zwoju. W przypadku wzbogacania węgla zawierającego ziarna odpadowe o większej gęstości zwiększa się liczbę zwoi. We wzbogacalniku strumieniowo-zwojowym typu KOMAG zastosowano 5 zwojów. Wykorzystano tu tzw. „double start” – wzbogacalnik ten posiada zabudowane 2 rynnny robocze, co skutkuje 2-krotnym wzrostem wydajności w porównaniu do rozwiązań „single start”. Uwzględniono również podawanie dodatkowej wody roboczej za pomocą kanału znajdującego się po wewnętrznej stronie koryta roboczego. Dostarczenie wody następuje od góry pierwszego zwoju.

Na rysunku 6 zaprezentowano widok kanału dodatkowej wody roboczej.



Rys. 6. Widok kanału dodatkowej wody roboczej [6]

W zależności od wymagań odbiorcy możliwe jest zastosowanie maksymalnie 3 rynien roboczych wewnątrz pojedynczego wzbogacalnika („triple start”) oraz połączenie wzbogacalników w 4 lub 6 zespołów. Zastosowanie wielu rynien roboczych oraz połączenie ich w zespoły, umożliwi zwiększenie wydajności systemu, przy mniejszych gabarytach przestrzennych.

5. Możliwości wykorzystania wzbogacalników strumieniowo-zwojowych do wydzielenia substancji węglowych z miałów

Stosowane aktualnie technologie wzbogacania węgla kamiennego w wielu polskich zakładach przeróbczych posiadają wady, polegające na wzbogacaniu nadawy o zbyt dużej zawartości najdrobniejszych klas ziarnowych oraz czasowych przeciążeniach urządzeń.

W niniejszej publikacji przedstawiono koncepcje rozwiązań z wykorzystaniem wzbogacalników strumieniowo-zwojowych, pozwalające znacząco zmniejszyć wpływ ww. wad.

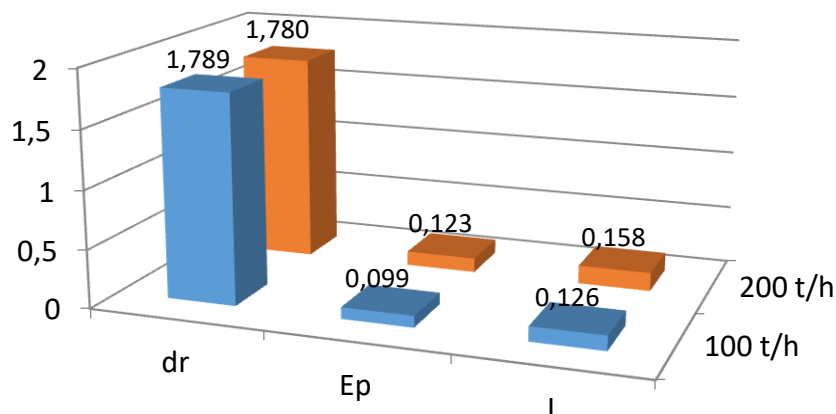
Stosowanie nadawy o zbyt dużej zawartości najmniejszych ziaren w urządzeniach powoduje zmniejszoną skuteczność procesu wzbogacania. Wynika to ze zjawiska losowego przedostawania się najdrobniejszych ziaren między produktami. Rozwiązaniem tego problemu będzie oddzielenie klasy ziarnowej zaburzającej proces i skierowanie jej do wzbogacania w urządzeniu do tego przystosowanym np. wzbogacalniku strumieniowo-zwojowym.

Z kolei czasowe przekroczenie maksymalnej wydajności urządzeń skutkuje obniżeniem parametrów jakościowych produktów. Proces wzbogacania wymaga określonego, minimalnego czasu przebywania materiału w urządzeniu, tak aby mógł nastąpić rozdział według gęstości, bądź w niektórych przypadkach wg rozmiaru ziaren. Zbyt krótki czas przebywania materiału skutkuje przechodzeniem ziaren odpadowych do koncentratu i odwrotnie [5]. Węzły technologiczne narażone na czasowe przeciążenie można zatem wyposażyć w nitkę technologiczną, uruchamianą w razie potrzeby, zawierającą urządzenie klasyfikujące, oddzielające najdrobniejsze frakcje, które kierowane są do wzbogacania w innym urządzeniu, np. wzbogacalniku strumieniowo-zwojowym. Odciażając urządzenie i jednocześnie zawężając wzbogacane klasy ziarnowe, uzyskuje się wyższą skuteczność procesu.

5.1. Wprowadzenie wzbogacalników strumieniowo-zwojowych do węzła osadzarkowego

Nadmierne obciążenie nadawą skutkuje znacznym obniżeniem sprawności osadzarki, co z kolei wpływa na pogorszenie parametrów produktów. Zbyt duża ilość materiału skutkuje niskim rozluźowaniem, co utrudnia utworzenie się warstw według gęstości.

Wyniki wtórnego wzbogacania półproduktu w osadzarce OM 12L3E przedstawiono na rysunku 7 oraz w tabeli 1.



Rys. 7. Zależność skuteczności wzbogacania od obciążenia urządzenia [opracowanie własne]

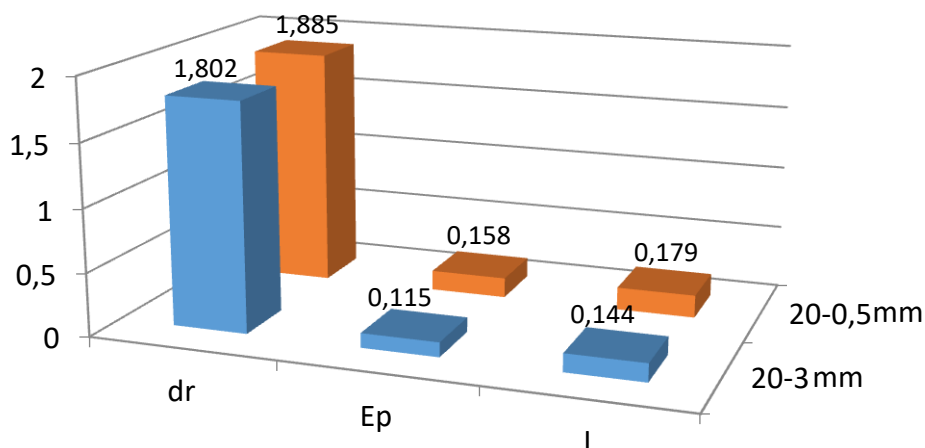
Zależność skuteczności wzbogacania od obciążenia urządzenia [3]

Tabela 1

Parametr	Obciążenie osadzarki [t/h]	
	100	200
Gęstość rozdziału ρ_r [g/cm ³]	1,789	1,780
Rozproszenie prawdopodobne E_p [g/cm ³]	0,099	0,123
Imperfekcja I [1]	0,126	0,158

Drugim czynnikiem wpływającym na obniżenie sprawności wzbogacania w osadzarkach jest wzbogacanie nadawy o znacznym udziale drobnych ziaren 3 – 0,5 mm. Istnieje wysokie prawdopodobieństwo przechodzenia tych ziaren przez otwory sita łoża roboczego na dnie osadzarki, co powoduje tworzenie produktu odpadowego o zwiększonej zawartości substancji palnej [7].

Na rysunku 8 oraz w tabeli 2 zaprezentowano zależność skuteczności wzbogacania od zakresu zastosowanego uziarnienia: 20 – 3 mm oraz 20 – 0,5 mm.



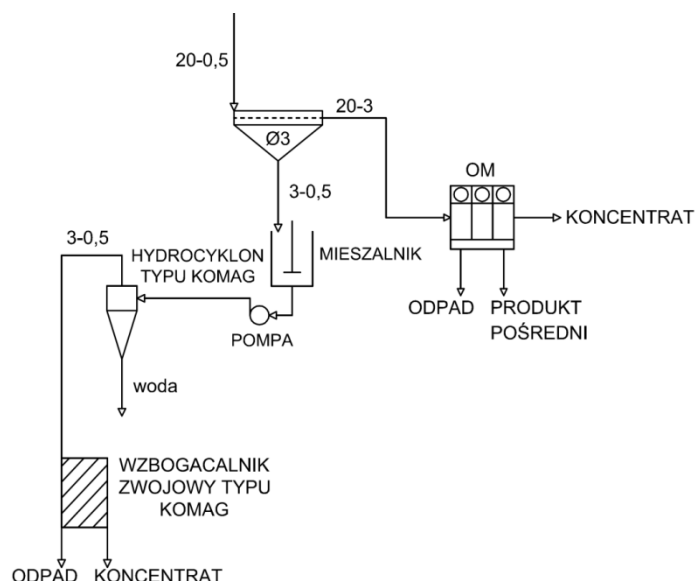
Rys. 8. Wykres zależności skuteczności wzbogacania od obecności klasy ziarnowej 3 mm – 0,5 mm [10]

Zależność skuteczności wzbogacania od zawartości klasy ziarnowej 3 – 0,5 mm [4]

Tabela 2

Parametr	Klasa ziarnowa [mm]	
	20-3	20-0,5
Gęstość rozdziału ρ_r [g/cm ³]	1,802	1,885
Rozproszenie prawdopodobne E_p [g/cm ³]	0,115	0,158
Imperfekcja I [1]	0,144	0,179

Technologię wzbogacania, której zastosowanie w zakładach przeróbki mechanicznej umożliwi rozwiązanie problemów występowania drobnych klas ziarnowych oraz przeciążenia urządzenia, zaprezentowano na uproszczonym schemacie technologicznym na rysunku 9.



Rys. 9. Uproszczony schemat technologiczny ze stałym kierowaniem klas najdrobniejszych na wzbogacalnik strumieniowo-zwojowe [7]

Nadawa o uziarnieniu 20 – 0,5 trafia na przesiewacz, gdzie klasa ziarnowa 3 – 0,5 mm jest odsiewana. Produkt górny jest kierowany do wzbogacania w osadzarce. Produkt dolny jest dostarczany do urządzenia mieszającego, z którego, z pomocą pompy, trafia do hydrocyklonu. Hydrocyklon usuwa ziarna poniżej 0,5 mm, mogące powstać podczas klasyfikacji lub transportu i przygotowuje odpowiednie zagęszczenie zawiesiny. Następnie materiał trafia do wzbogacania we wzbogacalnikach strumieniowo-zwojowych. Koncentrat może zostać zastosowany jako komponent mieszanek przeznaczonych do koksovania, a odpad trafia na zwałowisko kamienia.

5.2. Wprowadzenie wzbogacalników strumieniowo-zwojowych do węzła flotacji

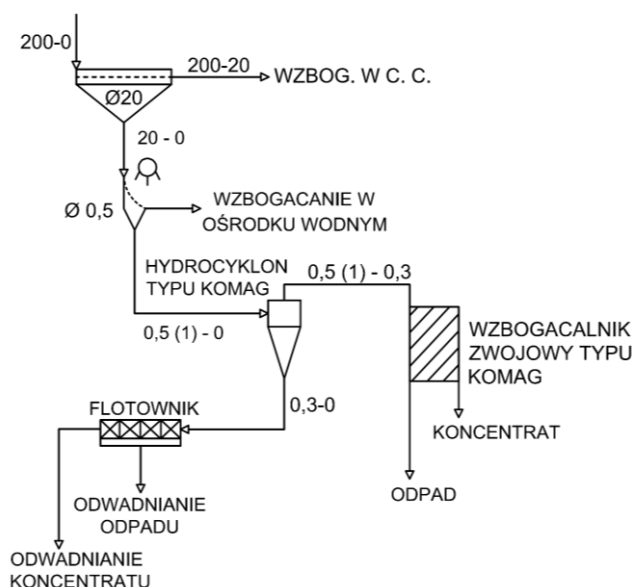
W procesie flotacji do rozdziału minerałów wykorzystuje się różnice w zwilżalności materiałów. Minerały hydrofilowe (np. skała płonna) posiadają skłonność do przyciągania cząsteczek wody. Z kolei minerały hydrofobowe (np. czysty węgiel) posiadają skłonność do odpychania cząsteczek wody.

Drobno uziarniona nadawa z wodą i odczynnikami flotacyjnymi (pulpa flotacyjna) jest wprowadzana do maszyny flotacyjnej, na której dnie zabudowane są dysze powietrzne. Minerały hydrofilowe opadają na dno, minerały hydrofobowe zaś łączą się z pęcherzykami powietrza i wypływają na powierzchnię.

Poprawę uzyskiwanych wyników pracy maszyn flotacyjnych można uzyskać poprzez zastosowanie nadawy o mniejszym zakresie uziarnienia. Aktualnie w zakładach przerobczych węgla kamiennego do flotacji kieruje się materiał o uziarnieniu 1 – 0 mm [2].

Warunkiem wyniesienia grubego ziarna na powierzchnię cieczy jest jego połączenie z kilkoma pęcherzykami powietrza. Do zajścia tego zjawiska wymagane są: maksymalna hydrofobizacja powierzchni dużymi dawkami najbardziej aktywnych odczynników zbierających, zwiększona intensywność podawania powietrza, stosowanie mniejszego zagęszczenia pulpy flotacyjnej i spokojniejsze mieszanie.

Na rysunku 10 zaprezentowano uproszczony schemat technologiczny, który uwzględnia wykorzystanie wzbogacalników strumieniowo-zwojowych do wzbogacania części nadawy w procesie flotacji. Produkt dolny z sita łukowego o uziarnieniu 0,5 (1) – 0 mm jest kierowany do klasyfikacji w hydrocyklonie. Produkt przelewowy hydrocyklonu o uziarnieniu 0,5 (1) – 0,3 mm trafia do wzbogacania na wzbogacalnikach strumieniowo-zwojowych. Produkt wylewowy hydrocyklonu o uziarnieniu 0,3 – 0 mm trafia na flotację.



Rys. 10. Węzeł wzbogacania drobnego materiału wykorzystujący flotownik oraz wzbogacalnik strumieniowo-zwojowy [7]

Skierowanie grubszych ziaren z nadawy na flotację do wzbogacania w innym urządzeniu może przynieść następujące korzyści:

- zmniejszenie kosztów prowadzenia procesu wzbogacania poprzez zastosowanie tańszych odczynników flotacyjnych, w mniejszej ilości,
- zmniejszenie obciążenia maszyn flotacyjnych,
- większe zagęszczenie pulpy flotacyjnej przy zachowaniu tego samego czasu flotacji, skutkuje zwiększeniem wydajności procesu.

6. Podsumowanie

Wzbogacalniki strumieniowo-zwojowe służące do wzbogacania ziaren drobnych cechuje prostota konstrukcji, brak elementów przesuwnych czy obrotowych. W celu zapewnienia sprawnego procesu wzbogacania, należy utrzymywać stałe parametry zawiesiny takie jak zagęszczenie czy uziarnienie. W tym celu ww. urządzenie wyposażono w hydrocyklon typu KOMAG. Obecnie wzbogacalnik strumieniowo-zwojowy typu KOMAG oraz hydrocyklon typu KOMAG są w fazie projektowania.

W niniejszej publikacji przedstawiono aktualnie stosowane wzbogacalniki strumieniowo-zwojowe oraz nowe rozwiązanie wzbogacalnika typu KOMAG, które w zamyśle powinno uzyskiwać większą efektywność wzbogacania.

Spodziewanymi efektami zaprezentowanych rozwiązań technologii wzbogacania jest: uzyskanie większej sprawności procesu, zmniejszenie obciążenia urządzeń, zmniejszenie kosztów prowadzenia procesu flotacji.

Wprowadzenie przedstawionej technologii niewątpliwie wygeneruje koszty związane z modernizacją zakładu przeróbki węgla oraz ruchem. Należy przeprowadzić długoterminową analizę kosztów i zysków w celu stwierdzenia opłacalności przedsięwzięcia.

Literatura

- [1] Blaschke W., Blaschke St.: Technika wzbogacania grawitacyjnego: Wzbogacalniki strumieniowe, Wydawnictwo Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków 1999
- [2] Pytka I., Wierzchowski K.: Flotacja mułów węgla energetycznych sposobem poprawy efektywności produkcji węgla, Polskie Towarzystwo Przeróbki Kopalin, 2005
- [3] Kowol D. i inni: Badania technologiczne oddziaływania ziaren klasy 3 – 0 mm w nadawie na skuteczność procesu separacji we wzbogacalnikach pulsacyjnych konstrukcji CMG KOMAG, praca statutowa ITG KOMAG 2003 (materiały niepublikowane)
- [4] Kowol D. i inni: Prognozowanie wyników osadzarkowego procesu wzbogacania nadaw węglowych w oparciu o badania empiryczne, praca statutowa ITG KOMAG 2012 (materiały niepublikowane)
- [5] Kowol D. i inni: Wykonanie badania dokładności wzbogacania węgla w osadzarkach pulsacyjnych, praca statutowa ITG KOMAG 2012 (materiały niepublikowane)
- [6] Friebe P. i inni: Projekt wstępny wzbogacalnika strumieniowo-zwojowego typu KOMAG, praca statutowa ITG KOMAG 2017 (materiały niepublikowane)
- [7] Friebe P.: Wykorzystanie wzbogacalników strumieniowo-zwojowych do wydzielenia substancji węglowych z miałow węglowych pochodzących z polskich kopalń, praca statutowa ITG KOMAG 2017 (materiały niepublikowane)

Czy wiesz, że

...raport opublikowany 27 marca 2018 r. przez National Energy Technology Laboratory (NETL) - agendę Departamentu Energetyki USA - wykazuje, że utrzymujący się trend do wycofywania z eksploatacji elektrowni na paliwa kopalne, stwarza zagrożenie dla amerykańskiej polityki bezpieczeństwa energetycznego. Autorzy najnowszych badań przywołali przykład niezwykle ostrych mrozów, które wystąpiły na wschodnim wybrzeżu USA w okresie od 27 grudnia 2017 do 8 stycznia 2018 roku. Doszło wówczas do gwałtownego zapotrzebowania na moc cieplną. Większość niezbędnej dodatkowej energii dostarczyły elektrownie spalające węgiel kamienny. Zawarte w studium analizy pokazały, że węgiel jest najbardziej „elastycznym” źródłem energii w przypadkach występowania nadzwyczajnych zdarzeń pogodowych.

World Coal 2018 nr 3 s.8

Rozwój osadzarek pulsacyjnych typu KOMAG

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

Development of KOMAG pulsatory jig

Streszczenie:

W artykule przedstawiono najnowsze rozwiązania i wdrożenia osadzarek pulsacyjnych typu KOMAG. Każda aplikacja poprzedzona była wstępnymi badaniami laboratoryjnymi, umożliwiającymi odpowiedni dobór urządzenia. Badania laboratoryjne pozwalają na prognozowanie przyszłych wyników oraz dobór układu technologicznego (zastosowane urządzenia oraz rozwiązania konstrukcyjne). W artykule zamieszczono przykład wyników badań laboratoryjnych, których celem było określenie możliwości zastosowania oraz określenie typu wzbogacalnika grawitacyjnego.

Słowa kluczowe: górnictwo, przeróbka mechaniczna, osadzarka pulsacyjna, skuteczność rozdziału, wtórne wzbogacanie półproduktu

Keywords: coal mining, mechanical processing, pulsatory jig, separation efficiency, secondary beneficiation of the middlings

Abstract:

The latest solutions and implementations of KOMAG pulsatory jigs are presented. Each application was preceded by preliminary laboratory tests enabling selection of the device. Laboratory tests allow prediction of future results and selection of the technological system (devices and design solutions applied). An example of laboratory test results, the purpose of which was to determine the applicability and determination of the type of pulsatory jig, is presented in the paper.

1. Wprowadzenie

Jednym z podstawowych procesów przeróbki mechanicznej surowców mineralnych, w tym węgla jest wzbogacanie, które ma decydujący wpływ na parametry ilościowo-jakościowe produktów handlowych.

Wzbogacanie węgla kamiennego stanowi integralną i niezwykle ważną część procesu produkcyjnego sortymentów handlowych służącą podwyższeniu jakości wydobywanego surowca i osiągnięciu wymaganych przez odbiorców parametrów jakościowo produktów. Poprawa jakości węgla następuje poprzez poddanie go szeregowi procesów technologicznych, między innymi wzbogacania w osadzarkach pulsacyjnych [1].

W artykule przedstawiono rozwiązania wybranych maszyn i urządzeń zaprojektowanych w Instytucie Techniki Górniczej KOMAG służących do wzbogacania węgla kamiennego. Szczególną uwagę zwrócono na parametry i nowoczesne rozwiązania osadzarek pulsacyjnych miałowych OM i średnioziarnowych OS.

2. Osadzarki pulsacyjne typu KOMAG

Osadzarki pulsacyjne są podstawowymi urządzeniami do wzbogacania węgla kamiennego w polskich zakładach przeróbki mechanicznej. Pierwsze konstrukcje osadzarek zaczęto opracowywać w ITG KOMAG w roku 1955 r.

Były to urządzenia, które posiadały komory powietrzne umieszczone obok koryta roboczego, wzdłuż osi osadzarki [5]. Konstruowano wówczas osadzarki typu:

- OBM (osadzarka beztłokowa mialowa),
- ODM (osadzarka beztłokowa mialowa dwukorytowa),
- OBZ (osadzarka beztłokowa ziarnowa).

Osadzarki te charakteryzowały się znacznymi wymiarami i dużą masą.

W latach 70-tych ubiegłego stulecia zaczęto projektować w KOMAG-u osadzarki posiadające komory powietrzne zlokalizowane pod pokładem sitowym, zabudowane w skrzyniach dolnych poprzecznie do osi wzdłużnej osadzarki [6].

Obecnie w KOMAG-u konstruowane są osadzarki do wzbogacania różnych klas ziarnowych, w tym osadzarki mialowe - OM (rys. 1 i 2) przeznaczone dla ziaren 20-0(0,5) mm, osadzarki średnioziarnowe - OS przeznaczone dla ziaren 80(50)-0(0,5) mm i osadzarki ziarnowe - OZ przeznaczone dla ziaren 120-20 mm.

Ich konstrukcje są stale modernizowane, zgodnie z oczekiwaniami odbiorców, zarówno pod względem geometrii kształtu skrzyń dolnych, mocowania pokładów sitowych, usprawnienia urządzeń automatycznej regulacji odbioru produktów ciężkich, zaworów pulsacyjnych oraz kolektorów powietrza roboczego [7].



Rys. 1. System nr 1 - dwie osadzarki pulsacyjne OM15 KWK Pniówek [8]

2.1 Budowa osadzarek pulsacyjnych

W skład przedziałów roboczych wchodzi skrzynie dolne oraz skrzynie górne (koryta robocze). Skrzynie górne pojedynczego przedziału osadzarki wyposażone są w pokłady sitowe, kolektory powietrza roboczego, zespół rozrządu powietrza pulsacyjnego i urządzenia odbioru produktów wzbogacania. W skrzyniach dolnych znajdują się komory pulsacyjne, do których dostarczane jest powietrze robocze do wywoływania ruchu pulsacyjnego wody oraz kolektory zasilające w wodę dolną o regulowanym przepływie [2].

2.2 Zasada działania osadzarek pulsacyjnych

Wzbogacanie w osadzarkach polega na wykorzystaniu prędkości opadania w wodzie ziaren różniących się gęstością. Wzbogacany materiał podlega cyklicznemu rozluźnianiu w pulsacyjnym ośrodku wodnym, co powoduje jego rozwarstwienie i transport po powierzchni pokładu sitowego, w kierunku strefy rozdziału produktów wzbogacania.

Wstępnie przygotowana mieszanina ziaren węgla kamiennego, doprowadzona do skrzyni roboczej, poddawana jest pulsacji w ośrodku wodnym na pokładach sitowych, w kolejnych przedziałach roboczych osadzarki.

Rozwarstwienie materiału przebiega poprzez wywołanie, za pomocą np. sprężonego powietrza, ruchu wody w komorze roboczej [3]. W okresie ruchu wody ku górze materiał spoczywający na sicie zostaje uniesiony, a opada w stronę pokładu sitowego.



Rys. 2. Osadzarka OM30 KWK „Sośnica” [8]

Poprzez poddawanie materiału wielokrotnym pulsacjom uzyskuje się rozdział materiału na warstwy, od ziaren o największej prędkości opadania, usytuowanych na pokładzie sitowym, do ziaren o najmniejszej prędkości opadania, wynoszonych na powierzchnię wzbogacanego materiału. Rozwarstwiany materiał przesuwany się stale w kierunku strefy rozdziału, na końcu przedziału roboczego osadzarki [3].

Na podstawie sygnałów pomiarowych i sterowania układu odbioru produktów wzbogacania następuje rozdzielenie wzbogacanego materiału na produkt górny (koncentratowy), który przepływa nad progiem przelewowym, kończącym pojedynczy przedział osadzarki oraz produkt dolny (odpadowy), odprowadzany kanałem odbiorczym, usytuowanym poniżej pokładu sitowego, w układzie odprowadzania produktów [2, 4].

W tabeli 1 [5, 7] przedstawiono wykaz osadzarek pulsacyjnych zaprojektowanych przez KOMAG w latach 1955-2018.

Wykaz osadzarek zaprojektowanych w ITG KOMAG w latach 1955-2018 [5, 7]

Tabela 1

Okres produkcji	Typ osadzarki	Miejsce zastosowania
1955-1970	OBM12, OBM15, OBSZ15, OBZ10, OBZ12	Kopalnia Węgla Kamiennego: „Anna”, „Dębieńsko”, „Knurów”, „1-Maja”, „Nowy Wirek”, „Mysłowice”, „Rydułtowy”, eksport do Chin, Indii oraz Wietnamu.
1971-1985	ODM10, ODM18, ODZ15, OM12, OM12-2, OM12-3, OM12-3S, OM12G3, OM12P3, OM12L3, OM18P3, OM18L3, OM24-3, OM24D, OM24B3, OM24D3, OZ18L, OZ12, OZ12L, OZ12P3, OS36D3, OZ36D3, OC8, OC10	Kopalnia Węgla Kamiennego: „Bogdanka”, „Borynia”, „Dębieńsko”, „Gliwice”, „Halemba”, „Knurów”, „Krupiński”, „Jankowice”, „Makoszowy”, „Marcel”, „Pniówek”, „Dymitrow”, „Rydułtowy”, „Sośnica”, „Staszic”, „Wujek”, „Szczygłowiec”, „Wawel”, „Zabrze”, „Zofiówka”, „Moszczenica”, eksport do Brazylii, Indii oraz Rumuni.
1986-2014	OM8L2e, OM8L2E, OM10L2E, OM15P3E, OM12P3E, OMPE-3x6,5, OM18L3E, OM18P3E, OM20P3E, OM20L3E, OM24P4E, OM24L4E, OM24D3E, OS24D3E, OM30-3E, OM18 3x8, OM30D3E, OS30D3E, OM30, OZ18, OZ18L3E, Osadzarka KOD	Kopalnia Węgla Kamiennego: „Andaluzja”, „Anna”, „Barbara-Chorzów”, „Bogdanka”, „Borynia”, „Budryk”, „Dębieńsko”, „Halemba”, „Jastrzębie”, „Jasmos”, „Knurów”, „Krupiński”, „Marcel”, „Pniówek”, „Rozbark”, „Rymer”, „Rydułtowy-Anna”, „Sośnica”, „Staszic”, „Szczygłowiec”, „Wawel”, „Wujek”, „Zofiówka”, eksport do Czech i Indii. KWK „Budryk”, do odkamieniania urobku.
2003-2018	Klasyfikator pulsacyjny K-100, K-150, K-50, K-80, K-101, K-102, K-151	KSM sp. z o.o. w Borzęcinie, PPMD KRUSZBET S.A. w Suwałkach, PRInż. Surowce Sp. z o.o. w Januszkowicach, PUHM „M +” Sp. z o.o. w Kędzierzynie Koźlu, Żwirownia Bierawa, PRESTO Emil Potręć, Rokitno, Rent-Pol - Przezchlebie
2014-2019	OM30, OS18 L, OS18P, OM15L, OM15P, OS4, OM20, OS18L, OS18P, OM24, OM15L i OM15P	Kopalnia Węgla Kamiennego: „Sośnica”, „Krupiński”, „Pniówek”, „Budryk”, „Zofiówka”, ZG „Eko-Plus”, ZG „Sobieski”.

W ciągu 63 lat (1955-2018 r.) w ITG KOMAG opracowano dokumentację techniczną:

- 320 wzbogacalników (nowych i zmodernizowanych),
- ponad 200 wzbogacalników w pulsującym ośrodku wodnym – osadzarek.

2.3 Rozwiązania współczesne - wdrożenia

Wdrożenia osadzarek zaprojektowanych w ITG KOMAG w latach 2014-2018 przedstawiono na poniższych przykładach.

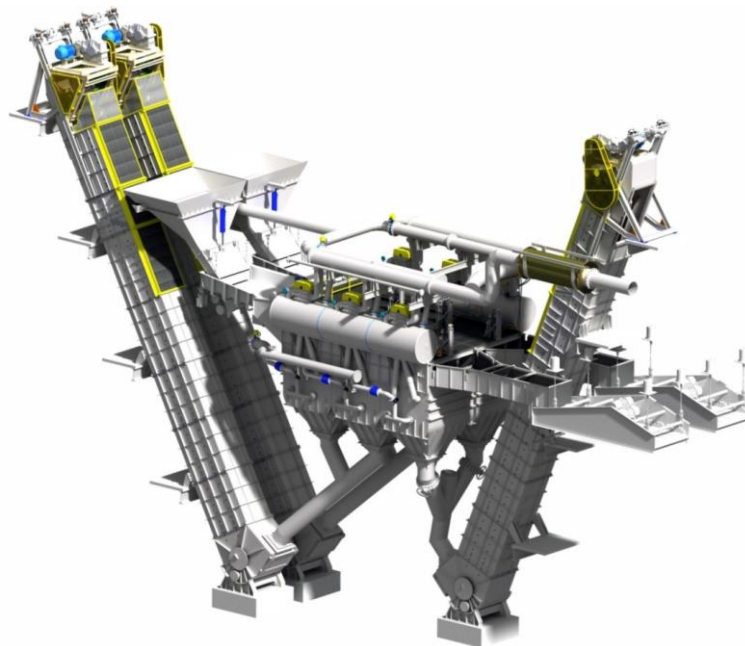
Zakład Mechanicznej Przeróbki Węgla KWK „Sośnica”

Projekty urządzeń dla Zakładu Mechanicznej Przeróbki Węgla KWK „Sośnica” wykonano w 2014 r. Węzeł uruchomiono we wrześniu 2015 r.

Nowy system wzbogacania (rys. 3) składa się z:

- dwukorytowej osadzarki miałowej OM30 (20-0 mm), o wydajności 600 t/h,
- 3 przenośników kubełkowych B-1000.

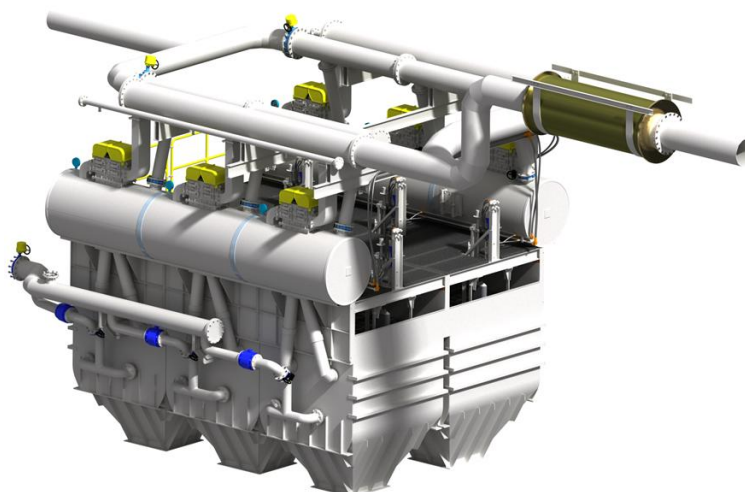
Modernizację przeprowadzono we współpracy z firmami: Carbo-Eco Sp. z o.o. oraz Fugor Sp. z o.o.



Rys. 3. Zabudowa osadzarki OM30 KWK „Sośnica” [opracowanie własne]

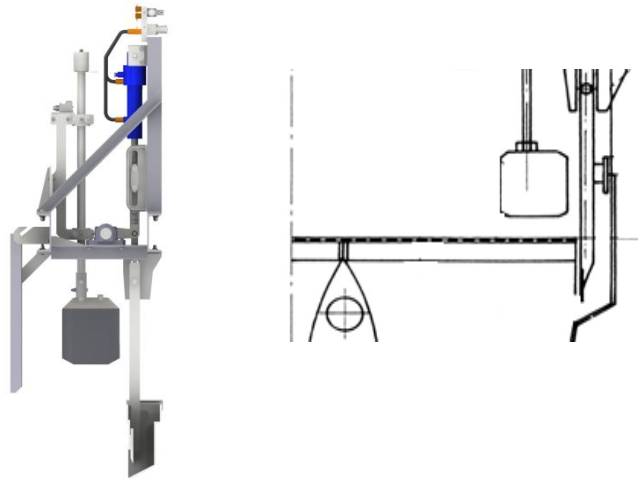
W nowej osadzarce OM30 (rys. 4) zastosowano:

- system sterowania węzłem osadzarkowym KOGASTER SSWO,
- nowy rodzaj siłowników i rozdzielaczy zaworów pulsacyjnych,
- wewnętrzne elementy zasilania osadzarki wykonane ze stali nierdzewnej,
- pokład sitowy z elementów o mniejszych wymiarach (lżejszych) ułatwiających jego wymianę,
- sita szczelinowe $S=5\text{ mm}$,
- podest obsługi z kratki Wema.



Rys. 4. Osadzarka OM30 KWK „Sośnica” [opracowanie własne]

W osadzarce zastosowano nowy rodzaj odprowadzenia produktu (rys. 5), wydłużający powierzchnię czynną pokładu roboczego oraz zmniejszający zaburzenia warstwy materiału przy progu.



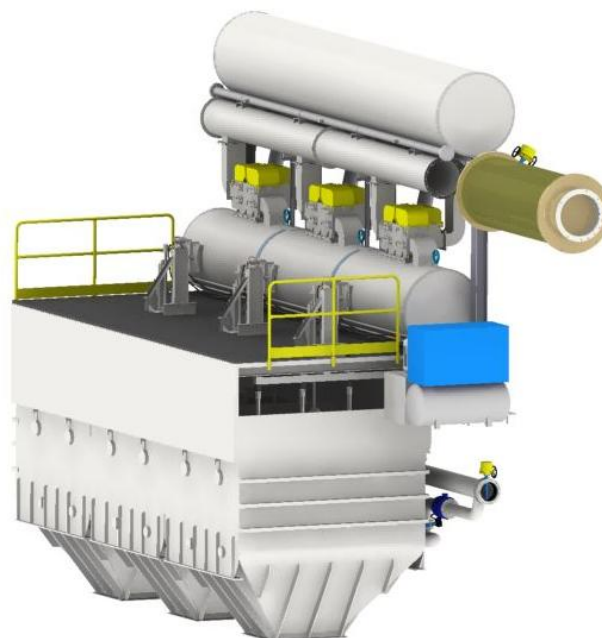
Rys. 5. Odrowadzenie produktu zasuwowe i rurowe [opracowanie własne na podstawie [4]]

Zakład Mechanicznej Przeróbki Węgla KWK „Krupiński”

Projekt osadzarek dla Zakładu Mechanicznej Przeróbki Węgla KWK „Krupiński” wykonano w 2014 r.

Nowy węzeł wzbogacania składa się z trzech systemów wzbogacania, z których każdy wyposażony jest w:

- dwie osadzarki średnioziarnowe OS18L i OS18P (rys. 6) do wzbogacania materiału w klasie ziarnowej 70-0 mm,
- trzech przenośników kubełkowych B-1000.



Rys. 6. Osadzarka średnioziarnowa OS18P KWK „Krupiński” [opracowanie własne]

Osadzarki zaprojektowano tak, aby po modyfikacji (wymiana pokładów sitowych, kątów ich nachylenia oraz zmiana układu odbioru produktów) mogły w przyszłości pracować jako osadzarki miałowe 20-0(2) mm.

Modernizację zakładu przeprowadzono we współpracy z firmą FAMUR S.A.

Z uwagi na proces likwidacji KWK Krupiński osadzarek nie uruchomiono.

Zakład Mechanicznej Przeróbki Węgla KWK „Pniówek”

Projekt osadzarek dla Zakładu Mechanicznej Przeróbki Węgla KWK „Pniówek” wykonano w 2016 r. Uruchomienie pierwszego systemu zmodernizowanego węzła wzbogacania nastąpiło w 2017 r.

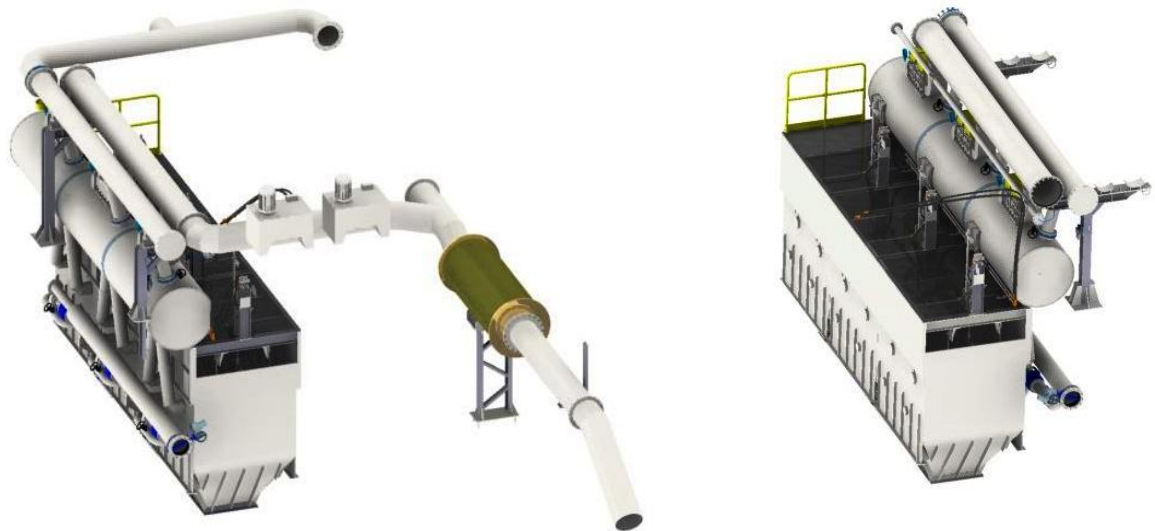
Zmodernizowany węzeł wzbogacania (rys. 7) składa się z czterech systemów wzbogacania, z których każdy wyposażony jest w:

- dwie osadzarki miałowe OM15L i OM15P (20-0 mm),
- dwa przenośniki kbelkowe B-1000.



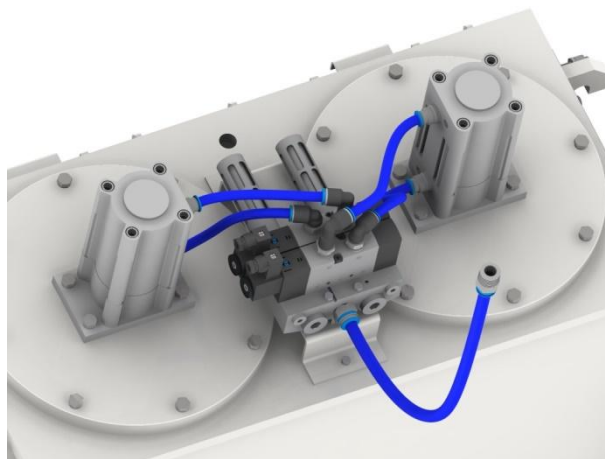
Rys. 7. Węzeł wzbogacania mialów KWK Pniówek po modernizacji [opracowanie własne]

Modernizację zakładu przeprowadzono we współpracy z firmą Wrębowa Sp. z o.o. Zaprojektowane osadzarki miałowe OM15 (20-0 mm) osiągają wydajność do 300 t/h.



Rys. 8. Osadzarki mialowe OM15L i OM15P KWK Pniówek, po modernizacji [opracowanie własne]

W osadzarkach zainstalowano nowe rozwiązanie układu sterowania siłownikami pneumatycznymi Festo (rys. 9), mniej wrażliwe na zanieczyszczenia powietrza sterującego.



Rys. 9. Zawór pulsacyjny typu KOMAG [opracowanie własne]

Zakład Górniczy Eko-Plus Sp. z o.o.

Przeprowadzono badania wstępne węgla surowego pobranego z zakładu na terenie byłej Kopalni „Powstańców Śląskich”. Uzyskane wyniki analizy gęstościowo-popiołowej przedstawiono w tabeli 1.

Fracje podstawowe – Klasa ziarnowa 80-20 mm

Tabela 1

Gęstość frakcji [g/cm ³]	Wychód [%]	Popiół [%]
< 1,5	86,30	4,50
1,5-1,8	4,18	26,95
> 1,8	9,52	79,16
Suma/Średnia*	100,00	12,54*

Badania wstępne potwierdziły bardzo dobrą wzbogacalność materiału w klasie ziarnowej 80-20 mm. Na tej podstawie opracowano prognozy dwuproduktowego wzbogacania, które przedstawiono w tabeli 2.

Prognozy wzbogacania dwuproduktowego klasy 80-20 mm (Nadawa 1) – I=0,16

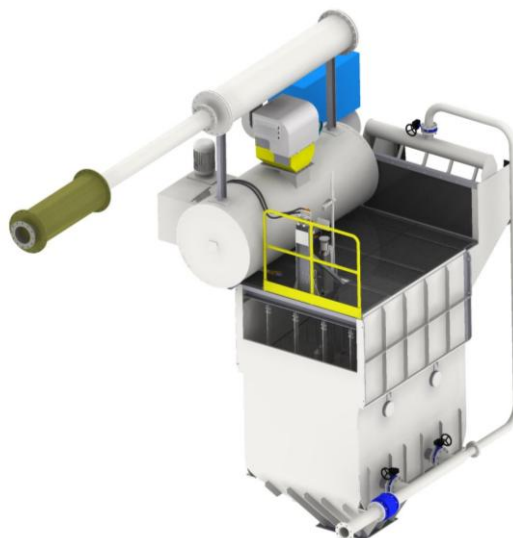
Tabela 2

Produkt koncentratowy			
Gęstość rozdziału d_r [g/cm ³]	Wychód [%]	Zawartość popiołu [%]	Udział >1,8 [%]
1,50	83,42	4,50	0,07
1,60	87,71	4,97	0,18
1,70	89,47	5,37	0,39
1,80	90,57	5,76	0,74
1,90	91,43	6,15	1,21
2,00	92,17	6,56	1,78
Produkt odpadowy			
Gęstość rozdziału d_r [g/cm ³]	Wychód [%]	Zawartość popiołu [%]	Udział <1,5 [%]
1,50	16,58	53,04	3,90
1,60	12,29	66,59	0,67
1,70	10,53	73,45	0,10
1,80	9,44	77,67	0,00
1,90	8,58	80,72	0,00
2,00	7,84	82,99	0,00

Następnie wykonano projekt osadzarki dla ZG Eko-Plus Sp. z o.o., a uruchomienie układu planowane jest w pierwszym półroczu 2018 r.

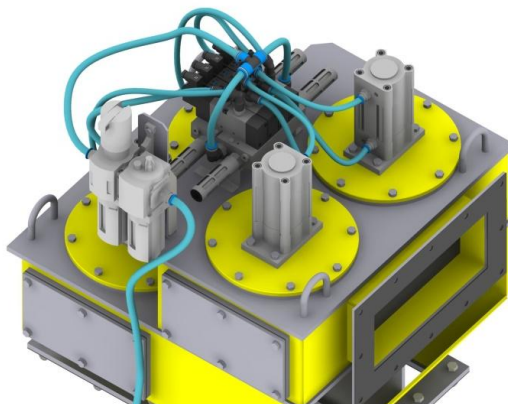
Zaprojektowany układ wzbogacania składa się z:

- osadzarki średnoziarnowej OS4 (80-20 mm), o wydajności do 100 t/h (rys. 10),
- przenośnika kubelkowego B-800.



Rys. 10. Osadzarka średnoziarnowa OS4 [opracowanie własne]

Po raz pierwszy w osadzarce typu KOMAG zastosowano zawory talerzowe z czterema siłownikami pneumatycznymi (rys. 11) sterowanymi autonomicznie poprzez układ sterowania. Umożliwia to niezależną regulację pulsacji w przedniej i tylnej komorze przedziału roboczego.



Rys. 11. Zawór pulsacyjny ZP4 [opracowanie własne]

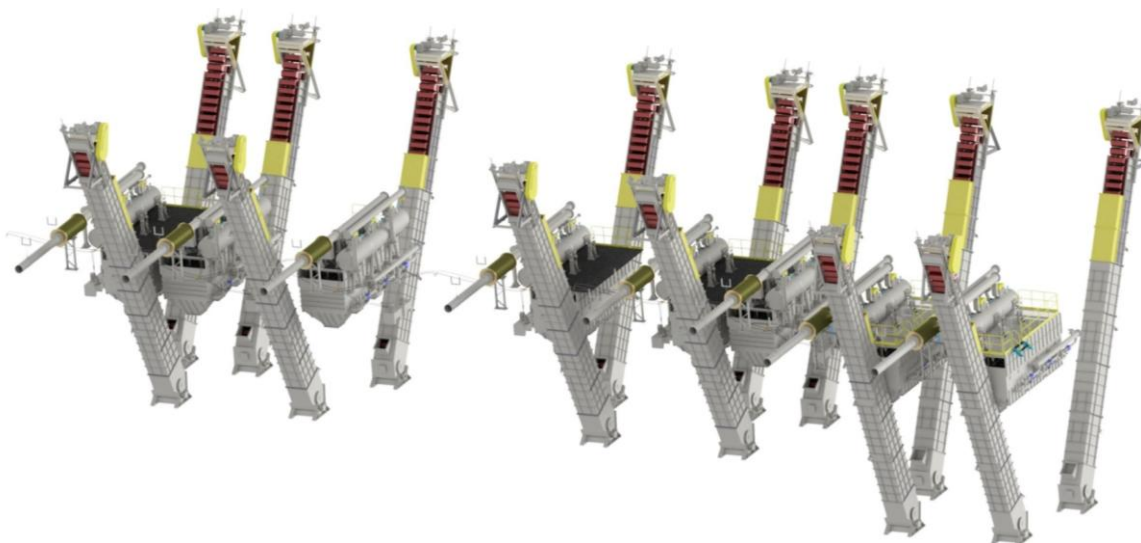
Zakład Mechanicznej Przeróbki Węgla KWK „Budryk”

Projekt osadzarek dla Zakładu Mechanicznej Przeróbki Węgla KWK „Budryk” wykonano w 2017 r. Uruchomienie pierwszego systemu zmodernizowanego węzła wzbogacania planowane jest na 2018 r.

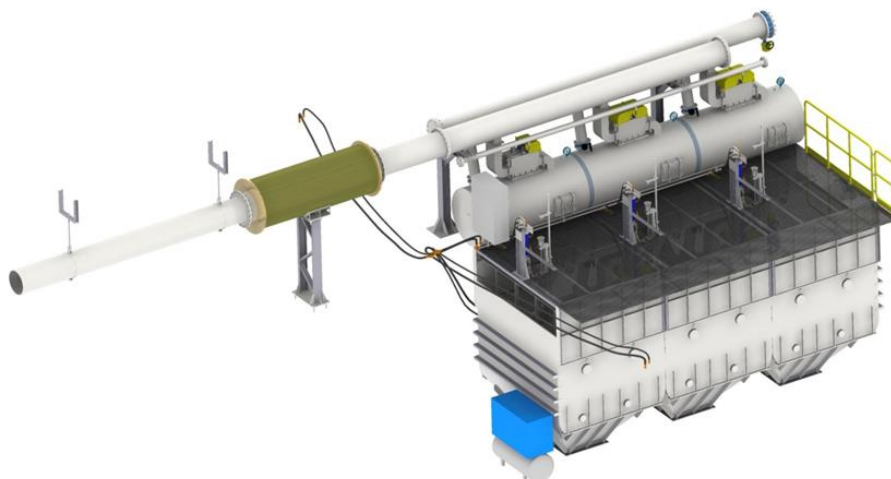
Nowy węzeł (rys. 12) składa się z dwóch systemów wzbogacania oraz wtórnego systemu wzbogacania. Całość zbudowana jest z:

- 6 osadzarek średnioziarnowych OS18 (L i P) (70-2 mm),
- 2 osadzarek miałowych OM20 (12-0 mm),
- 14 przenośników kubełkowych B-1000.

Modernizację przeprowadzono we współpracy z firmami: Famur S.A. oraz Fugor Sp. z o.o.



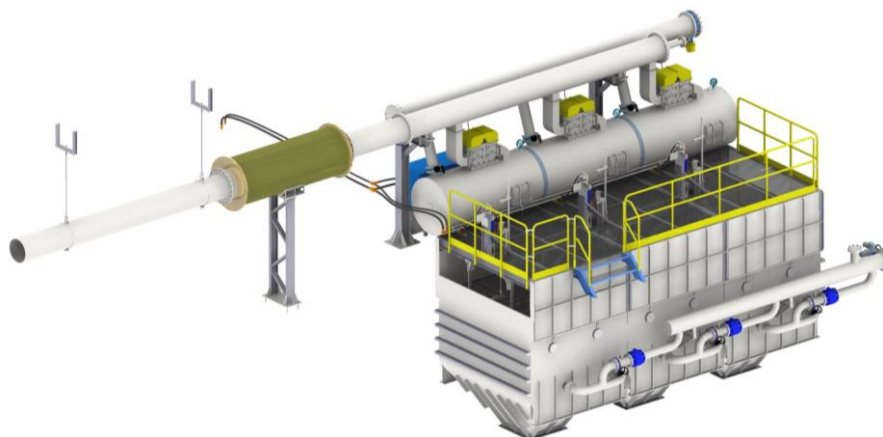
Rys. 12. Węzeł wzbogacania KWK Budryk, po modernizacji [opracowanie własne]



Rys. 13. Osadzarka średnioziarnowa OS18L KWK „Budryk” [opracowanie własne]

Zaprojektowane osadzarki średnioziarnowe OS18 (rys. 13), o wydajności 250 t/h, przeznaczone są do wzbogacania klasy ziarnowej 80-0,5 mm. Zastosowano w nich sita szczelinowe $S=5\text{mm}$.

Z kolei w osadzarkach miałowych wtórnych OM20 (rys. 14), wzbogacających w klasie ziarnowej 12-0 mm z wydajnością do 250 t/h, zastosowano pokład sitowy gumowy.



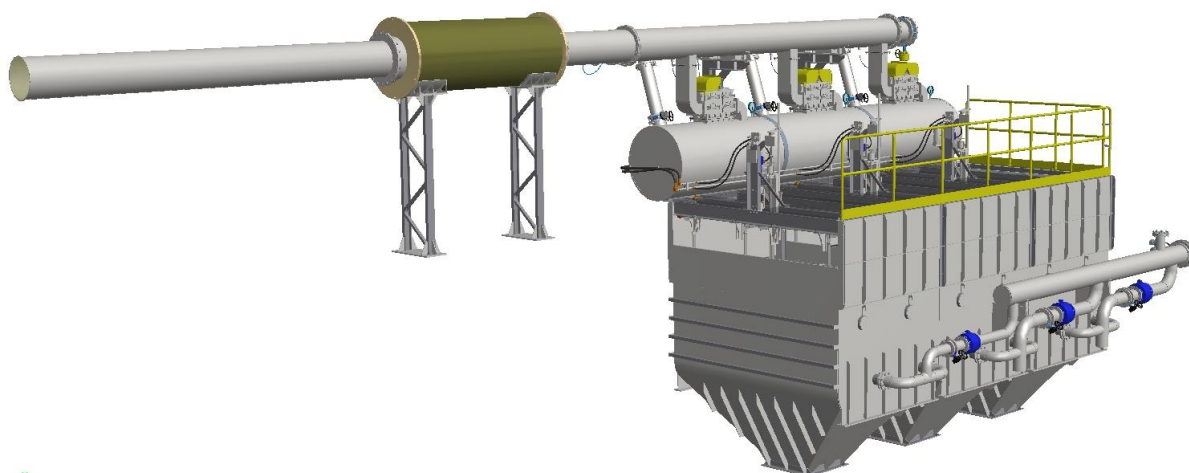
Rys. 14. Osadzarka miałowa OM20 KWK „Budryk” [opracowanie własne]

Zakład Mechanicznej Przeróbki Węgla KWK „Zofiówka”

Projekt osadzarki dla Zakładu Mechanicznej Przeróbki Węgla KWK „Zofiówka” wykonano w 2018 r. Uruchomienie zmodernizowanego systemu przewidziano na przełomie roku 2018/2019 r.

Nowy węzeł wzbogacania (rys. 15) składa się z osadzarki miałowej OM24 (20-2 mm), o wydajność do 640 t/h. Zastosowano w niej pokład z sit perforowanych $L_v 25 \times 5 \ 30 \times 20$.

Jest to jedyna polska osadzarka o szerokości łoża wynoszącej 3500 mm.

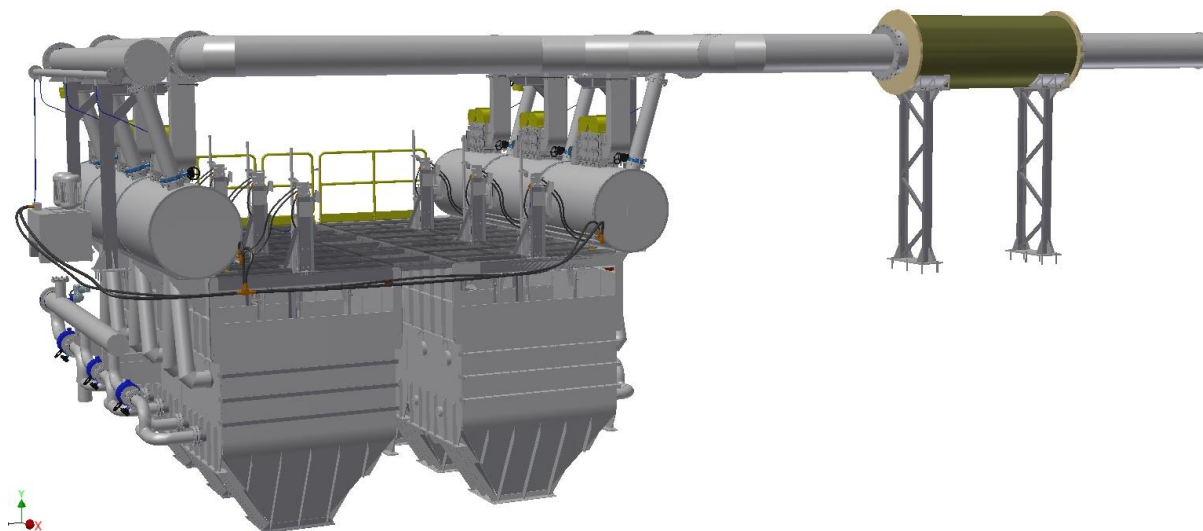


Rys. 15. Osadzarka mialowa OM24 KWK Zofiówka [opracowanie własne]

Zakład Mechanicznej Przeróbki Węgla ZG „Sobieski”

Projekt osadzarek dla Zakładu Mechanicznej Przeróbki Węgla ZG „Sobieski” wykonano w 2018 r., a ich uruchomienie przewidziano na rok 2019.

Nowy węzeł wzbogacania (rys. 16) składa się z dwóch osadzarek mialowych OM15 L i P (30-2 mm), o maksymalnej wydajności do 320 t/h każda. Zastosowano w nich pokłady z sit szczelinowych $S=5$ mm. W osadzarkach, z uwagi na niewystarczającą ilość miejsca w miejscu zabudowy, skrócono przedziały robocze do 2200 mm.



Rys. 16. Osadzarki mialowe OM15L i OM15P ZG „Sobieski” [opracowanie własne]

4. Podsumowanie

Wraz z rozwojem konstrukcyjnym osadzarek pulsacyjnych typu KOMAG zmianom podlegały wszystkie podzespoły. Prace prowadzone przez ITG KOMAG realizowano we współpracy z innymi jednostkami badawczo rozwojowymi, uczelniami oraz producentami, a w szczególności ich użytkownikami, co zaowocowało powstaniem innowacyjnych rozwiązań technologiczno-konstrukcyjnych.

Główne cechy innowacyjności opracowanych osadzarek to:

- zmniejszenie pola powierzchni ich zabudowy - obniżenie masy,
- wzrost wydajności,
- zmniejszenie zużycia wody technologicznej,
- poprawa wskaźników dokładności wzbogacania.

Poprawę jakości koncentratu węglowego o zadanych parametrach technologicznych osiągnięto między innymi dzięki :

- modernizacji układu doprowadzenia powietrza roboczego (zaworów pulsacyjnych),
- modyfikacji zespołu odbioru produktu ciężkiego,
- zainstalowaniu systemów sterowania osadzarką,
- automatycznemu sterowaniu mediami.

Literatura

- [1] Blaschke St.: Przeróbka mechaniczna kopalin. Wydawnictwo Śląsk. Katowice 1982
- [2] Cierpisz S., Kowol D.: Wpływ zmian parametrów nadawy na efekty działania pływakowego układu sterowania odbiorem produktów osadzarki. ITG KOMAG, Gliwice 2012. ISBN 9788360708491
- [3] Kowol D., i in.: Przegląd rozwiązań konstrukcyjnych zespołów rozrządu powietrza pulsacyjnego w osadzarkach pulsacyjnych. W:Automatyzacja Procesów Przeróbki Kopalin, Materiały konferencyjne, Szczyrk 2009
- [4] Kowol D., Lenartowicz M., Łagódka M.: Rozwiązania konstrukcyjne układów odprowadzania produktu dolnego w osadzarkach pulsacyjnych, KOMEKO 2009, W: Innowacyjne i przyjazne dla środowiska systemy przeróbce surowców mineralnych w aspekcie zrównoważonego rozwoju, ITG KOMAG, Gliwice 2009, s. 225-236
- [5] Matusiak P., Kowol D., Jędo A.: Rozwój konstrukcji i technologii w osadzarkach pulsacyjnych typu Komag do wzbogacania węgla kamiennego i innych surowców mineralnych, KOMEKO 2011. W: Innowacyjne i przyjazne dla środowiska techniki i technologie przeróbki surowców mineralnych. Bezpieczeństwo - Jakość - Efektywność, ITG KOMAG, Gliwice 2011, s. 73-86
- [6] Osoba M., Jędo A.: Wpływ modernizacji osadzarek na uzyskiwane parametry jakościowe produktów wzbogacania, KOMEKO 2000. W: Produkcja surowców mineralnych z uwzględnieniem problemów ochrony środowiska, ITG KOMAG, Gliwice 2000, s. 1-7
- [7] Matusiak P., Kowol D.: Maszyny do przeróbki mechanicznej konstruowane w ITG KOMAG. Masz. Gór. 2013 nr 2 s. 71-76, ISSN 0209-3693
- [8] Dokumentacja fotograficzna ITG KOMAG

Możliwości zwiększenia efektywności procesu produkcji miałów węgla koksowych poprzez wzrost dokładności wtórnego wzbogacania półproduktu w osadzarce pulsacyjnej

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

Possibility of increasing the effectiveness of coking coal fines production by increasing separation efficiency in secondary beneficiation of middlings in a pulsating jig

Streszczenie:

Wyniki wzbogacania węgla koksowego o uziarnieniu 20(30)-0,5 mm w osadzarkach pulsacyjnych zależą od wzbogacalności węgla surowego, konfiguracji układu technologicznego przeróbki węgla oraz parametrów rozdziału operacji przeróbczych. Szeroki zakres uziarnienia 20(30)-0,5 mm oraz wymagane niskie zapocielenie produktu koncentratowego powodują konieczność produkcji przerostu, którego ilość ze względów ekonomicznych powinna być jak najmniejsza. Efektywność wtórnego wzbogacania półproduktu w osadzarce pulsacyjnej zależy zarówno od skuteczności grawitacyjnego rozdziału materiału na produkt koncentratowy i odpadowy jak i od parametrów jakościowych nadawy. W artykule przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych których celem było określenie wpływu zakresu uziarnienia nadaw przerostowych na skuteczność rozdziału. Przedstawiono koncepcję osadzarkowego węzła wtórnego wzbogacania półproduktu umożliwiającą zwiększenie efektywności produkcji węgla koksowych.

Słowa kluczowe: węgiel kamienny, osadzarka pulsacyjna, skuteczność rozdziału, wtórne wzbogacanie półproduktu

Keywords: hard coal, pulsating jig, separation effectiveness, secondary beneficiation of middlings

Abstract:

Effectiveness of separation of coking coal of gain size 20(30)-0,5 mm in pulsating jigs depend on washing ability of raw coal, configuration of technological line as well as on technological parameters. Broad range of grain sizes 20(30)-0,5 mm as well as required low ash content in coal concentrate force a necessity of production greater volume of middlings, which should be as low as possible due to economic reasons. Effectiveness of secondary beneficiation of middlings in a pulsating jig depends both on effectiveness of gravitational separation into a concentrate and waste product as well as on qualitative parameters of feed material. Results of laboratory tests on impact of size range of middlings particles on separation effectiveness are presented. Concept of jig node of secondary beneficiation of middlings to increase effectiveness of coke coal production is given.

1. Wprowadzenie

Podczas wzbogacania węgla koksowego o uziarnieniu 20(30)-0,5 mm w osadzarkach pulsacyjnych proces rozdziału materiału realizowany jest przeważanie trójproduktowo [3, 6].

Udział w nadawie ziaren przerostowych przekraczający 5-10% powoduje konieczność otrzymywania, oprócz produktu koncentratowego i odpadowego, również półproduktu (produktu przejściowego) w celu uzyskania węgla do koksowania o zawartości popiołu do 9% [1, 2].

W zależności od ilości ziaren przerostowych w nadawie i wychodu półproduktu, zawierającego oprócz ziaren przerostowych również drobne ziarna odpadowe i duże ziarna węglowe, uzasadnione względami ekonomicznymi może być stosowanie wtórnego wzbogacania półproduktu w oddzielnej osadzarce w celu zwiększenia produkcji i poprawy jakości węgla do koksowania.

Znaczny udział ziaren przerostowych w nadawie kierowanej do osadzarki, przeznaczonej do wtórnego wzbogacania półproduktu, utrudnia proces rozdziału, którego przebieg dodatkowo uzależniony jest od wychodu i jakości produktu uzyskiwanego z osadzarek wzbogacających materiał surowy. Zmienność charakterystyki nadawy oraz trudność jej wzbogacania wpływa niekorzystnie na stabilność wyników uzyskiwanych podczas tego procesu [5].

Wyniki wzbogacania półproduktu w osadzarce wtórnej mogą być niezadowalające w przypadku występowania przerw w dostarczaniu nadawy lub niedociążenia materiałem zawierającym małe ilości ziaren odpadowych. Drobne uziarnienie frakcji odpadowych zawartych w półprodukcie powoduje, że są one w znacznej części odprowadzane z komory roboczej osadzarki poprzez otwory sit. Proces ten nie podlega kontroli przez automatyczne układy odprowadzania produktu ciężkiego, który jest realizowany miejscowo, przy progu przedziału, poprzez regulację otwarcia szczeliny przepustowej.

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych których celem było określenie wpływu zakresu uziarnienia nadaw przerostowych na skuteczność rozdziału.

Rozwiązaniem umożliwiającym uzyskanie poprawy skuteczności wzbogacania półproduktu poprzez zmniejszenie charakterystycznego dla tego produktu znacznego udziału ziaren równopadających jest zmniejszenie zakresu uziarnienia materiału w wyniku skruszenia ziaren o największym rozmiarze.

Skuteczność osadzarkowego procesu wtórnego wzbogacania półproduktu w klasach ziarnowych 30-0,5 mm i 16-0,5 mm została określona w oparciu o dokładność gęstościowego rozwarstwiania materiału w osadzarce oraz uzysk ziaren frakcji węglowych w produkcie koncentratowym [4].

2. Metodyka badań

Badania skuteczności wtórnego wzbogacania półproduktu przeprowadzono na stanowisku osadzarki laboratoryjnej wyposażonej w elektroniczny system sterowania zaworów pulsacyjnych regulujących parametry przepływu powietrza roboczego.

Materiał do prób przygotowano z próbek półproduktu otrzymywanego w wyniku przemysłowego wzbogacania nadawy węglowej o uziarnieniu 30-0 mm w trójproduktowej osadzarce pulsacyjnej.

W ww. osadzarce półprodukt był produktem ciężkim otrzymywanym w trzecim przedziale roboczym. Po oddzieleniu z próbki ziaren poniżej 0,5 mm przeprowadzono rozdział materiału w cieczach ciężkich o gęstości $1,4 \text{ g/cm}^3$ i $1,8 \text{ g/cm}^3$ w celu przygotowania nadawy do laboratoryjnych prób wzbogacania. Udział ziaren koncentratowych o gęstości $<1,4 \text{ g/cm}^3$ wynosił 59%, przerostowych o gęstości $1,4-1,8 \text{ g/cm}^3$ wynosił 24% a odpadowych o gęstości $>1,8 \text{ g/cm}^3$ był równy 17%.

Materiał nadawy wprowadzono do komory roboczej osadzarki warstwowo zaczynając od frakcji zawierającej ziarna o najmniejszej gęstości. Kolejno wprowadzane ziarna o gęstości $<1,4 \text{ g/cm}^3$, $1,4-1,8 \text{ g/cm}^3$ i $>1,8 \text{ g/cm}^3$ tworzyły warstwę węglową, przerostową i odpadową wypełniając komorę roboczą o powierzchni $0,087 \text{ m}^2$ do wysokości około 0,21 m.

Badania w osadzarce laboratoryjnej poprzedzono próbami wstępnymi, podczas których dobrano parametry pulsacji dla analizowanego materiału. Dobór parametrów miał na celu opracowanie optymalnych parametrów, umożliwiających najbardziej efektywne rozwarstwianie się łoża w trakcie procesu. Opracowane parametry doświadczeń zestawiono w tabeli 1.

Zestawienie parametrów doświadczeń [4]

Tabela 1

Parametr	Wartość
Częstotliwość pulsacji [min^{-1}]	60
Czas wlotu powietrza [ms]	200
Czas przerwy [ms]	310
Czas wylotu powietrza [ms]	200
Czas przerwy [ms]	290
Czas całego cyklu pulsacji [ms]	1000
Skok pulsacji [mm]	80
Wydajność dmuchawy [%]	85
Natężenie dopływu wody dolnej [m^3/h]	1,5

Po zakończeniu wzbogacania półproduktu i usunięciu z osadzarki wody opróżniono komorę roboczą osadzarki z materiału otrzymując trzy warstwy. Wysokość warstwy I (górnej), wynoszącej 0,12 m i warstwy II (środkowej), równej 0,05 mm, odpowiadały ilości ziaren węglowych o gęstości $<1,4 \text{ g/cm}^3$ i ziaren przerostowych o gęstości $1,4\text{--}1,8 \text{ g/cm}^3$, wprowadzonych do komory roboczej osadzarki przed doświadczeniem. Pozostały na powierzchni sita komory roboczej materiał stanowił warstwę III (dolną) zawierającą głównie ziarna odpadowe o gęstości $>1,8 \text{ g/cm}^3$. Ilość przepadu odprowadzanego z komory roboczej przez elastyczne sito o szczelinie otworów wynoszącej 2,5 mm nie była uwzględniana podczas analiz procesu gęstościowego rozwarstwiania ze względu na stosowany sposób wprowadzania poszczególnych frakcji materiału do osadzarki.

Materiał warstw poddano analizom grawimetrycznym w cieczach ciężkich o gęstości 1,3; 1,4; 1,5; 1,6; 1,7 i $1,8 \text{ g/cm}^3$ w celu określenia udziałów frakcji gęstościowych w produktach osadzarkowego rozwarstwiania półproduktu w klasie ziarnowej 30-0,5 mm. Analizy gęstościowe wykonano zgodnie z normą PN-G-04559:1997. Następnie każdą z uzyskanych frakcji gęstościowych klasyfikowano na sicie o otworach 16 mm uzyskując możliwość oceny procesu rozdziału materiału w klasach ziarnowych 30-16 mm i 16-0,5 mm.

W celu określenia wpływu uziarnienia na skuteczność wzbogacania półproduktu klasofrakcje o uziarnieniu 30-16 mm skruszono do zakresu 16-0,5 mm i po połączeniu odpowiednich frakcji gęstościowych powtórnie wzbogacono w osadzarce laboratoryjnej (materiał przepadu łączono z ziarnami o gęstości $>1,8 \text{ g/cm}^3$).

Sposób realizacji prób osadzarkowego wzbogacania półproduktu w klasie ziarnowej 16-0,5 mm był taki sam jak podczas rozdziału półproduktu w klasie 30-0,5 mm podobnie jak zastosowane parametry procesowe.

Przeprowadzony podczas badań rozdział materiału na trzy warstwy umożliwił ocenę skuteczności wzbogacania nadawy półproduktowej wariantowo dla dwóch gęstości rozdziału. W wariantcie I materiał warstwy I zaliczano do produktu koncentratowego, a materiał warstwy II, III do produktu odpadowego. Przy drugim podziale do produktu koncentratowego zaliczano materiał warstw I i II, a do produktu odpadowego materiał warstwy III.

Na podstawie uzyskanych wychodów produktów wzbogacania i ich składów grawimetrycznych określano, zgodnie z normą PN-G-07020:1997, gęstości rozdziału oraz wartości wskaźników charakteryzujących skuteczność wzbogacania tj. rozproszenia

prawdopodobnego E_p i imperfekcji I dla dwuproduktowego i dwuwariantowego rozdziału nadawy półproduktowej w klasie 30-0,5 mm, w klasofrakcjach 30-16 i 16-0,5 mm oraz w klasie 16-0,5 mm.

3. Wyniki badań

Parametry jakościowe nadawy

Materiał nadawy, którego rozdział analizowano w oparciu o wyniki gęstościowego rozwarstwiania we wnętrzu komory roboczej osadzarki laboratoryjnej, otrzymano z półproduktu o uziarnieniu 30-0,5 mm, uzyskiwanego w procesie przemysłowym.

W tabeli 2 zamieszczono składy gęstościowe spreparowanych nadaw doświadczalnych.

Składy gęstościowe nadaw doświadczalnych [4]

Tabela 2

Gęstość frakcji [g/cm ³]	Klasa ziarnowa, mm			
	30-0,5			16-0,5 [%]
	Całość [%]	Klasofrakcja 30-16 [%]	Klasofrakcja 16-0,5 [%]	
<1,4	58,43	68,38	56,34	57,30
1,4-1,8	28,65	24,95	29,43	30,53
>1,8	12,92	6,67	14,23	12,17
Suma	100,00	100,00	100,00	100,00
Udział	100,00	17,30	82,70	100,00

Skuteczność procesu dwuproduktowego wzbogacania półproduktu 30-0,5 mm określono w oparciu o analizy dokładności rozwarstwienia materiału wg gęstości ziaren dla dwóch gęstości rozdziału. Uzyskane podczas badań laboratoryjnych zróżnicowanie gęstości rozdziału wynoszących 1,42 g/cm³ i 1,67 g/cm³ wynikało z przyjętego podziału warstw wzbogacanego materiału na produkt koncentratowy i odpadowy (polegającego na alternatywnym dodaniu materiału warstwy II do warstwy I lub do warstwy III).

W tabeli 3 zestawiono parametry procesu rozdziału uzyskane podczas badań osadzarkowego rozdziału nadawy o uziarnieniu 30-0,5 mm, z uwzględnieniem klasofrakcji 30-16 mm oraz 16-0,5 mm.

Zestawienie parametrów procesu rozdziału klasy ziarnowej 30-0,5 mm [4]

Tabela 3

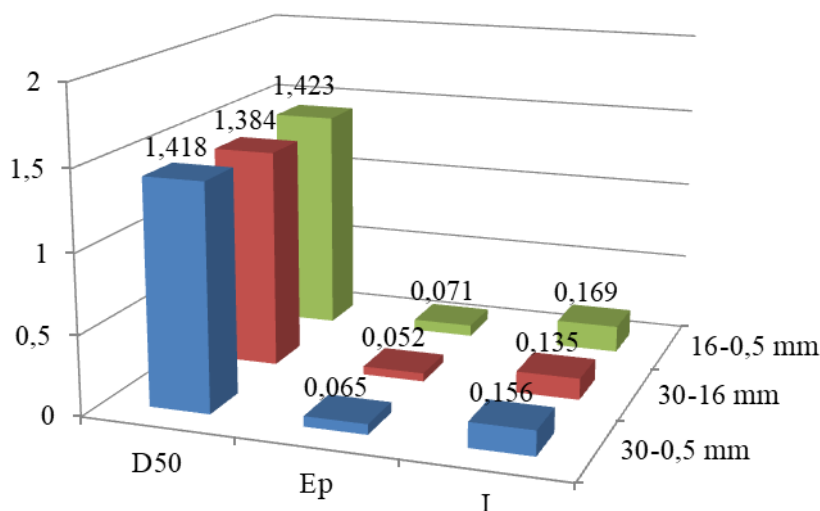
Parametr	Rozdział I		
	30-0,5 mm	Klasofrakcja	
		30-16 mm	16-0,5 mm
Gęstość rozdziału D_{50} [g/cm ³]	1,418	1,384	1,423
Rozproszenie prawdopodobne E_p [g/cm ³]	0,065	0,052	0,071
Imperfekcja I	0,156	0,135	0,169
Parametr	Rozdział II		
	30-0,5 mm	Klasofrakcja	
		30-16 mm	16-0,5 mm
Gęstość rozdziału D_{50} [g/cm ³]	1,668	1,703	1,651
Rozproszenie prawdopodobne E_p [g/cm ³]	0,161	0,099	0,168
Imperfekcja I	0,241	0,141	0,258

Analiza skuteczności wzbogacania półproduktu, w którym materiał warstwy I stanowił produkt koncentratowy a pozostała w komorze część materiału produkt odpadowy, wykazała, że przy gęstości rozdziału $D_{50}=1,418 \text{ g/cm}^3$ uzyskana wartość rozproszenia prawdopodobnego $E_p=0,065 \text{ g/cm}^3$. Wynikowa wartość imperfekcji I wyniosła 0,156.

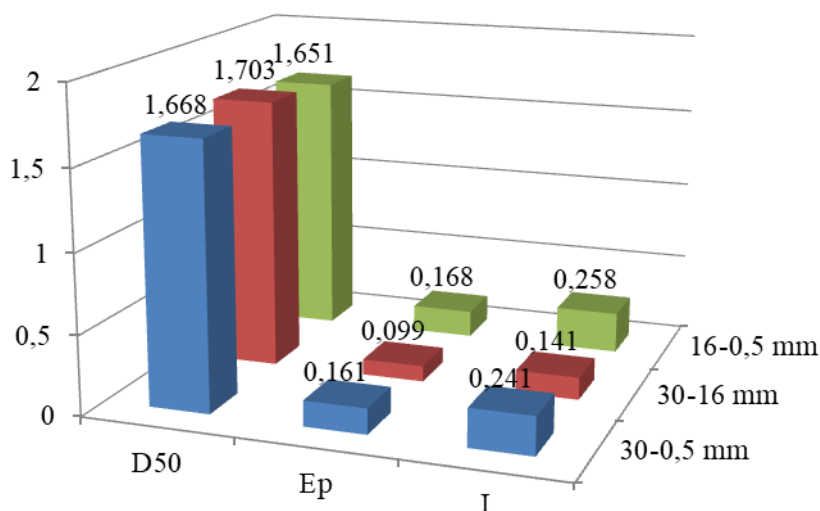
W przypadku, gdy materiał warstw I i II stanowił produkt koncentratowy, a materiał warstwy III produkt odpadowy, uzyskana wartość rozproszenia prawdopodobnego E_p była równa $0,161 \text{ g/cm}^3$, przy gęstości rozdziału $D_{50}=1,668 \text{ g/cm}^3$. Wynikowa wartość imperfekcji I wyniosła 0,241.

Analiza rozdziału klasofrakcji wykazała, że zgodnie z przewidywaniami, parametry rozdziału były korzystniejsze dla klasofrakcji 30-16 mm. Wartości rozproszenia prawdopodobnego dla ww. uziarnienia wyniosły $0,052 \text{ g/cm}^3$ dla rozdziału I oraz $0,099 \text{ g/cm}^3$ dla rozdziału II. Wynikowe wartości imperfekcji wyniosły odpowiednio 0,135 i 0,141.

Wyniki zawarte w tabeli 2 przedstawiono graficznie na rysunkach 1 i 2.



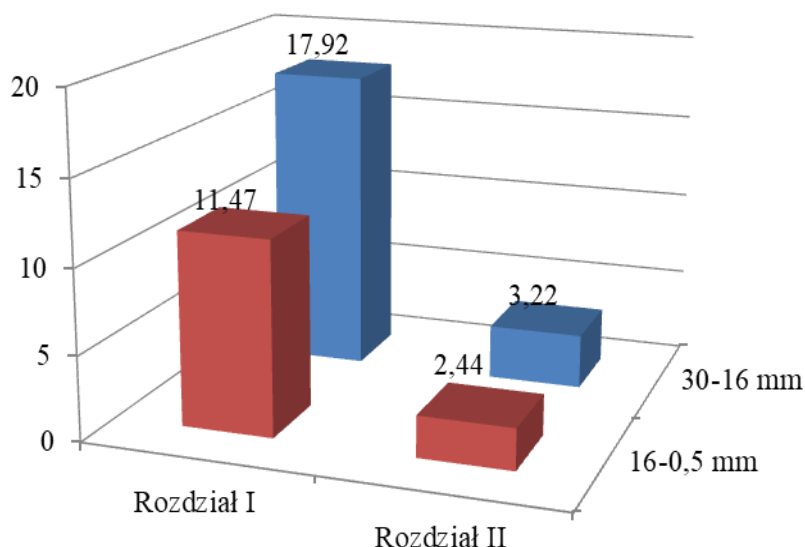
Rys. 1. Wpływ uziarnienia nadawy na parametry rozdziału klasy ziarnowej 30-0,5 mm – Rozdział I [4]



Rys. 2. Wpływ uziarnienia nadawy na parametry rozdziału klasy ziarnowej 30-0,5 mm – Rozdział II [4]

Analiza liczb rozdziału frakcji węglowych w warstwie III wskazujących na wielkość strat w produkcie odpadowym wykazała, że były one mniejsze przy rozdziale klasofrakcji 16-0,5 mm. Dla klasy 30-16 mm straty frakcji $<1,4 \text{ g/cm}^3$ w produkcie odpadowym wynosiły przy rozdziale I odpowiednio 17,92% a dla klasy 16 – 0,5 mm 11,47%. Przy rozdziale II straty ww. frakcji węglowych były niższe i wynosiły dla analizowanych klasofrakcji 30-16 mm oraz 16-0,5 mm odpowiednio 3,22% oraz 2,44%.

Na podstawie powyższych wyników badań można stwierdzić, że udział ziaren węglowych klasy 30-16 mm w półprodukcie o uziarnieniu 30-0,5 mm może powodować zwiększenie strat substancji palnej w produkcie odpadowym podczas dwuproduktowego procesu wzbogacania półproduktu.



Rys. 3. Udziały frakcji $<1,4 \text{ g/cm}^3$ w produkcie odpadowym [4]

Analiza porównawcza wyników badań osadzkowego wzbogacania półproduktu w klasie ziarnowej 30-0,5 mm i 16-0,5 mm uzyskanej przez skruszenie ziaren klasy 30-16 mm o udziale 17,3 wykazała, że dwukrotne zmniejszenie zakresu uziarnienia w niewielkim stopniu wpłynęło na zmianę skuteczności dwuproduktowego rozdziału materiału charakteryzowanej rozproszeniem prawdopodobnym E_p . Zestawienie parametrów procesu rozdziału analizowanych klas ziarnowych zebrano w tabeli 4.

Porównanie parametrów procesu rozdziału klas ziarnowych 30-0,5 mm i 16-0,5 mm [4]

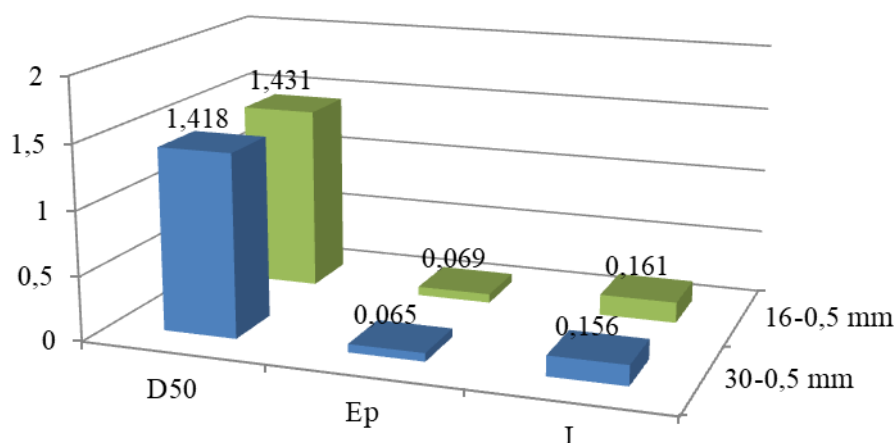
Tabela 4

Parametr	Rozdział I	
	Klasa ziarnowa	
	30-0,5 mm	16-0,5 mm
Gęstość rozdziału D_{50} , g/cm^3	1,418	1,431
Rozproszenie prawdopodobne E_p , g/cm^3	0,065	0,069
Imperfekcja I	0,156	0,161
Parametr	Rozdział II	
	Klasa ziarnowa	
	30-0,5 mm	16-0,5 mm
Gęstość rozdziału D_{50} , g/cm^3	1,668	1,695
Rozproszenie prawdopodobne E_p , g/cm^3	0,161	0,161
Imperfekcja I	0,241	0,231

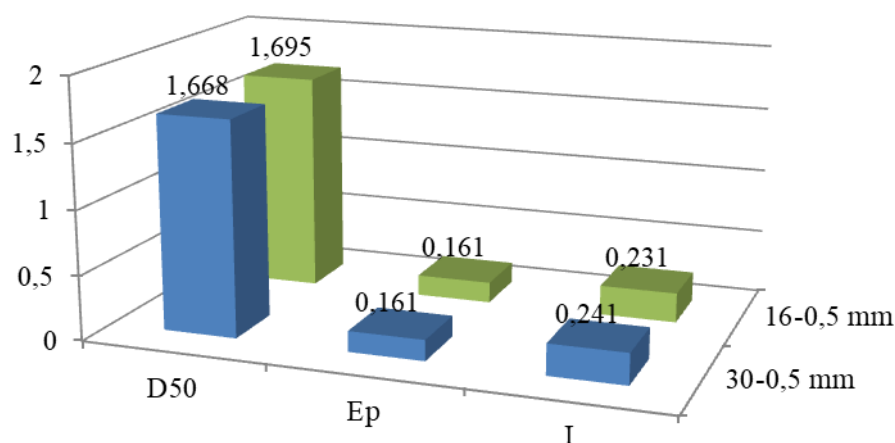
Przy zbliżonych gęstościach I rozdziału D_{50} wynoszących $1,418 \text{ g/cm}^3$ dla klasy 30-0,5 mm oraz $1,431 \text{ g/cm}^3$ dla klasy 16-0,5 mm, uzyskane wartości E_p wynosiły odpowiednio $0,065 \text{ g/cm}^3$ i $0,069 \text{ g/cm}^3$. Wynikowe wartości imperfekcji I wyniosły odpowiednio 0,156 oraz 0,161.

Przy gęstościach II rozdziału D_{50} wynoszących $1,668 \text{ g/cm}^3$ dla klasy 30-0,5 mm, oraz $1,695 \text{ g/cm}^3$ dla klasy 16-0,5 mm, wartości E_p były jednakowo równe $0,161 \text{ g/cm}^3$. Dla rozdziału II wynikowe wartości imperfekcji I wyniosły odpowiednio 0,241 oraz 0,231.

Wyniki zawarte w tabeli 3 przedstawiono graficznie na rysunkach 4 i 5.



Rys. 4. Porównanie parametrów rozdziału klas ziarnowych 30-0,5 mm i 16-0,5 mm – Rozdział I [4]

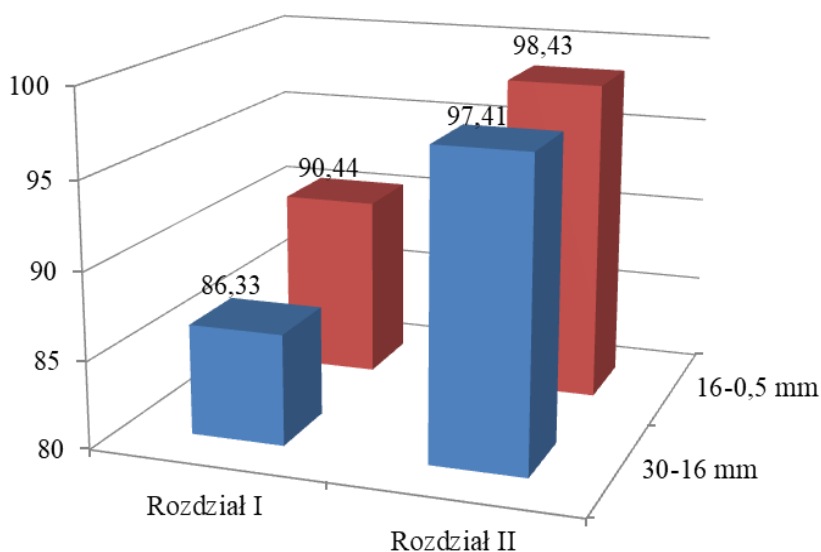


Rys. 5. Porównanie parametrów rozdziału klas ziarnowych 30-0,5 mm i 16-0,5 mm – Rozdział II [4]

Analiza uzysku ziaren węglowych o gęstości $<1,4 \text{ g/cm}^3$ w produktach koncentratowych wykazała korzystny wpływ zastosowanego podczas badań zmniejszonego zakresu uziarnienia nadawy półproduktowej na ilość koncentratu węglowego.

Przy gęstościach rozdziału D_{50} w zakresie $1,42\text{-}1,43 \text{ g/cm}^3$ uzysk ziaren węglowych w produkcie koncentratowym klasy 16-0,5 mm wynoszący 90,4% był o 4,1% większy niż w produkcie koncentratowym klasy 30-0,5 mm.

W przypadku stosowania większych gęstości rozdziału D_{50} w przedziale 1,67-1,7 g/cm³ odnotowany większy uzysk ziaren węglowych w produkcie koncentratowym przy rozdziale nadawy 16-0,5 mm był niższy i wyniósł 1%.



Rys. 6. Uzysk frakcji węglowych o gęstości $<1,4$ g/cm³ w produkcie koncentratowym [4]

4. Koncepcja wtórnego wzbogacania półproduktu

Zwiększenie efektywności procesu produkcji węgla koksowych poprzez wzrost dokładności wtórnego wzbogacania półproduktu w osadzarce pulsacyjnej jest możliwe po wprowadzeniu zmian technologicznych w węźle wzbogacania nadawy przerostowej oraz dostosowanie osadzarki do charakterystyki materiału.

Przedstawione w koncepcji rozwiązania uwzględniają wykazany w badaniach wpływ zakresu uziarnienia nadawy i obciążenia materiałem osadzarki wtórnym wzbogacającym półprodukt na skuteczność rozdziału trudnowzbogalnej nadawy przerostowej [4].

Czynnikami mającymi ujemny wpływ na dokładność rozdziału materiału w osadzarkowym węźle wzbogacania półproduktu jest:

- szeroki zakres uziarnienia nadawy wynoszący 20(30)-0 mm,
- znaczny przekraczający 20% udział w nadawie ziaren frakcji przerostowych, o gęstości 1,4-1,8 g/cm³,
- duży wynoszący około 40% udział w nadawie materiału drobnoziarnistego w klasie 2-0 mm,
- niestabilne i nadmierne obciążenie wtórnej osadzarki materiałem.

Zmiana zakresu składu granulometrycznego nadawy

Wzrost dokładności rozdziału materiału w osadzarce pulsacyjnej wzbogacającej wtórnym półprodukt w klasie ziarnowej 20(30)-0 mm jest możliwy poprzez zmniejszenie uziarnienia nadawy np. do 8-2 mm.

Proponowany zakres uziarnienia nadawy przerostowej zmniejsza udział ziaren równopadających i dzięki temu wpływa korzystnie na dokładność osadzarkowego procesu wzbogacania półproduktu.

W celu uzyskania nadawy przerostowej w wąskiej klasie ziarnowej 8-2 mm półprodukt z osadzarek wzbogacających węgiel surowy 20(30)-0 mm powinien być klasyfikowany na dwupokładowym przesiewaczu o rozmiarach otworów sit wynoszących 8 mm i 2 mm.

Produkt górny klasyfikacji w klasie 20(30)-8 mm po rozdrobnieniu w kruszarce byłby łączony z materiałem w klasie 8-2 mm i kierowany do wtórnej osadzarki. Prognozowany wg wyników badań udział ziaren klasy 20(30)-8 mm w półprodukcie o uziarnieniu 20(30)-0 mm wynosi około 20%.

W proponowanym rozwiązaniu produkt dolny klasyfikacji na przesiewaczu o uziarnieniu 2-0 mm powinien być wzbogacany w oddzielnych węzłach wzbogacania.

Półprodukt w klasie ziarnowej 2-0,5 mm podlegałby grawitacyjnemu wzbogacaniu w układzie urządzeń hydrocyklon i wzbogacalnik zwojowy lub wzbogacalnik z autogenicznym łóżem zawieszynowym (TBS) i wzbogacalnik zwojowy natomiast rozdział materiału o uziarnieniu <0,5 mm byłby realizowany przy wykorzystaniu procesu flotacji. Prognozowany wg wyników badań udział klasy ziarnowej 2-0 mm w półprodukcie o uziarnieniu 20(30)-0 mm wynosi około 40%, w tym udział ziaren <0,5 mm około 10%.

Zasilanie wtórnej osadzarki nadawą

Korzystnym rozwiązaniem zapewniającym stabilne obciążenie materiałem osadzarki wtórnie wzbogacającej półprodukt jest jego składowanie w zbiorniku wyrównawczym.

Zapewnienie równomiernego zasilania osadzarki nadawą jest jednym z podstawowych warunków procesowych pozwalających na uzyskiwanie zarówno wysokiej dokładności rozdziału materiału jak i na ułatwienie obsługi wzbogacalnika poprzez eliminację konieczności dokonywania regulacji technologicznych każdorazowo po zmianie ilości dostarczanej nadawy.

Składowanie półproduktu w zbiorniku wyrównawczym wyposażonego w zasuwę regulacyjną umożliwi stabilizowanie obciążenia nadawą wtórnej osadzarki szczególnie w przypadku ograniczonego wychodu półproduktu z osadzarek wzbogacających węgiel surowy.

Zawężenie uziarnienia nadawy przerostowej między innymi przez oddzielenie klasy ziarnowej 2-0 mm umożliwi zmniejszenie obciążenia osadzarki wtórnie wzbogacającej półprodukt o około 40% co może wpłynąć na wzrost dokładności grawitacyjnego rozdziału nadaw przerostowych.

Technologia trójproduktowego wzbogacania

Rozwiązaniem umożliwiającym jednoczesną lub alternatywną produkcję koncentratów węglowych jest zastosowanie trójproduktowego procesu wzbogacania w trójprzedziałowej osadzarce.

Przy zastosowaniu trójproduktowego wzbogacania półproduktu we wtórnej osadzarce produktem lekkim odprowadzanym przelewem mógłby być węgiel koksowy, natomiast produktami ciężkimi: produkt odpadowy odprowadzany z pierwszego lub z pierwszego i drugiego przedziału oraz węgiel energetyczny odprowadzany z drugiego i trzeciego przedziału lub tylko z trzeciego przedziału.

Propozycja trójproduktowego wzbogacania półproduktu we wtórnej osadzarce zwiększa zakres sterowania produkcją koncentratów węglowych i potencjalnie zmniejsza prawdopodobieństwo występowania znaczących strat węgla w odpadach. Wadą powyższego

rozwiązania jest konieczność zastosowania dodatkowego przenośnika kubelkowego, wirówki odwadniającej węgiel energetyczny oraz zabudowy dodatkowych przenośników taśmowych.

Celowość zastosowania trójproduktowej technologii wzbogacania półproduktu we wtórnej osadzarce w przypadku planowania w niej produkcji węgla koksowych o niskiej zawartości popiołu uzasadniają wyniki analiz składu densymetrycznego nadaw przerostowych, w których udział frakcji węglowych o gęstości $<1,4 \text{ g/cm}^3$ był znaczny i zawierał się w przedziale od 50 do 65%.

Jednoczesne uzyskiwanie z wtórnej osadzarki wysokopopiołowego węgla energetycznego zawierającego oprócz frakcji przerostowych (których udział w nadawach wynosił od 20 do 30%) również część frakcji węglowych może korzystnie wpłynąć na efektywność ekonomiczną procesu produkcyjnego.

Sterowanie ruchem pulsacyjnym wody

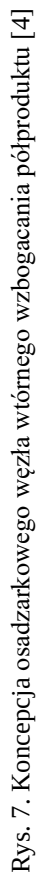
W osadzarce wzbogacającej półprodukt charakteryzujący się małym uziarnieniem frakcji odpadowych na skuteczność rozdziału materiału w istotny sposób wpływa powierzchniowe odprowadzanie części drobnoziarnistego produktu ciężkiego przepadem przez otwory sit zabudowanych w przedziałach roboczych.

Automatyczna regulacja procesu powierzchniowego odprowadzania produktu ciężkiego może korzystnie wpłynąć, zarówno na skuteczność rozdziału materiału jak i na stabilizację parametrów jakościowych uzyskiwanych produktów wzbogacania.

W proponowanym rozwiązaniu, dla trójprzedziałowej osadzarki, automatyczna regulacja ilości odprowadzanego przepadem produktu ciężkiego realizowana będzie w drugim i trzecim przedziale roboczym przy wykorzystaniu zmian ilości sprężonego powietrza dostarczanego do komór pulsacyjnych. Zmiany ciśnienia będą następowały w oparciu o pomiar ciśnienia w podsitowej części osadzarki. Wzrost ciśnienia w ww. części osadzarki, na skutek przyrostu grubości warstwy osadzających się na powierzchni sitowej ziaren frakcji ciężkich, po przekroczeniu zadanej wartości ciśnienia, będzie powodować okresowe, jednoczesne i współzależne zwiększenie natężenia ruchu pulsacyjnego wody i ilości odprowadzanego przepadem produktu ciężkiego.

Korzystnym rozwiązaniem umożliwiającym skuteczne realizowanie powyższej technologii odprowadzania produktu ciężkiego jest zastosowanie, w miejsce stalowych, elastycznych sit poliuretanowych charakteryzujących się samooczyszczaniem otworów. W odróżnieniu od drugich i trzecich przedziałów osadzarki przedział pierwszy, w którym następuje wprowadzenie i rozprowadzenie materiału nadawy, powinien być wyposażony w sita metalowe o szczelinie nie większej niż 2 mm dla ograniczenia przepadu ziaren z nierozwarstwowanego gęstościowo łoża. W pierwszym przedziale osadzarki odprowadzanie produktu odpadowego powinno być realizowane głównie przez szczelinowy przepust usytuowany w części końcowej przedziału.

Opracowaną koncepcję wtórnego wzbogacania półproduktu pokazano na rysunku 7.



5. Podsumowanie

Przeprowadzenie badań skuteczności procesu wtórnego wzbogacania półproduktu po dwustopniowym wzbogacaniu węgla koksowych o uziarnieniu 20(30)-0 mm w osadzarkach miałowych oraz analiza procesu przemysłowego umożliwiło ocenę dokładności grawitacyjnego rozdziału trudno wzbogacalnych nadaw przerostowych oraz identyfikację czynników wpływających na skuteczność dwuproduktowego rozdziału materiału w osadzarkowym węźle wtórnego wzbogacania półproduktu.

W oparciu o analizę wyników badań opracowano koncepcję osadzarkowego węzła wtórnego wzbogacania półproduktu umożliwiającą zwiększenie efektywności produkcji węgla koksowych.

W proponowanych rozwiązaniach zwiększenie efektywności produkcji węgla koksowych w węźle osadzarkowego wzbogacania półproduktu może być uzyskiwane głównie poprzez:

- zawężenie składu granulometrycznego nadawy przerostowej z 20-0 mm do 8–2 mm poprzez kruszenie ziaren 20–8 mm i kierowanie ziaren 2-0 mm do oddzielnych węzłów wzbogacania (hydrocyklony, wzbogacalniki TBS, wzbogacalniki zwojowe, flotacja),
- zmniejszenie obciążenia wtórnej osadzarki trudnowzbogacalnym materiałem przez oddzielenie od półproduktu ziaren 2-0 mm,
- zastosowanie trójproduktowej technologii wzbogacania półproduktu w osadzarce pulsacyjnej umożliwiającej jednoczesną produkcję węgla koksowego i energetycznego,
- wprowadzenie w systemie sterowania osadzarką automatycznej regulacji procesu powierzchniowego odprowadzania produktu ciężkiego przepadem przez otwory sit komory roboczej.

Opracowane koncepcje rozwiązań technologiczno – konstrukcyjnych osadzarkowego węzła wtórnego wzbogacania półproduktu mogą być wykorzystane podczas realizacji zadań projektowych lub modernizacyjnych w celu zwiększenia efektywności produkcji węgla koksowych i energetycznych.

Literatura

- [1] Blaschke W.: Przeróbka węgla kamiennego – wzbogacanie grawitacyjne, Wydawnictwo Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków 2009
- [2] Blaschke W. i inni: Ekonomiczne kryterium wyboru sposobu wzbogacania miał węgla koksowego, Polityka Energetyczna Tom 12, Zeszyt 2/2, 2009, s. 29-41
- [3] Kowalczyk J., Strzelec G.: Jastrzębska Spółka Węglowa SA – jakość produkcji i technologia wzbogacania węgla. Inżynieria Mineralna z. 2(13), Wyd. Polskiego Towarzystwa Przeróbki Kopalin, Kraków 2004, s. 28–44
- [4] Kowol D. i inni.: Zwiększenie efektywności procesu produkcji węgla koksowych 20(30)-0,5 mm poprzez wzrost dokładności wtórnego wzbogacania półproduktu w osadzarce pulsacyjnej, ITG KOMAG Gliwice 2017 (materiały niepublikowane)
- [5] Lenartowicz M. i inni: Metoda doboru pokładów sitowych dla osadzarek wodnych pulsacyjnych, Górnictwo i Geoinżynieria, Rok 34, Zeszyt 4/1, 2010
- [6] Nycz R.: Aktualny stan przeróbki węgla kamiennego w Polsce. Inżynieria Mineralna z. 2, Wydawnictwo Polskiego Towarzystwa Przeróbki Kopalin, Kraków 2000, s. 3–29

Innowacyjne rozwiązania ITG KOMAG w zakresie automatyzacji węzłów osadzarkowych

dr inż. Sebastian Jendrysik
dr inż. Krzysztof Stankiewicz
dr inż. Dariusz Jasiulek
Instytut Techniki Górniczej KOMAG

KOMAG Innovative solutions in the jig node automation process

Streszczenie:

Jedną z najczęściej stosowanych metod przeróbki nadaw węglowych jest wzbogacanie w węzłach osadzarkowych. O skuteczności tego procesu decydują m.in. sterowanie natężeniem przepływu nadawy oraz odprowadzaniem produktów wzbogacania. Uzasadnia to potrzebę integracji układów sterowania poszczególnych maszyn wchodzących w skład węzła technologicznego, w jeden zintegrowany system. W artykule przedstawiono propozycję innowacyjnego połączenia układów sterowania maszyn tworzących węzeł osadzarkowy, bazującą na korelacjach parametrów procesowych.

Słowa kluczowe: osadzarka, przenośnik kubełkowy, układ sterowania

Keywords: jig, elevator, control system

Abstract:

One of most frequently applied methods of the aggregate and the coal feed processing is their beneficiation in jig nodes. Effectiveness of the process depends mainly on controlling the feed and distribution of beneficiation products. This justifies the need to integrate the control systems of individual machines, included in the technological node as a part of one integrated system. A proposal for an innovative combination of a machine control systems forming a jig node, based on correlations of process parameters is presented.

1. Wprowadzenie

Specjaliści z ITG KOMAG od wielu lat realizują prace dotyczące automatyzacji maszyn i procesów technologicznych [2, 3, 9, 11, 12, 13], w tym związanych ze wzbogacaniem węgla kamiennego w węzłach osadzarkowych. Stosunkowo nieduże koszty i wysoka wydajność powodują, że wzbogacanie nadaw węglowych w osadzarce pulsacyjnej jest jedną z najczęściej stosowanych metod w naszym kraju.

Istotnymi czynnikami, mającymi wpływ na prawidłowy przebieg procesu wzbogacania w osadzarce pulsacyjnej, są wydajne i precyzyjne sterowanie podawaniem nadawy oraz odprowadzanie produktów wzbogacania, co uzasadnia stosowanie zintegrowanego systemu sterowania, gwarantującego ciągłą i niezawodną pracę w warunkach zmiennego obciążenia.

W niniejszej pracy przedstawiono wybrane rozwiązania opracowane w ITG KOMAG, służące do budowy zintegrowanego układu sterowania węzłem osadzarkowym.

2. Charakterystyka układu sterowania węzła osadzarkowego

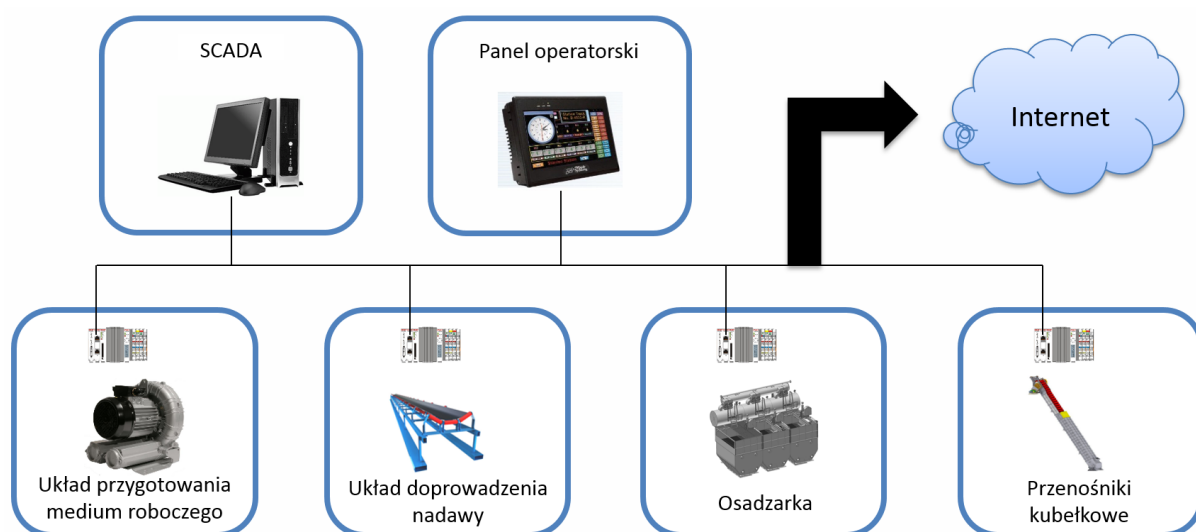
Poprzez węzeł osadzarkowy rozumie się osadzarkę oraz maszyny i urządzenia z jej najbliższego otoczenia. Urządzenia i maszyny stosowane w węzłach osadzarkowych dzielą się na kilka grup [15]:

- zespół przygotowania medium roboczego (dmuchawa powietrza, pompa hydrauliczna),
- osadzarka pulsacyjna z zespołami zaworów wlotowych i wylotowych (najczęściej talerzowych) i przepustnicami do wytworzenia pulsacji oraz z zaworami

elektrohydraulicznymi lub elektropneumatycznymi do automatycznego sterowania szerokością szczelin przepustowych, służących do odprowadzania materiału z dolnej warstwy łoża,

- przenośniki kubelkowe odprowadzające materiały z osadzarki,
- zasuw, przenośniki taśmowe, podajniki wibracyjne lub inne urządzenia do regulacji objętościowego natężenia przepływu nadawy.

Na rysunku 1 zaprezentowano przykładowy schemat układu sterowania węzłem osadzarkowym.



Rys. 1. Struktura rozproszonego systemu sterowania osadzarkowym węzłem wzbogacania [opracowanie własne]

Komponenty układu sterowania łączą się najczęściej za pomocą przemysłowych sieci komunikacyjnych takich jak EtherCat czy Profinet. Wymiana danych w takich systemach jest szybka i niezawodna. Połączenie sterownika PLC poprzez peryferyjne karty wejścia/wyjścia z elementami wykonawczymi i urządzeniami pomiarowymi, wykorzystanie paneli operatorskich i systemów wizualizacyjno-archiwizujących oraz zapewnienie niezawodnej transmisji danych pomiędzy elementami automatyki tworzy zintegrowany system sterowania, zapewniający kompleksową kontrolę nad całym procesem.

System sterowania węzłem osadzarkowym pozwala na automatyczną kontrolę obciążenia osadzarki i przenośników kubelkowych poprzez sterowanie strumieniem nadawy obejmujące, w zależności od rozwiązania układu podawania materiału, zmianę częstotliwości pracy podajników wibracyjnych, regulację otwarcia zasuw zbiornika buforowego i/lub regulację prędkości przenośników taśmowych. Sterowanie prędkościami przenośników kubelkowych umożliwia zminimalizowanie ich biegów jałowych i prowadzi do zmniejszenia zużycia energii elektrycznej oraz wydłużenia żywotności.

W zależności od wyposażenia osadzarki układ sterowania umożliwia:

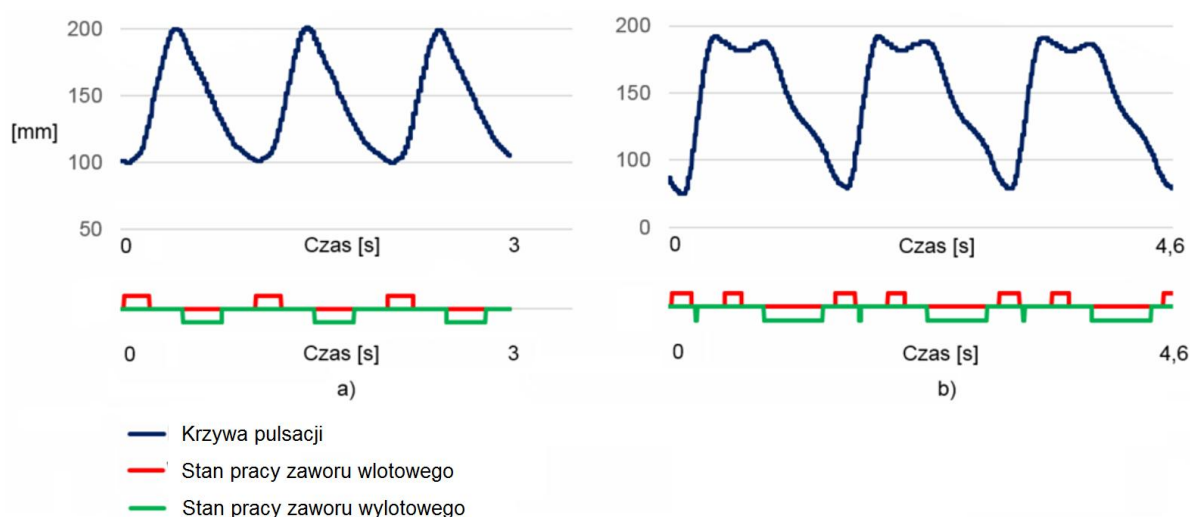
- automatyczne sterowanie osadzarką w miejscu zabudowy urządzenia wraz z możliwością sterowania poprzez system dyspozytorski,
- sterowanie pulsacją wody z możliwością zmiany jej parametrów w odniesieniu do długości i liczby cykli,
- automatyczną regulację odbioru produktów ciężkich,
- stabilizację rozluźnienia warstwy wzbogacanego materiału,

- automatyczne opróżnianie osadzarki,
- automatyczną regulację ciśnienia powietrza roboczego,
- automatyczną regulację dopływu wody dolnej,
- sterowanie prędkością przenośników kubelkowych,
- sterowanie natężeniem przepływu nadawy,
- rejestrację wielkości związanych z pracą maszyny.

W ramach pracy osadzarki pulsacyjnej układ pozwala na utrzymywanie cyklu czasowego pulsacji, a także na utrzymywanie zadanych parametrów syntetycznych pulsacji, poprzez automatyczne korekty długości faz cyklu. Nastawialne parametry pracy zaworów obejmują: częstotliwość cykli pulsacji, zmianę początku i zakończenia faz wlotu i wylotu powietrza, a także amplitudę pulsacji i ciśnienie w komorach powietrznych.

System może pracować:

- w cyklu jednofazowym (rys. 2a),
- w cyklu wielofazowym (rys. 2b).



Rys. 2. Przykładowe przebiegi pulsacji [opracowanie własne]

W zależności od konstrukcji mechanicznej układ steruje odbiorem produktu ciężkiego (istnieje możliwość niezależnego sterowania szczeliną upustową i ruchomym progiem), z uwzględnieniem pomiarów jego aktualnego położenia. Ruchomy próg może być sprzężony mechanicznie z przepustem regulującym wielkość szczeliny odprowadzającej produkt dolny lub posiadać sterowanie niezależne, umożliwiające korektę związku między położeniem progu i stopniem otwarcia przepustu. Regulacja położenia układu odbioru może być realizowana poprzez napędy hydrauliczne lub pneumatyczne. W układzie zainstalowane są również skrzynki przedziałowe, ułatwiające operatorowi sterowanie przepustem oraz regulację wysokości warstwy zadanej.

W części systemu realizującej sterowanie osadzarką mierzone są następujące parametry:

- wysokości warstwy rozdzielczej,
- natężenie przepływu wody dolnej w każdym przedziale,
- ciśnienie powietrza w komorach pulsacyjnych,
- ciśnienie powietrza w kolektorach,
- ciśnienie powietrza z dmuchawy.

W celu zapewnienia dyspozycyjności węzła i zminimalizowania ryzyka wystąpienia nieprzewidzianych przestojów, przewidziano archiwizację danych procesowych i ich zdalną analizę, w czasie rzeczywistym. Dane te mogą być przechowywane w ustandaryzowanym formacie, na serwerze lokalnym lub w chmurze umieszczonej na serwerze wewnątrz sieci firmowej lub nawet w chmurze publicznej. Taka struktura powoduje, że dane mogą być udostępnione firmie zewnętrznej (producent maszyny, firma serwisowa), która na ich podstawie może opracować konkretną instrukcję działania w sytuacjach awaryjnych. W wielu przypadkach może pozwolić to na zdalne zidentyfikowanie problemu i szybsze usunięcie przyczyn potencjalnej lub występującej już awarii. Zastosowane rozwiązanie umożliwia analizę stanu węzła zarówno w trybie pracy jak i spoczynku.

3. Wprowadzanie nadawy i odprowadzanie produktów wzbogacania

Jak podano w poprzednim rozdziale, układ sterowania realizuje również sterowanie natężeniem przepływu nadawy i wydajnością przenośników kubelkowych. W starszych rozwiązaniach węzłów osadzkowych wielkości te były stałe, a powiązanie maszyn związane było tylko z zachowaniem blokad, zapobiegających zasypaniu urządzeń w ciągu technologicznym. Obecnie w ITG KOMAG prowadzi się prace związane z poszukiwaniem dalszych korelacji parametrów procesowych pomiędzy poszczególnymi maszynami, celem opracowania bardziej doskonałych i niezawodnych algorytmów, umożliwiających skuteczne sterowanie zarówno natężeniem przepływu nadawy, jak również wydajnością przenośników kubelkowych.

3.1. Korelacje parametrów procesowych w węźle osadzkowym

Każdą osadzkę charakteryzuje wydajność nominalna, przy której osadzarka teoretycznie powinna uzyskać najwyższą sprawność. Wartość ta jest obliczana w odniesieniu do przyjętej średniej, często zaniżonej, wartości zawartości kamienia w nadawie. W praktyce, udział kamienia w nadawie zmienia się. Chwilowy wzrost, przekraczający nawet 60%, zdarza się często i jest istotny w odniesieniu do prędkości ruchu materiału po pokładzie osadzarki i rozluźniania łoża. W takich chwilach dodatkowo występuje powiększenie warstwy produktu ciężkiego, co może doprowadzić do przeciążenia przenośników kubelkowych. Dlatego też automatyzacja procesu podawania nadawy polegająca na możliwości dostosowania obciążenia w funkcji zawartości kamienia jest potrzebna i uzasadniona, szczególnie w przypadku braku taniej mechanicznej metody minimalizującej zmienność nadawy.

Z kolei wykorzystanie przemienników częstotliwości do sterowania prędkościami przenośników kubelkowych, powoduje zminimalizowanie ich biegów jałowych i prowadzi do zmniejszenia zużycia energii elektrycznej oraz wydłużenia żywotności [4]. W sytuacjach przeciążenia, umożliwia zwiększenie wydajności (ponad nominalną) nie dopuszczając do zasypania przenośnika, bez konieczności zmniejszenia ilości materiału doprowadzanego do osadzarki.

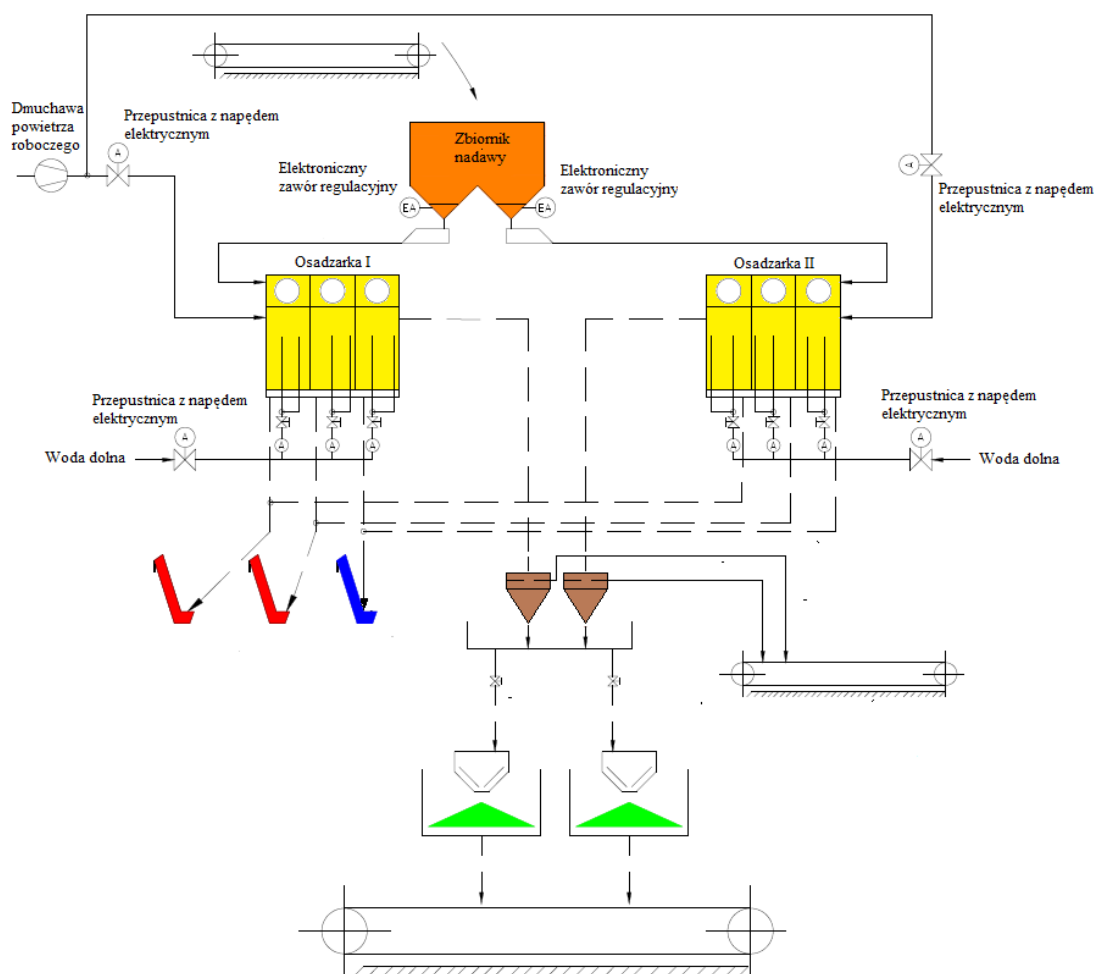
3.2. Sterowanie natężeniem przepływu nadawy

Sterowanie natężeniem przepływu nadawy dostarczanej do osadzarki jest procesem złożonym i musi być każdorazowo dostosowane do konkretnego rozwiązania. Wynika to

przede wszystkim z różnej konfiguracji urządzeń transportowych i transportowo-przygotowawczych. W pracy [10] autorzy wskazują, że zasilanie osadzarki nadawą najkorzystniej rozwiązać stosując dozownik z regulowaną wydajnością, zainstalowany pod zbiornikiem wyrównawczym podającym materiał na przenośnik taśmowy (wyposażony w wagę przenośnikową oddziaływującą na dozownik), a następnie przesiewacz łukowy lub wibracyjne sito łukowe, zabudowane bezpośrednio przed osadzarką, o szerokości koryta osadzarki. Celem zapewnienia szybkiej reakcji układu doprowadzenia nadawy, należy zagwarantować regulację wszystkich wymienionych urządzeń, rozpoczynając od tego najbliższej osadzarki. Za rozsądny kompromis można uznać jednak zmniejszenie prędkości taśm nadawczych z jednoczesnym dostosowaniem pracy dozownika.

W praktyce jednak nawet w nowych projektach, wymagania inwestora zawarte w SIWZ nie uwzględniają zabudowy przemienników częstotliwości do zasilania przenośników taśmowych. Jest to często spowodowane faktem, że taśma nadawcza dostarcza nadawę do kilku niezależnych osadzarek, co dodatkowo komplikuje regulację.

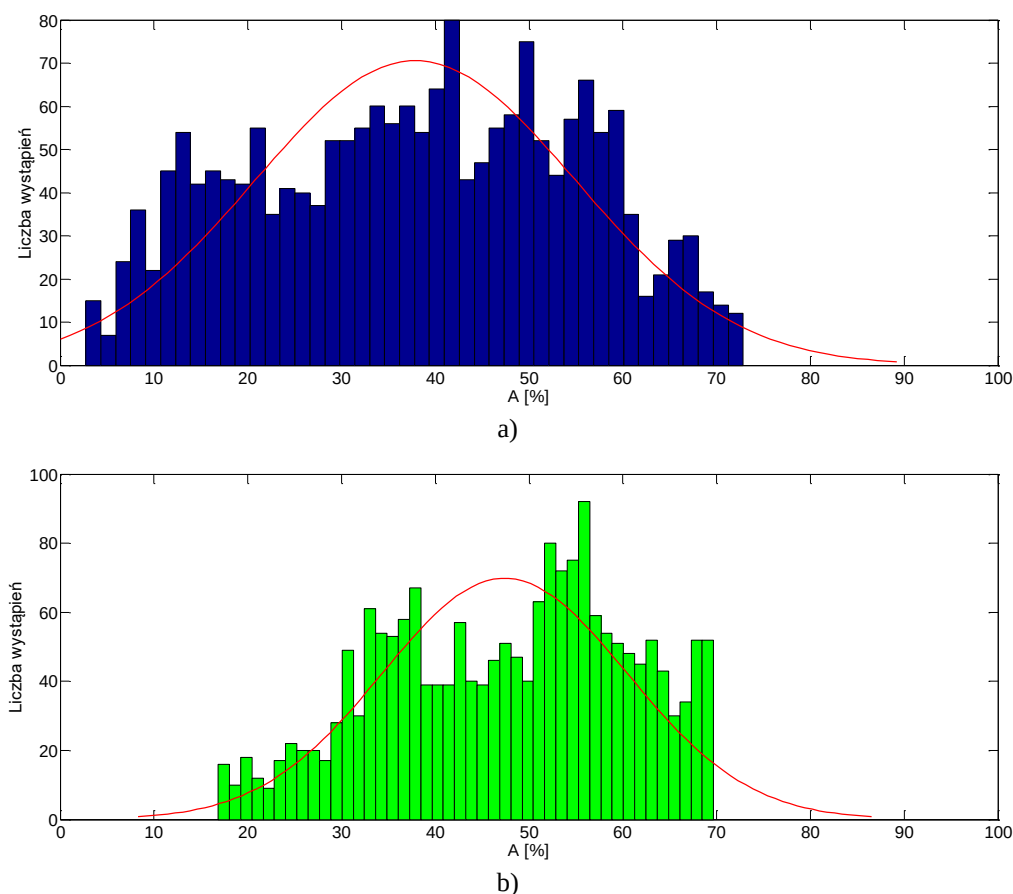
Próbie opracowania algorytmu sterującego natężeniem przepływu nadawy podjęto podczas wdrażania nowego systemu sterowania węzłem osadzarkowym w KWK Sośnica. Schemat technologiczny węzła przedstawiono na rysunku 3. W zaprezentowanym rozwiązaniu nadawa jest dostarczana do osadzarki za pośrednictwem zbiornika buforowego z regulowanymi hydraulicznie kłapami upustowymi. Pomimo, że taśmowy przenośnik nadawczy nie jest regulowany, taka konfiguracja pozwala na zmianę natężenie przepływu nadawy, wykorzystując objętość zbiornika.



Rys. 3. Schemat technologiczny węzła osadzarkowego w KWK Sośnica [8]

W ramach prowadzonych prac wdrożono algorytm, regulujący natężenie przepływu nadawy w funkcji zmian zawartości kamienia w nadawie. Parametr ten szacowany był na podstawie średniego stopnia otwarcia szczelin upustowych osadzarki.

Celem sprawdzenia skuteczności regulacji wyznaczono rozkłady średniego otwarcia szczelin upustowych osadzarki A, w sytuacji kiedy stopień otwarcia kłapy upustowej zbiornika był stały (rys. 4a) i zmienny (regulowany) (rys. 4b).



Rys. 4. Rozkład zmiany średniego otwarcia szczelin upustowych
a) bez regulacji prędkości, b) z regulacją

Zaprezentowane charakterystyki zarejestrowano podczas dwóch serii pomiarowych, w których przez 40 min rejestrowano średnie otwarcie szczelin upustowych z dwóch przedziałów, w których wydzielany był kamień. Zarejestrowane wartości średnie i odchylenia standardowe zestawiono w tabeli 1.

Średni stopień otwarcia kłap upustowych bez/z układem regulacji nadawy

Tabela 1

Wariant	Bez regulacji [%]	Z regulacją [%]
Wartość średnia	37,87	47,40
Odchylenie	17,11	13,03

Podczas pierwszej serii stopień otwarcia kłapy upustowej zbiornika był stały. W zadanym czasie 40 min wartość średnia otwarcia szczelin upustowych osadzarki wyniosła 37,87%, a odchylenie standardowe 17,11%. Następnie włączono regulator, którego zadaniem było

sterowanie natężeniem przepływu nadawy celem utrzymania średniej wartości otwarcia szczelin upustowych osadzarki na poziomie 50%. Ostatecznie wartość ta, w trakcie badań wyniosła 47,40%.

Porównując rozkłady przedstawione na rysunku 4, można dojść do wniosku, że wprowadzenie układu regulacji, ustabilizowało wychód kamienia z osadzarki na zadanym poziomie. Ponieważ celem badania nie była optymalizacja działania regulatora pod kątem skuteczności regulacji, a tylko wykazanie, możliwości stabilizacji zawartości kamienia w nadawie wyniki badań uznano za zadowalające.

W badaniach nie próbowano również wyznaczyć bezwzględnej wartości zawartości kamienia w nadawie w funkcji stopnia otwarcia szczelin upustowych osadzarki, jak również wpływu zaproponowanej stabilizacji na skuteczność procesu wzbogacania. Powyższe zagadnienia będą tematem przyszłych prac badawczych.

3.3. Sterowanie przenośnikami kubelkowymi

Charakterystyczną cechą pracy przenośników kubelkowych pracujących w osadzarkowych węzłach wzbogacania jest zmienność ich obciążenia. Wzrost ilości materiału podawanego na przenośnik może być spowodowany przyrostem obciążenia osadzarki, zmianą składu grawimetrycznego wzbogacanego materiału lub ingerencją operatora. W takim przypadku prędkość przenośnika powinna być dostosowana 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.

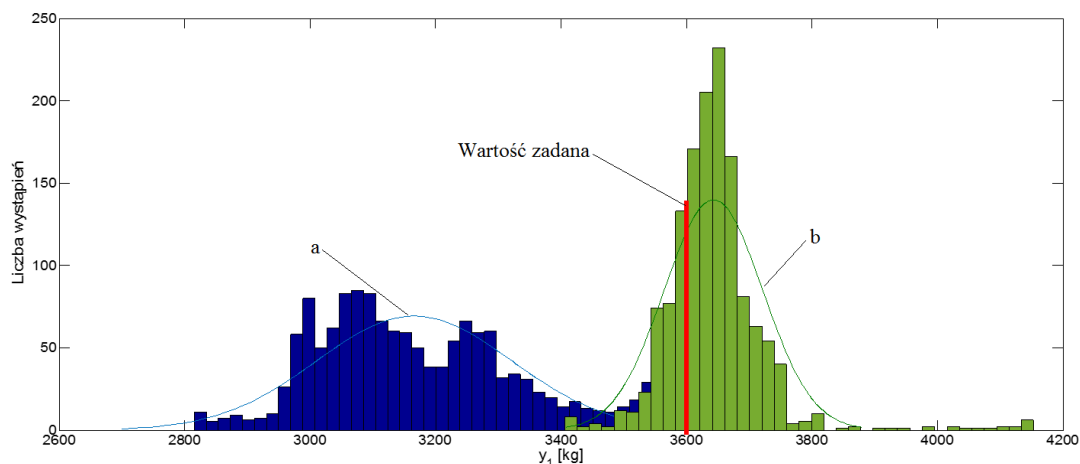
Ponieważ proces wzbogacania w osadzarkach pulsacyjnych odbywa się w środowisku wodnym (przenośniki kubelkowe do około połowy swojej wysokości zalane są wodą), istnieje trudność z identyfikacją stopnia wypełnienia kubelków w obrębie stacji zwrotnej przenośnika (strefy ładowania kubelków). Wymusza to konieczność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

Dzięki współpracy ITG KOMAG z KWK „Budryk”, opracowano metodę sterowania prędkością przenośnika kubelkowego pracującego w osadzarkowym węźle wzbogacania, bazującą na sterowaniu predykcyjnym.

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 ilości materiału znajdującego się w danej chwili na przenośniku.

Podstawowym zakłóceniem, oddziaływującym na ilość materiału znajdującego się w danej chwili na przenośniku, jest zmiana natężenia strumienia produktu dolnego z osadzarki. Zmiana ta jest wynikiem działania regulatora, utrzymującego zadaną wysokość warstwy produktu odpadowego w przedziale osadzarki. Identyfikacja tego zakłócenia, w opracowanej metodzie, realizowana jest poprzez pomiar otwarcia klapy upustowej osadzarki, a układ sterowania aktywnie koryguje prędkość przenośnika, dążąc do utrzymania nominalnego obciążenia przenośnika.

W celu porównania wyników jakości regulacji masy materiału znajdującej się w przenośniku, zestawiono jej rozkłady w przypadku kiedy przenośnik pracował bez regulacji prędkości i z regulacją (rys. 5).



Rys. 5. Rozkład zmiany masy materiału znajdującego się w przenośniku
a) bez regulacji prędkości, b) z regulacją [4]

Zaprezentowane charakterystyki zarejestrowano podczas jednego eksperymentu badawczego, podczas którego przez 30 min rejestrowano moc przenośnika pracującego w trybie ręcznym, ze stałą prędkością, a następnie przez 30 min rejestrowano moc i prędkość przenośnika pracującego z włączonym układem automatycznej regulacji. W trakcie rejestracji obu charakterystyk do osadzarki dostarczana była nadawa z wydajnością wynoszącą 125 kg/s. Wartości średnie i odchylenia standardowe przebiegów zestawiono w tabeli 2.

Masa materiału znajdującego się w przenośniku bez/z układem regulacji [4]

Tabela 2

Wariant	Bez regulacji [kg]	Z regulacją [kg]
Wartość średnia	3166,0	3642,9
Odchylenie	155,5	78,6

Wartość zadana masy wynosiła 3600 kg. Porównując rozkłady przedstawione na rysunku 5, można dojść do wniosku, że wprowadzenie układu regulacji prędkości, poprawia otrzymane wyniki zarówno pod względem stabilizacji masy transportowanego materiału, jak również pod względem wypełnienia kubków przenośnika (większa średnia, sumaryczna masa materiału na przenośniku). Pomiar masy odbywał się pośrednio za pomocą pomiaru mocy pobieranej z sieci elektrycznej przy założeniu, że opory ruchu w trakcie badań są stałe.

3.3.1. Kontrola wydłużenia łańcucha przenośnika kubłkowego

Inną funkcją realizowaną na potrzeby automatyzacji przenośników kubłkowych jest ciągła kontrola wydłużenia łańcucha przenośnika kubłkowego.

Długotrwała praca przenośnika kubłkowego z dużym obciążeniem może powodować rozciąganie łańcucha(ów) przenośnika [5]. Nadmierne wydłużenie łańcucha jest najbardziej widoczne w obrębie stacji zwrotnej przenośnika, gdzie wydłużeniu łańcucha opasującego wał

stacji zwrotnej towarzyszą stuki i drgania jej konstrukcji. Analiza tych drgań pozwala określić graniczny stopień wydłużenia łańcucha [1].

Do budowy układu rejestracji drgań i kontroli wydłużenia łańcucha zastosowano autorski analizator (rys. 6) zaprojektowany na bazie procesora ARM, z wbudowanym systemem operacyjnym Linux.



Rys. 6. Widok analizatora drgań

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

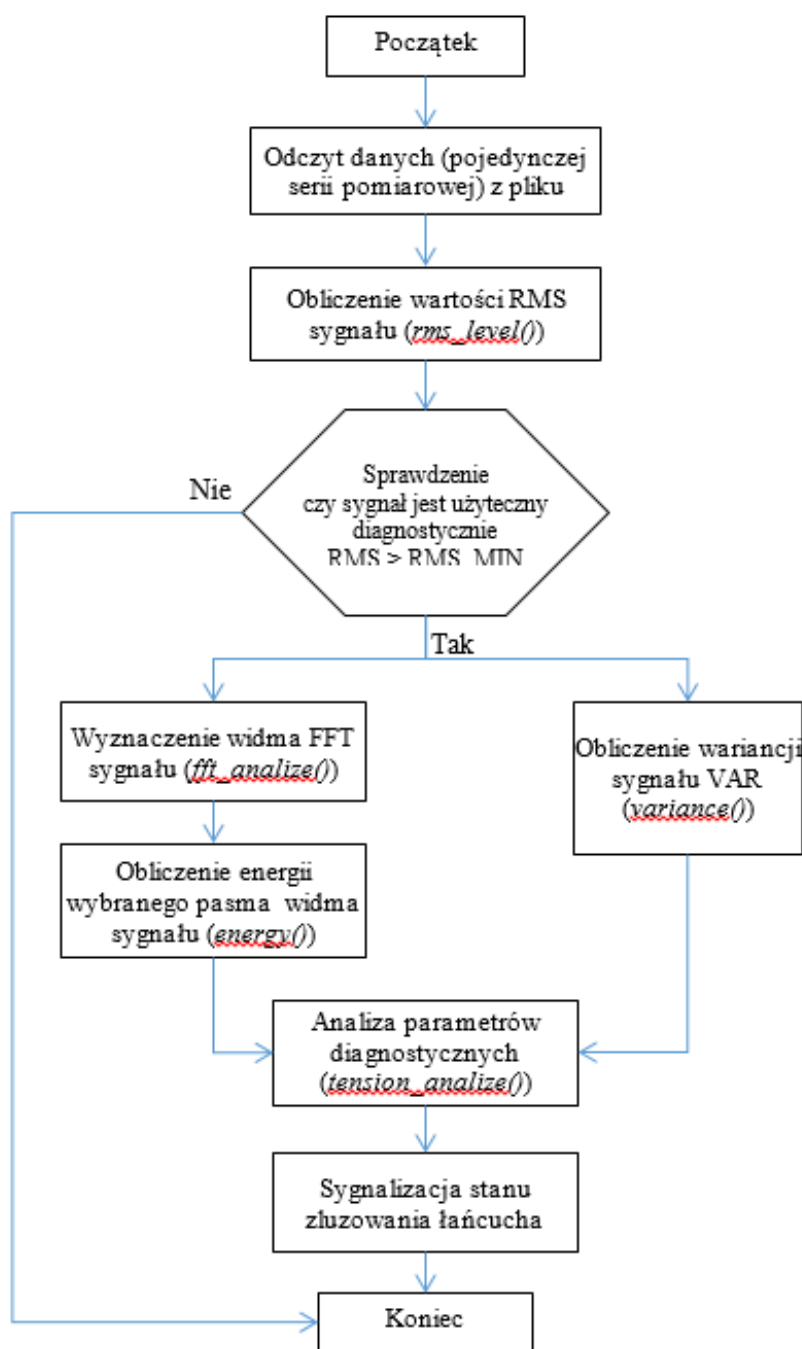
- jedno wejście typu ICP do podłączenia czujnika drgań,
- jedno wejście do podłączenia impulsatora pomiaru prędkości przenośnika,
- dwa wyjścia przekaźnikowe, umożliwiające przesłanie stanu analizy np. do sterownika PLC,
- złącze zasilające,
- złącze Ethernet służące do programowania oraz konfiguracji analizatora.

Procesor wyposażono w oprogramowanie odczytujące wyniki pomiarów, filtrujące i analizujące sygnał w dziedzinie czasu i częstotliwości oraz algorytm umożliwiający identyfikację stanu pracy wskazującego na nadmierne wydłużenie łańcucha przenośnika.

Algorytm stosowany do identyfikacji stanu wydłużenia łańcucha analizuje takie parametry jak [1, 9]:

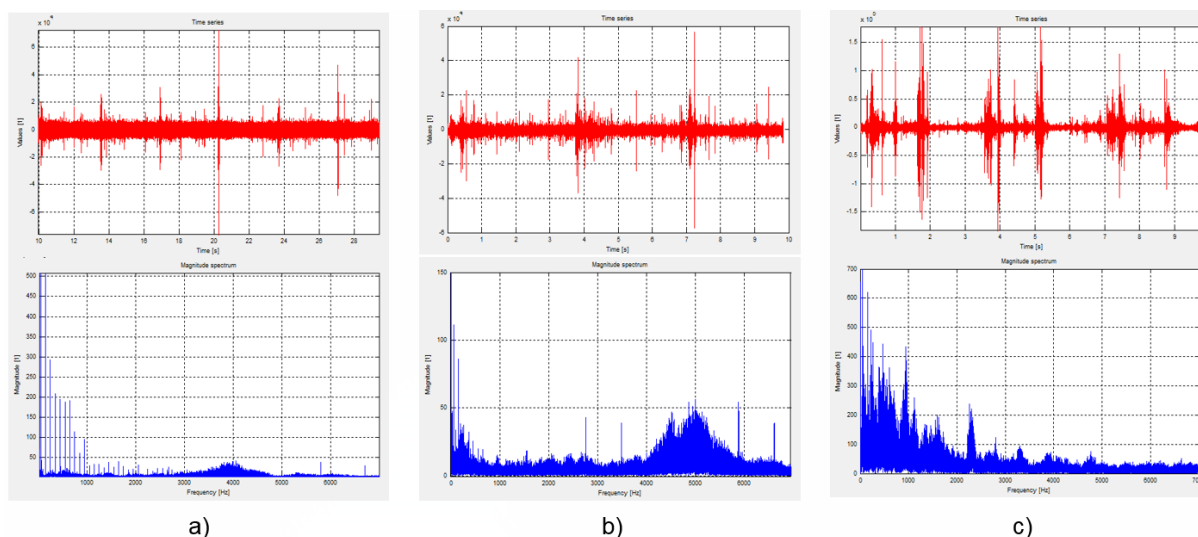
- energia w wybranym zakresie pasma częstotliwości z widma amplitudowego sygnału drgań – C,
- całkowita energia sygnału – EN,
- wartość skuteczna sygnału – RMS,
- kurtoza sygnału – KURT,
- wariancja sygnału – VAR.

Strukturę blokową programu kontroli wydłużenia łańcucha zaprezentowano na rysunku 7.



Rys. 7. Struktura programu do wyznaczenia stopnia zluźniania łańcucha przenośnika kulekowego [6]

W ramach prac, przeprowadzono badania na wybranej kopalni, które pozwoliły na zarejestrowanie pasm częstotliwości charakterystycznych różnych stanów napięcia łańcucha. Badania te poprzedzono analizą sposobu i lokalizacji montażu czujników pomiarowych. Sygnały zarejestrowane w przedziałach czasowych, w których przenośnik pracował bez obciążenia, pokazano na rysunku 8.



Rys. 8. Sygnały czasowe i częstotliwościowe zarejestrowane w jednym zamocowaniu czujnika drgań, w czasie pracy przenośnika bez obciążenia, podczas pracy z różnym stanem zluźniania łańcucha:

a) „poprawnym”, b) „niewielkim”, c) „dużym” [opracowanie własne]

Stany zluźniania łańcucha przenośnika oznaczone jako: „poprawny”, „niewielki”, „duży” zadawane były przez specjalistę z kopani, na co dzień odpowiedzialnego za pracę przenośnika.

Działanie analizatora drgań przetestowano w warunkach przemysłowych i otrzymano powtarzalne wskazania nadmiernego wydłużenia łańcucha, świadczące o konieczności weryfikacji jego położenia.

4. Podsumowanie

W artykule przedstawiono innowacyjne rozwiązania realizowane w ITG KOMAG, związane z automatyzacją maszyn i ciągów technologicznych stosowanych w zakładach przeróbki, do wzbogacania nadaw węglowych. W przedstawionych rozwiązaniach zaimplementowane są najnowsze osiągnięcia automatyki, gwarantujące niezawodność i ułatwiające obsługę, poprzez pełny monitoring systemu, skalowalność i możliwość elastycznego kształtowania funkcji sterujących. Wykorzystanie powszechnie stosowanych sieci przemysłowych upraszcza integrację z systemami nadrzędnymi i może przyczynić się do obniżenia kosztów integracji. Możliwość zdalnego analizowania stanu procesu to krok w kierunku realizacji idei Przemysłu 4.0.

Zintegrowane sterowanie całego węzła pozwala na uzyskanie szeregu korzyści takich jak [7]:

- ograniczenie przestojów,
- optymalizacja wydajności urządzeń w aspekcie dostosowania ich wydajności do obciążenia węzła,
- zmniejszenie zużycia energii elektrycznej,
- zwiększenie żywotności układów wykonawczych w warunkach zmiennego obciążenia,
- elastyczna konfiguracja sprzętowa,
- zwiększenie zakresu monitorowania procesu,
- poprawa jakości tworzonej dokumentacji przebiegu procesu,
- łatwa rozbudowa systemu,

- dostęp do danych z jednego miejsca.

Jednym z głównych zadań Instytutu jest generowanie nowych metod i technik oraz przekształcanie ich w nowe produkty. Ważnym przykładem tych działań jest układ do identyfikacji stanu zluźniania łańcucha w przenośniku kubelkowym, który bazuje na analizie parametrów sygnałów odbieranych z czujników drgań, w tym amplitudy mierzonego sygnału, jego obwiedni oraz amplitudy poszczególnych składowych widma częstotliwościowego.

Przedstawione rozwiązania dotyczące sterowania natężeniem strumienia nadawy oraz pracą przenośników kubelkowych odprowadzających produkty ciężkie po procesie wzbogacania, stanowią część prac mających na celu utworzenie zintegrowanego układu sterowania węzłem osadzarkowym, realizującego kryterium maksymalizacji wychodu koncentratu o zadanej jakości.

Literatura

- [1] Bartoszek S., Jagoda J., Jasiulek D., Jura J., Latos M., Stankiewicz K.: System wibrodiagnostyczny maszyn górniczych. W: Innowacyjne techniki i technologie dla górnictwa. Bezpieczeństwo - Efektywność – Niezawodność. KOMTECH 2013, Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2013 s. 347-363; ISBN 978-83-60708-78-1
- [2] Jasiulek D., Stankiewicz K., Woszczyński M.: Intelligent self-powered sensors in the state-of-the-art control systems of mining machines. Archiwum Górnictwa 2016 nr 4 s. 907-915
- [3] Jasiulek D., Rogala-Rojek J.: Innovative software solution for coal mines. Studia Informatica 2017 nr 3 s. 45-56, ISSN 1642-0489
- [4] Jendrysik S., Kost G.: Metoda sterowania przenośnikiem kubelkowym w osadzarkowym węźle wzbogacania. Prace Naukowe - Monografie KOMAG nr 53, Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2018 s. 1-117; ISBN 978-83-65593-09-2
- [5] Jendrysik S., Latos M., Jasiulek D., Stankiewicz K., Gawliński A.: Automatyczny system sterowania węzłem osadzarkowym z ciągłą kontrolą wydłużenia łańcucha przenośnika kubelkowego. W: Innowacyjne i przyjazne dla środowiska techniki i technologie przeróbki surowców mineralnych. Bezpieczeństwo - Jakość – Efektywność. KOMTECH 2015, Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2015 s. 62-68, ISBN 978-83-60708-85-9
- [6] Jendrysik S. i in.: Opracowanie części programowej układu kontroli napięcia łańcucha przenośnika kubelkowego. Materiały niepublikowane ITG KOMAG, Gliwice 2015
- [7] Jendrysik S., Woszczyński M., Stankiewicz K., Gawliński A.: Układ sterowania węzłem osadzarkowym. W: Innowacyjne i przyjazne dla środowiska techniki i technologie przeróbki surowców mineralnych. Bezpieczeństwo - Jakość – Efektywność. KOMTECH 2013, Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2013 s. 179-187; ISBN 978-83-60708-71-2
- [8] Król J., Krzak Ł., Jendrysik S., Stankiewicz K., Woszczyński M.: Wdrożenie układu sterowania węzłem osadzarkowym w KWK "Sośnica". W: Innowacyjne i przyjazne dla środowiska techniki i technologie przeróbki surowców mineralnych. Bezpieczeństwo - Jakość – Efektywność. KOMTECH 2016, Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2016 s. 227-237

- [9] Latos M., Bartoszek S., Rogala-Rojek J.: Diagnostics of underground mining machinery. Materiały na konferencję: W: 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
- [10] Osoba M., Lutyński A.: Dobór technologiczny osadzarek wodnych pulsacyjnych w procesie projektowania. Gór. Geoinż. AGH 2009 nr 4 s. 259-268
- [11] Stankiewicz K.: Koncepcja środowiska symulacyjnego do oceny samoorganizacji trasowania w sieci sensorycznej. Maszyny Górnicze 2015 nr 2 s. 3-8
- [12] Stankiewicz K., Jasiulek D., Jagoda J., Jura J.: Rozproszone systemy sterowania maszyn i urządzeń górniczych. Maszyny Górnicze 2016 nr 3 s. 54-66
- [13] Woszczyński M.: Model inteligentnego systemu monitoringu i diagnostyki paneli fotowoltaicznych. Maszyny Elektryczne., Zesz. Probl. 2017 nr 114 s. 33-37, ISSN 0239-3646

Czy wiesz, że

...przesiewacz LIWELL® LF to najlepiej sprzedające się urządzenie tej marki. Jest przystosowany do trudnych materiałów i przekonuje do siebie poprzez zróżnicowane wzornictwo oraz unikalne możliwości zastosowań. Dodatkowe zabezpieczenia przed kurzem i pyłem, różne podziały pól sitowych i ewentualne dodatkowe boczne uszczelnienia można indywidualnie dostosować do potrzeb klienta. Przesiewacz produkowany jest w wersji jednopokładowej jako LF-ED i dwupokładowej o symbolu LF-DD. Konstrukcja maszyny wyraźnie różni się od konwencjonalnych sortowników. Dwie skrzynie sitowe, umieszczone jedna w drugiej, poruszają się w przeciwnych kierunkach. Zewnętrzna i wewnętrzna skrzynia składa się ze ścian bocznych połączonych ze sobą trawersami, do których przymocowane są maty sitowe. Trawersy wykonują ruch posuwisto-zwrotny, wskutek czego naprężają i rozluźniają zamocowane maty sitowe. Uzyskuje się w ten sposób efekt trampoliny, tzw. flip-flow, dzięki któremu sita nie ulegają zalepianiu i klinowaniu ziaren.

Powder & Bulk 2018 nr 3 s.37

Konfigurowanie obwodów sterowania w celu zwiększenia bezpieczeństwa pracy maszyn górniczych

Część 2. Zatrzymanie awaryjne

mgr inż. Marek Majewski
Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Configuring the control circuits to increase safety of mining machines Part 2. Emergency stop

Streszczenie:

W artykule zdefiniowano funkcję bezpieczeństwa zatrzymania awaryjnego realizowaną przez system sterowania maszyny oraz określono wymagany poziom zapewnienia bezpieczeństwa. Dokonano analizy parametrów elementów systemu sterowania w aspekcie niezawodności funkcji zatrzymania awaryjnego oraz wykazano, że funkcja ta powinna być realizowana przez redundantny system sterowania. Na podstawie wymagań dotyczących funkcji bezpieczeństwa zatrzymania awaryjnego wyznaczono architekturę systemu oraz poziom zapewnienia bezpieczeństwa PL spełniany przez systemy sterowania.

Abstract:

The emergency stop function executed by the machine control system is defined and safety level required to reduce the risk related to the hazards and to the use of the function itself is determined. Parameter selection for the control system is verified, and it is found that the function ought to be performed by redundant control system. Taking into account the requirements determined for the safety stop function, the architecture of the system is set as well as PL security level is met by the control systems.

Słowa kluczowe: górnictwo, elektrotechnika, bezpieczeństwo, funkcje bezpieczeństwa, systemy sterowania, redukcja ryzyka

Keywords: mining, electrical engineering, security, functions security, control system, risk reduction

1. Wprowadzenie

Jednokanałowe systemy sterowania realizujące funkcje bezpieczeństwa osiągają maksymalnie wymagany poziom zapewnienia bezpieczeństwa PLc kategorii 1 [3]. Poziom ten jest zadawalający i uzyskany przez zapewnienie wysokiej niezawodności elementów systemów sterowania. W obwodach sterowania realizujących funkcję zatrzymania awaryjnego, przeznaczonych do maszyn dużego ryzyka, powinny być zastosowane dodatkowe środki zwiększające ich odporność na uszkodzenia. Zastosowanie dodatkowych środków wynika z potencjalnych skutków braku realizacji tej funkcji bezpieczeństwa. Parametry elementów systemu sterowania realizującego funkcję zatrzymania awaryjnego przedstawiono w niniejszej części 2 artykułu.

2. Wymagania dla funkcji bezpieczeństwa zatrzymania awaryjnego

Funkcja bezpieczeństwa zatrzymania awaryjnego maszyny jest realizowana przez system sterowania, w którym zastosowano dodatkowe, techniczne środki pozwalające na zapobieganie, wykrycie lub tolerowanie pojedynczych defektów. Kategoria systemu sterowania realizującego funkcję bezpieczeństwa zatrzymania awaryjne jest zależny od wymaganego poziomu zapewnienia bezpieczeństwa PLr. Wymagany poziom bezpieczeństwa jest wyznaczony na podstawie następujących parametrów:

- ciężkości urazów,
- częstości i/lub czasu trwania narażenia,

- możliwości uniknięcia zdarzenia niebezpiecznego lub ograniczenia szkody.

Dobór parametrów odbywa się przed zastosowaniem danej funkcji bezpieczeństwa, która ma po zastosowaniu zmniejszyć ryzyko do akceptowalnego poziomu [1].

2.1. Ciężkość urazów

Podczas szacowania ryzyka uwzględnia się następujące parametry [6]:

- urazy lekkie – S1, zwykle odwracalne, stłuczenia lub rany cięte bez dalszych komplikacji,
- urazy ciężkie – S2, zwykle nieodwracalne oraz śmierć.

Parametr ten jest określany w oparciu o historię wypadków na porównywalnych maszynach:

- stwarzających to samo ryzyko, w których zastosowano odpowiednie funkcje bezpieczeństwa w celu jego zmniejszenia,
- realizujących podobne procesy i wymagających podobnych działań operatora, w których stosowana jest podobna technika powodująca zagrożenia.

Przy podejmowaniu decyzji o wyborze parametru należy się kierować najczęściej spotykanymi skutkami wypadków.

2.2. Częstość i/lub czasy trwania narażeń

Norma PN-EN 13849-1:2016-02 [6] zaleca, aby czas trwania narażenia był określony na podstawie średniej wartości w stosunku do całkowitego czasu, w którym maszyna jest używana:

- F1 – gdy czas narażenia nie przekracza 1/20 całkowitego czasu operacji, a częstość nie jest większa niż jeden raz na 15 min,
- F2 – gdy konieczne jest regularna ingerencja w pracę maszyny lub częstości narażenia większej niż jeden raz na 15 min.

Norma [6] zaleca, aby F2 dobierać wtedy, gdy osoba lub różne osoby były często albo stale ekspozowane na zagrożenia.

2.3. Możliwość uniknięcia zdarzenia niebezpiecznego oraz prawdopodobieństwo jego wystąpienia

Parametry P1 lub P2 wynikają z prawdopodobieństwa uniknięcia zagrożenia oraz prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzenia niebezpiecznego [6] i wybiera się odpowiednio do okoliczności:

- P1 – w przypadku wystąpienia niebezpiecznej sytuacji istnieje możliwość uniknięcia zagrożenia lub znacznego zmniejszenia jego skutków,
- P2 – w przypadku wystąpienia niebezpiecznej sytuacji nie istnieje możliwość uniknięcia zagrożenia.

Możliwości uniknięcia lub ograniczenia zagrożenia są zależne od:

- kwalifikacji, przeszkolenia, uprawnień oraz doświadczenia obsługi maszyny,

- szybkości zaistnienia zdarzenia i subiektywnych zdolności reagowania na zagrożenie przez osoby narażone,
- świadomości ryzyka – należy przyjąć, że obsługa maszyny zdaje sobie sprawę z istniejącego ryzyka, reaguje na znaki ostrzegawcze i urządzenia sygnalizacyjne,
- znajomości budowy wyposażenia maszyny, praktycznego doświadczenia i wiedzy.

Analiza prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzenia niebezpiecznego jest realizowana w oparciu o:

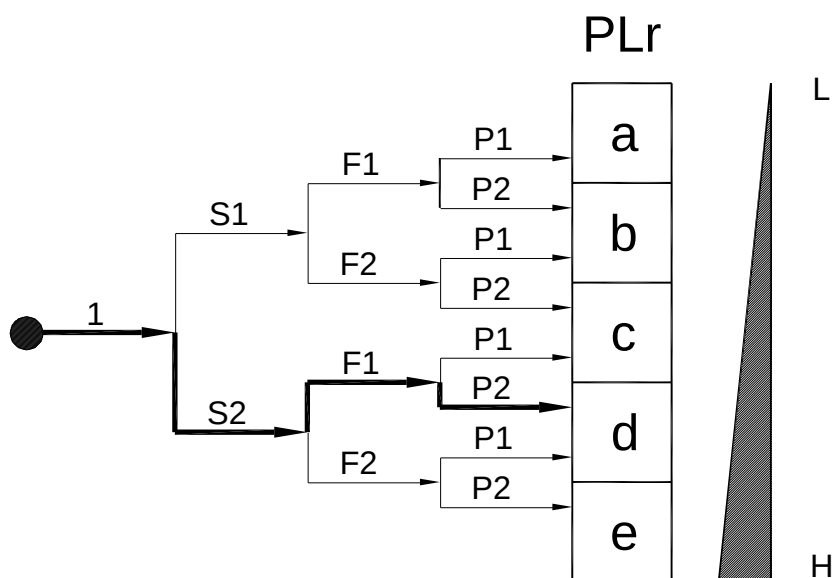
- niezawodność zastosowanych środków bezpieczeństwa,
- historię wypadków na podobnych maszynach.

2.4. Wyznaczenie wymaganego poziomu bezpieczeństwa PLr dla funkcji zatrzymania awaryjnego

Dla funkcji bezpieczeństwa zatrzymania awaryjnego przyjęto następujące parametry:

- ciężkość urazów S2 – ciężkie nieodwracalne lub śmierć,
- częstość narażania F1 – rzadkie, przy krótkim czasie narażania,
- prawdopodobieństwo uniknięcia po zaistnieniu zdarzenia P2 – prawie niemożliwe.

W zagrożeniach związanych z ruchem elementów lub samej maszyny można przypuszczać, że powstałe urazy będą miały charakter obrażeń ciężkich, stąd przyjęto S2. Obsługujący stanowiska pracy związane z maszyną posiadają odpowiednie kwalifikacje oraz świadomość ryzyka stąd przyjęto, że może dojść do przypadkowego narażenia trwającego krótko. Przyjęto też, że powstałego już zagrożenia nie da się uniknąć, stąd P2.



Rys. 1. Graf służący do określenia wymaganego poziomu bezpieczeństwa PL_r dla funkcji zatrzymania awaryjnego [opracowanie własne na podstawie [6]]

gdzie:

1 – punkt początkowy udziału funkcji bezpieczeństwa w zmniejszeniu ryzyka, wybierany po zastosowaniu technicznych środków zmniejszenia ryzyka,

L – mały udział funkcji bezpieczeństwa w zmniejszeniu ryzyka,

H – duży udział funkcji bezpieczeństwa w zmniejszeniu ryzyka,

PLr – przyjmujący oznaczenie od PLa do PLe w zależności od parametrów podanych w pkt. 2.1-2.3 – poziom zapewnienia bezpieczeństwa.

W wyniku jakościowego oszacowania ryzyka określono, że funkcja bezpieczeństwa zatrzymania awaryjnego powinna zapewniać poziom bezpieczeństwa **PLd**.

2.5. Kategorie elementów systemu sterowania związane z zatrzymaniem awaryjnym

W punkcie 2.4 wyznaczono wymagany poziom zapewnienia bezpieczeństwa PLd. Uzyskanie wyżej wymienionego poziomu poprzez zastosowanie systemu sterowania SRP/CS wymusza odniesienie do parametrów zgodnych z wymaganiami dla właściwej kategorii B, 1, 2, 3 lub 4. Kategorie określają wymagane zachowanie się SRP/CS w aspekcie ich odporności na defekty. Kategoria B jest podstawowa. W kategorii 1 poprawę odporności na defekty osiąga się w wyniku doboru elementów składowych systemu sterowania i sposobu ich stosowania. W kategorii 2, 3, 4 poprawę skuteczności osiąga się w wyniku doskonalenia struktury systemu SRP/CS. W kategorii 2 okresowo sprawdza się, czy jest realizowana funkcja bezpieczeństwa. W kategorii 3 lub 4 osiąga się to w wyniku spełnienia warunku, że wystąpienie pojedynczego defektu nie powoduje utraty funkcji bezpieczeństwa. Defekty są wykrywane w kategorii 4, a w przypadkach uzasadnionych również w kategorii 3.

Wybór kategorii dla określonego systemu sterowania SRP/CS zależy od [6]:

- zmniejszenia ryzyka, które ma osiągnąć funkcja bezpieczeństwa (udział danego elementu systemu sterowania),
- wymaganego poziomu zapewnienia bezpieczeństwa,
- ryzyka powstałego w przypadku defektu danego elementu,
- możliwości uniknięcia defektu danego elementu (defekty systematyczne),
- prawdopodobieństwo wystąpienia defektu danego elementu,
- średniego czasu do wystąpienia uszkodzenia niebezpiecznego,
- pokrycia diagnostycznego (skuteczność diagnostyki w wykrywaniu uszkodzeń niebezpiecznych w odniesieniu do wszystkich uszkodzeń niebezpiecznych),
- uszkodzenia o wspólnej przyczynie (kategoria 2, 3, 4).

Ponieważ układy sterowania maszyn górniczych nie są wyposażone w urządzenia testujące, w niniejszym opracowaniu nie rozpatrywano warunków spełnienia kategorii 2.

W celu osiągnięcia kategorii 3 jest wymagane stosowanie architektury redundantnej układu sterowania. Układ sterowania tej kategorii powinien spełniać wymagania kategorii B i powinien być zaprojektowany, zbudowany, dobrany, zmontowany i zestawiony z kombinacji, co najmniej zgodnej z wymaganiami stosownych norm z zastosowaniem podstawowych zasad bezpieczeństwa tak, aby był odporny na:

- występujące narażenia podczas pracy, tj. zdolność do przełączania obwodów, w których jest zastosowany,
- warunki środowiskowe występujące w miejscu pracy,
- wpływ czynników zewnętrznych.

Ponadto należy:

- zastosować wypróbowane sposoby zapewnienia bezpieczeństwa,
- zaprojektować układ tak, aby pojedynczy defekt któregośkolwiek elementu nie powodował utraty funkcji bezpieczeństwa,

- pokrycie diagnostyczne powinno być niskie lub średnie,
- średni czas do uszkodzenia niebezpiecznego powinien być w zakresie od niskiego do wysokiego,
- zastosować układ redundantny,
- zastosować środki zapobiegające uszkodzeniom o wspólnej przyczynie.

Układ sterowania kategorii 3 charakteryzuje się tym, że:

- przy wystąpieniu pojedynczego defektu funkcja bezpieczeństwa jest nadal realizowana,
- część defektów zostaje wykryta,
- niewykryte defekty, mogą spowodować utratę funkcji bezpieczeństwa.

Układy kategorii 4 charakteryzują się tym, że:

- przy wystąpieniu pojedynczego defektu funkcja bezpieczeństwa jest zawsze realizowana,
- defekty są w czasie wystarczającym do uniknięcia utraty funkcji bezpieczeństwa,
- nagromadzenie niewykrytych defektów jest brane pod uwagę.

3. Weryfikacja poziomu zapewnienia bezpieczeństwa funkcji zatrzymania awaryjnego

W maszynach górniczych są stosowane systemy sterowania składające się z elementów, do których najczęściej brak szczegółowych, katalogowych danych niezbędnych do przeprowadzenia wnikliwej analizy funkcji bezpieczeństwa. Wynika to z przeważnie z konieczności przeprowadzenia kosztownych badań. Stąd analizę poziomu zapewnienia bezpieczeństwa przeprowadza się na podstawie metody opisanej i przedstawionej w normie PN-EN ISO 13849-1:2016-02 [6].

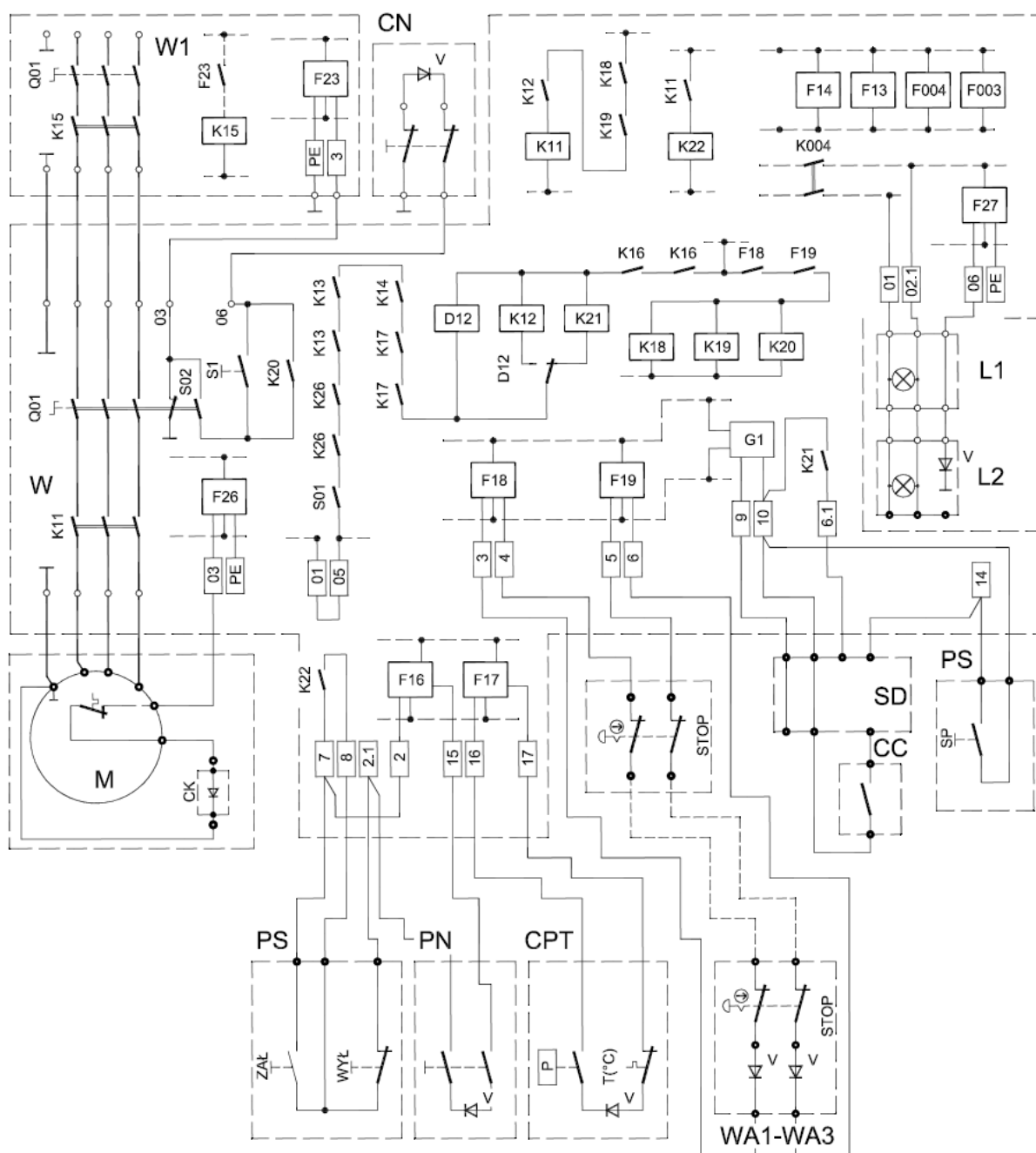
W przypadkach związanych z ruchem maszyny zagrażających zdrowiu otaczających ją osób należy zastosować funkcję bezpieczeństwa w postaci zatrzymania awaryjnego. Po wywołania funkcji zatrzymania awaryjnego efekt sygnału powinien być podtrzymywany przy pomocy przycisków z ryglowaniem. Maszyna zatrzymuje się na skutek działania hamującego silników hydraulicznych napędowych lub hamulców mechanicznych. Ponowne uruchomienie maszyny następuje po odryglowaniu przycisków.

W układzie sterowania maszyn górniczych można zdefiniować następującą funkcję bezpieczeństwa: „Zatrzymanie niebezpiecznych ruchów maszyny po naciśnięciu przycisku bezpieczeństwa wyłączników zatrzymania awaryjnego i uniemożliwienie ponownego ich uruchomienia do czasu odblokowania tych przycisków”. Elementy do zatrzymania awaryjnego maszyny, powinny być łatwo rozpoznawalne, widoczne i dostępne – wymagania normy PN-EN ISO 12100:2012 [5] (zwykle czerwony przycisk bezpieczeństwa na żółtym tle).

Na budowę układu bezpieczeństwa maszyn górniczych wpływa fakt, że są to maszyny przeznaczone do pracy w podziemnych zakładach górniczych w warunkach zagrożenia wybuchem metanu i/lub pyłu węglowego. Przykład układu sterowania maszyny górniczej z własną skrzynią aparaturową i wyłącznikiem stycznikowym zasilającym przedstawiono na rysunku 2.

Weryfikacja określonego w pkt. 2.4 poziomu zapewnienia bezpieczeństwa oraz wybranie kategorii 3 dla systemu sterowania realizującego funkcję bezpieczeństwa zatrzymania awaryjnego polega na przeprowadzeniu obliczeń zgodnych z normą PN-EN ISO 13849-1:2016-02 [6]. Wynik obliczeń powinien potwierdzić wyznaczony wcześniej poziom zapewnienia bezpieczeństwa PLd.

Na schemacie elektrycznym ideowym (rys. 2) pokazano realizację funkcji bezpieczeństwa, która odbywa się poprzez jednokanałowy system sterowania oraz realizację funkcji zatrzymania awaryjnego przez dwukanałowy system sterowania.

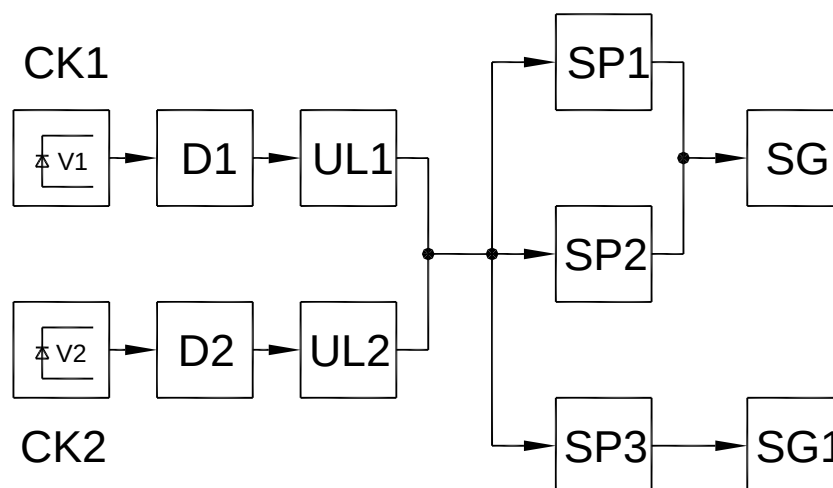


Rys. 2. Schemat elektryczny ideowy maszyny górniczej [opracowanie własne na podstawie [4]]

Na schemacie blokowym przedstawionym na rysunku 3 można wyodrębnić podsystemy:

- SRP/CS1 – złożony z członów końcowych CK1, CK2, wyłączników zatrzymania awaryjnego D1 i D2,
- SRP/CS2 – złożony z układów logicznych UL1 i UL2,
- SRP/CS3 złożony z przekaźników SP1 – SP3 oraz styczników SG i SG1.

Ze schematu elektrycznego ideowego wyodrębniono układ bezpieczeństwa zatrzymania awaryjnego, którego schemat blokowy przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Schemat blokowy układu bezpieczeństwa [opracowanie własne na podstawie [4]]

gdzie:

D1 – styki wyłączników awaryjnych WA1 – WA3, kanału 1,

D2 – styki wyłączników awaryjnych WA1 – WA3, kanału 2,

UL1 – układ logiczny – iskrobezpieczny przekaźnik sterujący F18, kanał 1,

UL2 – układ logiczny – iskrobezpieczny przekaźnik sterujący F19, kanał 2,

SP1 – układ wyjściowy – przekaźnik pomocniczy K18 sterujący pracą stycznika K11 w skrzyni aparaturowej W, załączany szeregowo połączonymi stykami układu logicznego UL1 i UL2,

SP2 – układ wyjściowy – przekaźnik pomocniczy K19 sterujący pracą stycznika K11 w skrzyni aparaturowej W, załączany szeregowo połączonymi stykami układu logicznego UL1 i UL2,

SP3 – układ wyjściowy – przekaźnik pomocniczy K20 sterujący pracą stycznika K15 wyłącznika liniowego W1, załączany szeregowo połączonymi stykami układu logicznego UL1 i UL2,

SG – układ wyjściowy – stycznik załączający K11 skrzyni aparaturowej W, załączany szeregowo połączonymi stykami przekaźników pomocniczych SP1 i SP2,

SG1 – układ wyjściowy – stycznik podający napięcie zasilania do skrzyni aparaturowej W (wyłącznik liniowy) załączany stykiem przekaźnika pomocniczego SP3,

CK1 – człon końcowy montowany w łączniku WA1, złożony z diody V1, kanał 1,

CK2 – człon końcowy montowany w łączniku WA1, złożony z diody V2, kanał 2.

Po zadziałaniu (rozwarciu styków) wyłączników awaryjnych i/lub WA1 – WA3 następuje zatrzymanie maszyny (hamowanie realizowane poprzez silniki hydrauliczne lub hamulec mechaniczny). Po odblokowaniu łącznika wyłącznika zatrzymania i/lub WA1 – WA3 jest możliwe ponowne uruchomienie maszyny poprzez układ sterownia.

Po przeprowadzeniu obliczeń i wykazaniu zgodności założonego poziomu zapewnienia bezpieczeństwa osiągnięto następujące stany:

- wyeliminowano zagrożenia związane z ruchem maszyny dzięki odpowiednim rozwiązaniom konstrukcyjnym systemu sterowania,
- porównanie zastosowanego rozwiązania z innymi maszynami pozwala na stwierdzenie, że ryzyko związane z zastosowaniem przedmiotowego systemu sterowania zostało zredukowane,
- podjęte działania pozwalają stwierdzić, że maszyna zapewnia bezpieczeństwo użytkownika wyrobu w rozumieniu normy PN-EN ISO 12100-2:2012 [5],
- uznaniu, że sposoby postępowania, których należy przestrzegać podczas użytkowania maszyny powinny być zgodne z możliwościami pracowników obsługi,
- zalecane sposoby pracy zapewniające bezpieczeństwo podczas użytkowania powinny być umieszczone w instrukcji obsługi maszyny.

Podjęte działania mające na celu zmniejszenie ryzyka i pozytywny wynik porównania ryzyka pozwala stwierdzić, że maszyna zapewnia bezpieczeństwo użytkownika wyrobu w rozumieniu normy PN-EN ISO 12100-2:2012 [5].

4. Walidacja funkcji bezpieczeństwa zatrzymania awaryjnego

Walidacja funkcji bezpieczeństwa polega na sprawdzeniu realizacji funkcji we wszystkich stanach pracy, badaniach funkcjonalnych, sprawdzeniu architektury systemu, kategorii, poprawności montażu i konserwacji oraz zgodności elementów z dokumentacją techniczną układu sterowania.

Na etapie badania maszyny należy dodatkowo sprawdzić układ pod kątem kompatybilności elektromagnetycznej [7].

W systemie sterowania realizującym funkcja bezpieczeństwa zastosowano wypróbowane i pewne elementy, a redundantny układ pozwala na osiągnięcie wysokiego poziomu zapewnienia bezpieczeństwa PL.

5. Podsumowanie

Proces zmniejszenia ryzyka poprzez zastosowanie funkcji bezpieczeństwa zatrzymania awaryjnego zakończono po wyeliminowaniu zagrożeń związanych z ruchem maszyny poprzez zastosowanie odpowiedniego obwodu sterowania [2].

Przedstawiony opis funkcji bezpieczeństwa oraz schemat blokowy układu sterowania realizujący funkcje bezpieczeństwa wynikający z przeprowadzonej oceny ryzyka, pozwala na stwierdzenie, że:

- funkcja bezpieczeństwa zatrzymania awaryjnego jest funkcją maszyny, której uszkodzenie powoduje bezpośredni wzrost ryzyka,
- funkcja bezpieczeństwa jest realizowana przez układ sterowania maszyny,
- funkcji bezpieczeństwa powinien być przypisany poziom dopuszczalnego ryzyka wyrażony, zgodnie z normą PN-EN ISO 13849-1:2016-02 [6], poziomem zapewnienia bezpieczeństwa.

Osiągany poziom zapewnienia bezpieczeństwa jest zależny od architektury układu sterowania i elementów, które muszą być trwałe, wysokiej jakości, dużej niezawodności oraz dostosowane do warunków środowiska pracy.

W przypadkach związanych z ruchem maszyny, istotny wkład na zmniejszenie ryzyka ma zdefiniowana funkcja bezpieczeństwa, w postaci zatrzymania awaryjnego – „Zatrzymanie niebezpiecznych ruchów maszyny po naciśnięciu przycisku bezpieczeństwa wyłączników zatrzymania awaryjnego i uniemożliwienie ponownego ich uruchomienia do czasu odblokowania tych przycisków”. Po zainicjowaniu polecenia zatrzymania awaryjnego, stan wyłączenia jest utrzymywany przez przyciski z ryglowaniem, do momentu stworzenia bezpiecznych warunków pracy. Przywrócenie stanu pierwotnego funkcji bezpieczeństwa następuje poprzez zresetowanie systemu sterowania. Anulowanie polecenia zatrzymania awaryjnego jest potwierdzane osobną, zamierzoną i ręcznie wykonaną czynnością. Układ sterowania realizujący funkcję bezpieczeństwa zatrzymania awaryjnego jest z reguły redundantny (dwukanałowy).

Podczas projektowania układu sterowania związanego z zatrzymaniem awaryjnym maszyny należy:

- uwzględnić wszystkie jego elementy tak, aby mogły wzajemnie ze sobą współpracować,
- rozmieszczenie łączników powinno uwzględniać do nich dostęp osobom związanym ze stanowiskiem pracy,
- zapewnić dopasowanie sygnałów sterujących do parametrów pracy obwodu elektrycznego,
- zapewnić kompatybilność, dla poszczególnych elementów systemu sterowania oraz ich odporność na drgania i na warunki środowiskowe poprzez prawidłowy ich dobór,
- uwzględnić aktualne przepisy, zalecenia i wytyczne z zakresu bezpieczeństwa użytkowania.

Literatura

- [1] Figiel A.: Bezpieczeństwo funkcjonalne układów sterowania maszyn górniczych, Maszyny Górnicze 2014 nr 4, ISSN 0209-3693
- [2] Majewski M.: Identyfikacja zagrożeń, jako jeden z elementów procesu projektowania maszyn górniczych, Maszyny Górnicze 2017 nr 3
- [3] Majewski M.: Konfiguracja obwodów sterowania i jej wpływ na bezpieczeństwo maszyn górniczych. Część 1, Funkcje bezpieczeństwa, Maszyny Górnicze 2018 nr 1, ISSN 2450-9442
- [4] Wytyczne dotyczące obwodów sterowania oraz wpływ ich konfiguracji na bezpieczeństwo maszyn górniczych – Opracowanie ITG KOMAG 2017 (materiały niepublikowane)
- [5] PN-EN ISO 12100:2012 Bezpieczeństwo maszyn – Ogólne zasady projektowania – Ocena ryzyka i zmniejszanie ryzyka
- [6] PN-EN ISO 13849-1:2016-02 Bezpieczeństwo maszyn – Elementy systemów sterowania związane z bezpieczeństwem – Część 1: Ogólne zasady projektowania
- [7] PN-EN ISO 13849-2:2005 Bezpieczeństwo maszyn – Elementy systemów sterowania związane z bezpieczeństwem – Część 2: Walidacja

Zapewnienie bezpieczeństwa technicznego maszyn i urządzeń górniczych

dr inż. Andrzej Figiel
Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Ensuring the technical safety of mining machines and equipment

Streszczenie:

W artykule zaprezentowano zasady wprowadzenia maszyn i urządzeń górniczych do obrotu handlowego w ramach obowiązującego systemu oceny zgodności wyrobów oraz systemu dopuszczania wyrobów do stosowania w zakładach górniczych. Na podstawie doświadczeń jednostki certyfikującej wyroby w Instytucie Techniki Górniczej KOMAG wskazano na kluczowe dla zapewnienia bezpieczeństwa technicznego maszyn i urządzeń obszary, za które jest odpowiedzialny producent a następnie użytkownik. Wykazano, że prawidłowe postępowanie podczas projektowania, wprowadzania do obrotu handlowego i użytkowania wyrobów ma decydujący wpływ na osiągnięcie i utrzymaniu wymaganego poziomu bezpieczeństwa.

Abstract:

Regulations on principles of commercialization of mining machines and equipment regarding the assessment of product conformity system and the system for acceptance of products to be used in mining plants are presented. Basing on experience gained by the KOMAG Institute of Mining Technology Certifying Body, the areas, important for technical safety of mining machines and equipment for which manufacturer and then end user are responsible, are specified. It was indicated that correct designing, commercialization and using procedures decide about the required safety level.

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo techniczne maszyn i urządzeń, ocena zgodności, wprowadzanie wyrobów do obrotu

Keywords: technical safety of mining machines and equipment, conformity assessment, product commercialization

1. Wprowadzenie

Zapewnienie bezpiecznych warunków pracy oraz bezpieczeństwa wyrobów wynika z Konstytucji Rzeczypospolitej Polskiej [1], w której znajdujemy następujące sformułowania:

- każdy ma prawo do bezpiecznych i higienicznych warunków pracy (art. 66. 1),
- władze publiczne chronią konsumentów, użytkowników i najemców przed działaniami zagrażającymi ich zdrowiu, prywatności i bezpieczeństwu oraz przed nieuczciwymi praktykami rynkowymi (art. 76).

Działania dotyczące zapewnienia wymaganego poziomu bezpieczeństwa są realizowane przez producentów, pracodawców, jednostki oceniające zgodność, organy nadzoru rynku i inne wyspecjalizowane jednostki kontrolne, działające w ramach obowiązujących aktów prawnych.

Na etapie wprowadzania wyrobów do obrotu handlowego, rozumianego jako udostępnienie wyrobu na rynku po raz pierwszy, mają zastosowanie następujące akty prawne:

- ustawa z dnia 30 sierpnia 2002 r. o systemie oceny zgodności [2] i ustawa z dnia 13 kwietnia 2016 r. o systemach oceny zgodności i nadzoru rynku [3] wraz z wydanymi na ich podstawie rozporządzeniami wdrażającymi dyrektywy Unii Europejskiej, określającymi m.in. zasadnicze i szczegółowe wymagania dla wyrobów podlegających ocenie zgodności oraz procedury oceny zgodności,

- ustawa z dnia 12 grudnia 2003 r. o ogólnym bezpieczeństwie produktów [4], określająca tryb postępowania w odniesieniu do wyrobów wprowadzanych do obrotu, gdy brak jest szczegółowych, innych przepisów Unii Europejskiej dotyczących ich bezpieczeństwa,

a w odniesieniu do wyrobów przeznaczonych do stosowania w zakładach górniczych, dodatkowo:

- ustawa z dnia 9 czerwca 2011 r. - Prawo geologiczne i górnicze [5], określająca wymagania dotyczące stosowania wyrobów w zakładach górniczych,
- rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 30 kwietnia 2004 r. w sprawie dopuszczania wyrobów do stosowania w zakładach górniczych [6], w związku z art. 224 ustawy z dnia 9 czerwca 2011 r.,
- Prawo geologiczne i górnicze, w zakresie wymagań technicznych dla wyrobów, których stosowanie w zakładach górniczych wymaga, ze względu na potrzebę zapewnienia bezpieczeństwa ich użytkowania w warunkach zagrożeń występujących w ruchu zakładów górniczych, wydania dopuszczenia.

Po wprowadzeniu wyrobu do obrotu, na etapie jego użytkowania w zakładzie górniczym, bezwzględnie należy przestrzegać wymagań rozporządzenia Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych [7].

Podstawowymi działaniami decydującymi o bezpieczeństwie technicznym maszyn i urządzeń, w tym górniczych, są:

- projektowanie i wytwarzanie wyrobów z uwzględnieniem wyników analizy i oceny ryzyka tak, aby:
 - wszystkie zidentyfikowane zagrożenia zostały wyeliminowane lub ryzyko związane z nimi było ograniczone do poziomu akceptowalnego,
 - źródła zagrożeń były monitorowane, w taki sposób, aby poprzez zainicjowanie działań zapobiegawczych nie dopuścić do wzrostu ryzyka,
- stosowanie bezpiecznych metod pracy oraz zapewnienie odpowiednich środków ochrony zbiorowej oraz sprzętu ochrony indywidualnej.

Szczególnie istotne są wyniki oceny ryzyka przeprowadzonej już na etapie projektowania, gdyż pozwalają stwierdzić, czy przyjęte rozwiązania konstrukcyjne odpowiadają aktualnemu poziomowi wiedzy technicznej ustanowionemu w najnowszych wydaniach norm i obowiązujących przepisach technicznych (dyrektywach). Z kolei na etapie eksploatacji, ocena ryzyka stanowi element procesu zarządzania bezpieczeństwem, którego celem jest osiągnięcie i utrzymanie akceptowalnego poziomu ryzyka poprzez identyfikację możliwości zmniejszania ryzyka, wybór, zastosowanie i monitorowanie odpowiednich środków kontrolnych i organizacyjnych [8].

2. Zasady oceny zgodności maszyn i urządzeń górniczych

2.1. Wprowadzanie wyrobów do obrotu podlegających ocenie zgodności

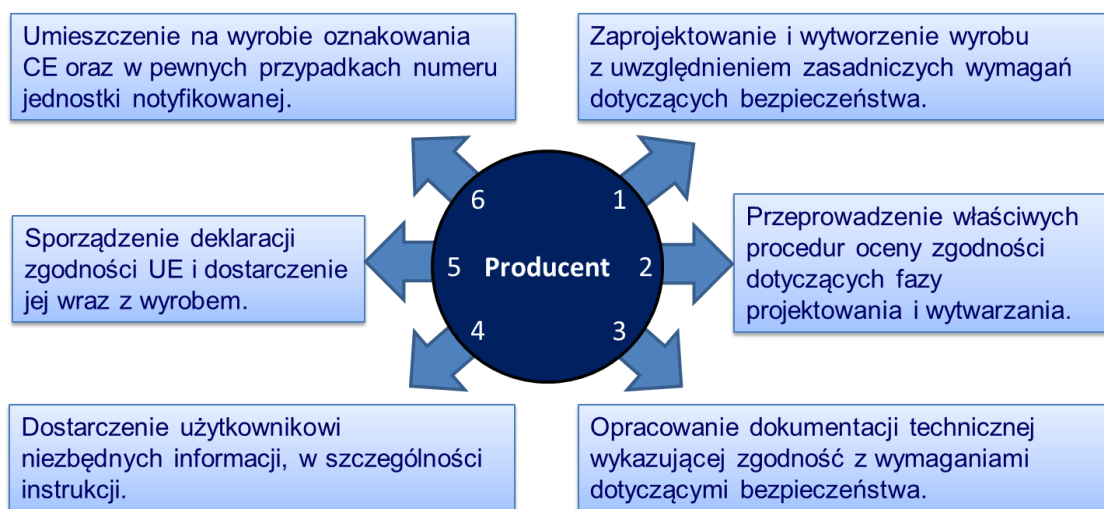
Wszystkie maszyny oraz zdecydowana większość urządzeń przeznaczonych do stosowania w zakładach górniczych podlega co najmniej jednej dyrektywie nowego podejścia. Każda

dyrektywa zawiera warunki wprowadzania wyrobów do obrotu, zasady swobodnego przepływu i domniemania zgodności, procedury oceny zgodności, zasady nanoszenia oznakowania CE, wymagania dla jednostek notyfikowanych (o ile jednostki takie uczestniczą w procedurach oceny zgodności) oraz zasadnicze wymagania bezpieczeństwa. Na rynku wewnętrznym Unii Europejskiej mogą być udostępniane wyłącznie wyroby, które spełniają zasadnicze wymagania, przeszły odpowiednie procedury oceny zgodności i są oznakowane znakiem CE.

W wielu przypadkach ustalenie jakim przepisom technicznym (dyrektywom) podlega dany wyrób nie jest łatwe. Prawidłowa identyfikacja wszystkich przepisów (krajowych ustaw i rozporządzeń wdrażających dyrektywy), których ustalenia należy spełnić w fazie projektowania i wytwarzania, jest jednym z kluczowych czynników, niezbędnym do wykazania bezpieczeństwa wyrobu i poprawnego wprowadzenia go do obrotu handlowego, a tym samym uniknięcia ewentualnych kar, które mogą być nałożone przez organy nadzoru rynku.

2.2. Obowiązki producenta wprowadzającego wyrób do obrotu handlowego

Za prawidłowe wprowadzenie wyrobu do obrotu odpowiada producent. Zakres obowiązków producenta wyrobu podlegającego ocenie zgodności z zasadniczymi wymaganiami bezpieczeństwa przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Obowiązki producenta wyrobu podlegającego ocenie zgodności z zasadniczymi wymaganiami bezpieczeństwa [opracowanie własne]

2.2.1. Projektowanie i wytwarzanie wyrobu

Zgodnie z zasadami oceny zgodności proces projektowania każdego wyrobu powinien obejmować ocenę ryzyka, w celu określenia mających zastosowanie wymagań bezpieczeństwa. Wyrób powinien być zaprojektowany i wykonany z uwzględnieniem wszystkich wymagań bezpieczeństwa zidentyfikowanych w toku oceny ryzyka. Sposób spełnienia zasadniczych wymagań bezpieczeństwa jest określony w normach zharmonizowanych, wydanych przez CEN i CENELEC na podstawie mandatu udzielonego przez Komisję Europejską oraz Europejskie Stowarzyszenie Wolnego Handlu. Jeżeli wyrób jest zgodny z postanowieniami norm zharmonizowanych, domniemywa się, że spełnia

również zasadnicze wymagania bezpieczeństwa zawarte w przepisach technicznych (dyrektywach).

Normy zharmonizowane stają się podstawą domniemania zgodności z odpowiednimi zasadniczymi wymaganiami dyrektywy, jeżeli są spełnione następujące warunki:

- w normach wskazano zasadnicze wymagania bezpieczeństwa, które są objęte ich zakresem,
- znajdują się w wykazie norm zharmonizowanych z daną dyrektywą, opublikowanym w Dzienniku Urzędowym Unii Europejskiej (ang. *Official Journal of the European Union OJ*),
- przynajmniej jedno państwo członkowskie Unii Europejskiej przetransponowało je na szczebel krajowy.

Zgodność z normami zharmonizowanymi jest podstawowym i najczęstszym sposobem osiągnięcia zgodności z zasadniczymi wymaganiami bezpieczeństwa. Należy jednak pamiętać, że można stosować wyłącznie normy i ich edycje wyszczególnione w najnowszym wydaniu Dziennika Urzędowego Unii Europejskiej, dostępnym na stronie Komisji Europejskiej [9]. Przy wykorzystaniu specyfikacji technicznych, innych niż normy zharmonizowane, wykazanie zgodności z zasadniczymi wymaganiami jest zadaniem skomplikowanym, wymagającym zwykle przeprowadzenia procedury oceny zgodności przez jednostkę notyfikowaną.

2.2.2. Procedury oceny zgodności

W celu potwierdzenia zgodności wyrobu z zasadniczymi wymaganiami bezpieczeństwa, producent powinien przeprowadzić procedury oceny zgodności obejmujące fazę projektowania oraz wytwarzania, zdefiniowane w mających zastosowanie dyrektywach. Wybór procedury zależy od rodzaju wyrobu, rodzaju produkcji (jednostkowa, seryjna), wymaganej kategorii (np. procedury oceny zgodności urządzeń grupy I zależą od tego, czy są kategorii M1, czy M2), ryzyka utraty zdrowia lub życia i zakresu stosowania norm zharmonizowanych. W większości przypadków procedurę(-y) oceny zgodności przeprowadza producent samodzielnie. Wyroby, których stosowanie wiąże się z największym ryzykiem, podlegają procedurom oceny zgodności realizowanym przez jednostki notyfikowane Komisji Europejskiej. W przypadku, gdy dany wyrób podlega kilku dyrektywom, należy przeprowadzić odpowiednie procedury oceny zgodności przewidziane w każdej z tych dyrektyw.

Przykładem może być ognioszczelny, górniczy silnik elektryczny, produkowany seryjnie:

- jako maszyna nieukończona, podlega procedurze oceny zgodności połączonej z kontrolą wewnętrzną na etapie wykonania silnika (moduł A) opisaną w rozporządzeniu Ministra Gospodarki z dnia 21 października 2008 r. w sprawie wymagań dla maszyn [10] w Załączniku nr 6 pkt 1,
- jako urządzenie elektryczne grupy I kategorii M2 podlega procedurom oceny zgodności opisanym w rozporządzeniu Ministra Rozwoju z dnia 6 czerwca 2016 r. w sprawie wymagań dla urządzeń i systemów ochronnych przeznaczonych do użytku w atmosferze potencjalnie wybuchowej [11]:
 - na etapie projektowania - badaniu typu UE (moduł B opisany w Załączniku nr 3 do ww. rozporządzenia),

- na etapie wytwarzania:
 - zgodności z typem w oparciu o wewnętrzną kontrolę produkcji oraz badanie wyrobów pod nadzorem (moduł C1 opisany w Załączniku nr 6 do ww. rozporządzenia),
 - zgodności z typem w oparciu o zapewnienie jakości wyrobu (moduł E opisany w Załączniku nr 7 do ww. rozporządzenia).

Pozytywne wyniki oceny zgodności są potwierdzane przez producenta w deklaracji zgodności UE a przez jednostkę notyfikowaną, w zależności od procedury, w certyfikacji badania typu UE, certyfikacji zgodności lub powiadomieniu o zapewnieniu jakości.

2.2.3. Dokumentacja techniczna wykazująca zgodność z wymaganiami dotyczącymi bezpieczeństwa

W ramach każdej procedury oceny zgodności należy opracować dokumentację techniczną. Dokumentacja techniczna wyrobu powinna umożliwić ocenę jego zgodności z mającymi zastosowanie zasadniczymi wymaganiami dyrektywy oraz powinna obejmować m.in. analizę i ocenę ryzyka. Dokumentacja techniczna powinna obejmować, w stopniu odpowiednim dla przeprowadzonej oceny, projekt, produkcję i działanie wyrobu. Dodatkowo, dla wyrobów przeznaczonych do stosowania w atmosferze potencjalnie wybuchowej należy opracować dokument z wynikami oceny zagrożenia zapłonem, zawierający informacje o:

- wszystkich potencjalnych źródłach zapłonu,
- środkach, które powinny być zastosowane w celu zapewnienia, że źródła zapłonu nie staną się efektywne,
- zastosowanej ochronie przed zapłonem.

Dokumentacja techniczna powinna być przechowywana przez co najmniej 10 lat od daty wyprodukowania ostatniego egzemplarza wyrobu.

2.2.4. Instrukcje

Zapewnienie bezpieczeństwa zależy również od informacji zawartych w instrukcjach, przekazanych użytkownikowi wraz z wyrobem. Instrukcje powinny zawierać niezbędne informacje umożliwiające bezpieczny transport, przemieszczanie, magazynowanie, uruchomienie, eksploatację, utrzymanie w ruchu (konserwację), wyłączenie z ruchu, demontaż, pozbywanie się, jak również postępowanie w sytuacjach awaryjnych.

Informacje zawarte w instrukcjach powinny dodatkowo:

- jednoznacznie identyfikować przeznaczenie wyrobu,
- zawierać instrukcje określające prawidłowe i bezpieczne użytkowanie,
- zawierać szczególne warunki stosowania,
- ostrzegać o ryzyku resztkowym oraz zagrożeniach związanych z niedozwolonymi sposobami eksploatacji.

Za przestrzeganie zasad określonych w instrukcjach odpowiada użytkownik wyrobu, stąd powinien zapewnić obsłudze odpowiednie szkolenia oraz łatwy dostęp do instrukcji.

2.2.5. Deklaracje zgodności UE

Po sporządzeniu dokumentacji technicznej i instrukcji, dostępnych w siedzibie producenta dla celów kontrolnych, należy potwierdzić zgodność wyrobu z zasadniczymi wymaganiami bezpieczeństwa w deklaracji zgodności UE. Deklaracja zgodności UE powinna zawierać wszystkie elementy określone w odpowiednich procedurach oceny i powinna być sporządzona w języku wymaganym przez państwo członkowskie, w którym wyrób udostępnia się na rynek. Ze względu na konieczność dokonywania systematycznego przeglądu deklaracja zgodności UE, przywołane w niej dokumenty odniesienia (normy, specyfikacje techniczne) powinny być aktualne w momencie wprowadzania wyrobu do obrotu handlowego. W przypadku, gdy wyrób podlega badaniu typu UE, powinna stwierdzać zgodność z zatwierdzonym wzorcem konstrukcyjnym, dla którego wystawiono certyfikat badania typu UE.

2.2.6. Oznakowanie CE

Oznakowanie CE, naniesione na wyrób, jest potwierdzeniem jego zgodności z wymaganiami Unii Europejskiej, nałożonymi na producenta i oznacza, że wyrób spełnia wszystkie mające zastosowanie zasadnicze wymagania bezpieczeństwa a odpowiednie procedury oceny zgodności zostały przeprowadzone z wynikiem pozytywnym. Jeżeli wyrób podlega kilku dyrektywom, które przewidują naniesienie oznakowania CE, znak ten wskazuje zgodność z postanowieniami wszystkich mających zastosowanie dyrektyw nowego podejścia. Wyroby wyłączone z postanowień dyrektyw nie powinny posiadać znaku CE.

3. Zasady dopuszczania maszyn i urządzeń górniczych do stosowania w zakładach górniczych

Zgodnie z wymaganiami ustawy z dnia 9 czerwca 2011 r. – Prawo geologiczne i górnicze [4] w zakładach górniczych mogą być stosowane wyroby, które:

- spełniają wymagania dotyczące oceny zgodności, określone w odrębnych przepisach, lub
- zostały określone w przepisach wydanych na podstawie art. 113 ust. 15 ww. ustawy oraz spełniają wymagania techniczne określone w tych przepisach, zwane dalej „wymaganiami technicznymi”, zostały dopuszczone do stosowania w zakładach górniczych oraz oznakowane w sposób określony w tych przepisach (w związku z art. 224 ww. ustawy, przepisami tymi jest rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 30 kwietnia 2004 r. w sprawie dopuszczania wyrobów do stosowania w zakładach górniczych [5]),
- zostały określone w przepisach wydanych na podstawie art. 120 ust. 1 lub 2 ww. ustawy oraz spełniają wymagania określone w tych przepisach (przepisami tymi jest rozporządzenie Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych [6]).

Zdecydowana większość maszyn i urządzeń górniczych podlega ocenie zgodności. Zakres wyrobów podlegających procedurze „dopuszczeniowej”, ze względu na potrzebą zapewnienia bezpieczeństwa użytkowania wyrobów w warunkach zagrożeń występujących w ruchu zakładów górniczych, nie jest szeroki i obejmuje m.in.: wyroby wyłączone z zakresu stosowania dyrektywy 2006/42/WE dotyczącej maszyn (elementy górniczych wyciągów szybowych), urządzenia elektryczne, które ze względu na napięcie znamionowe, nie

podlegają dyrektywie 2014/35/UE (urządzenia elektryczne na napięcie znamionowe powyżej 1 kV AC i 1,5 kV DC), zespoły maszyn i urządzeń tworzących systemy technologiczne i bezpieczeństwa (zintegrowane systemy sterowania kompleksów wydobywczych i przodkowych, systemy łączności, bezpieczeństwa i alarmowania) oraz inne specjalistyczne wyroby górnicze.

Wyszczególnione powyżej wyroby podlegają badaniom prowadzonym przez akredytowane jednostki certyfikujące, a następnie na podstawie pozytywnych wyników tych badań są dopuszczane do stosowania w zakładach górniczych decyzją Prezesa Wyższego Urzędu Górniczego.

Jedną z akredytowanych jednostek certyfikujących wyroby przed wydaniem decyzji o dopuszczeniu przez Prezesa Wyższego Urzędu Górniczego, jest Instytut Techniki Górniczej KOMAG Zakład Badań Atestacyjnych Jednostka Certyfikująca.

W celu stosowania bezpiecznych metod pracy oraz zapewnienia odpowiednich środków ochrony zbiorowej oraz sprzętu ochrony indywidualnej, w zakładach górniczych należy przestrzegać przepisów eksploatacyjnych zawartych w rozporządzeniu Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych.

4. Doświadczenia jednostki certyfikującej w Instytucie Techniki Górniczej KOMAG

Instytut Techniki Górniczej KOMAG posiada w swojej strukturze wydzieloną jednostkę organizacyjną - Zakład Badań Atestacyjnych Jednostka Certyfikująca, która z racji posiadanych uprawnień uczestniczy w procesach oceny zgodności, certyfikacji oraz wydawania wyników badań wyrobów podlegających dopuszczeniu do stosowania w zakładach górniczych.

Na podstawie wieloletnich doświadczeń zebranych podczas realizacji ww. procesów zidentyfikowano szereg problemów, z których najczęściej spotykanymi są:

- brak identyfikacji zasadniczych wymagań bezpieczeństwa, które uwzględniono w procesie projektowania (nie przeprowadzono oceny ryzyka),
- brak znajomości norm zharmonizowanych dotyczących danego wyrobu,
- stosowanie norm nieaktualnych, przez co nie jest możliwe potwierdzenie zgodności z zasadniczymi wymaganiami bezpieczeństwa, objętych zakresem tych norm,
- wybiórcze uwzględnianie wymagań bezpieczeństwa (przykładowo: urządzenia elektryczne przeznaczone do stosowania w atmosferze potencjalnie wybuchowej powinny spełniać nie tylko wymagania dotyczące bezpieczeństwa przeciwwybuchowego, ale również inne wymagania bezpieczeństwa, określone w odpowiednich normach przemysłowych. Certyfikat badania typu UE wydany zgodnie z modulem B rozporządzenia [9] stanowi potwierdzenie zgodności urządzenia z wymaganiami norm dotyczących zabezpieczenia przeciwwybuchowego a nie norm przemysłowych),
- nieprawidłowy skład i zawartość dokumentacji technicznej (na podstawie dokumentacji technicznej nie można wykazać zgodności wyrobu z wymaganiami bezpieczeństwa. Zdarza się, że brak zapisów z analizy i oceny ryzyka, a dla wyrobów przeznaczonych do stosowania w atmosferze potencjalnie wybuchowej - dokumentacji zawierającej wyniki oceny zagrożenia zapłonem),

- instrukcja nie zawiera wymaganych informacji, np. szczególnych warunków stosowania określonych w certyfikacie badania typu UE, wzoru deklaracji zgodności (wymóg dyrektywy maszynowej [10]),
- deklaracja zgodności UE nie zawiera wszystkich wymaganych elementów (najczęściej nie jest wymieniona osoba odpowiedzialna za sporządzenie dokumentacji technicznej - wymóg dyrektywy maszynowej [10]).
- zgodność z zasadniczymi wymaganiami bezpieczeństwa została potwierdzona przez odwoływanie się do norm branżowych np. górniczych (Normy branżowe mogą być wymienione w deklaracji zgodności UE, jako dodatkowe specyfikacje techniczne, ale ze względu na brak ich harmonizacji, nie mogą być wykorzystane do wykazywania zgodności z wymaganiami zasadniczymi),
- nieprawidłowe oznakowanie wyrobów, najczęściej wyrobów przeznaczonych do stosowania w atmosferze potencjalnie wybuchowej (najczęstsze błędy to umieszczenie za oznakowaniem CE numeru jednostki notyfikowanej, która zatwierdziła typ wyrobu, a nie numeru jednostki notyfikowanej, która zatwierdziła system jakości lub dokonała oceny danego egzemplarza wyrobu).

5. Podsumowanie

Prawidłowo przeprowadzony proces oceny zgodności wyrobów z wymaganiami bezpieczeństwa jest korzystny dla wszystkich zainteresowanych stron: producentów, jednostek oceniających zgodność na etapie wprowadzania do obrotu, jednostek inspekcyjnych i organów nadzoru rynku i użytkowników. W artykule dokonano przeglądu wymagań, w odniesieniu do wyrobów przeznaczonych do stosowania w zakładach górniczych, wyraźnie rozdzielając odpowiedzialność producenta i użytkownika. Za zgodność wyrobu z wymaganiami bezpieczeństwa przy wprowadzaniu wyrobu do obrotu i oddawaniu do stosowania odpowiada producent. Z kolei za utrzymanie cech konstrukcyjnych, właściwą obsługę zgodną z instrukcjami producenta i wymaganiami przepisów eksploatacyjnych odpowiada użytkownik.

Na podstawie doświadczeń akredytowanej jednostki certyfikującej zidentyfikowano błędy najczęściej powtarzane przez producentów, które pomimo wieloletniego obowiązywania europejskich regulacji prawnych, są popełniane w dalszym ciągu. Prawidłowe stosowanie przepisów technicznych, identyfikacja wymagań zasadniczych, norm zharmonizowanych, dokumentacji technicznej wymaganej realizowaną procedurą, zakresu badań typu i badań, przeprowadzenie właściwych procedur oceny zgodności, przygotowanie właściwych instrukcji i deklaracji zgodności UE, jak również odpowiednie oznakowanie gwarantują przekazanie użytkownikowi wyrobu bezpiecznego. Zapewnienie bezpieczeństwa podczas użytkowania wyrobu zależy od przestrzegania przez użytkownika zaleceń producenta zawartych w instrukcjach oraz przepisów eksploatacyjnych.

Literatura

- [1] Konstytucja Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 2 kwietnia 1997 r. (Dz. U. 1997 nr 78 poz. 483, Dz. U. 2001 nr 28 poz. 319, Dz. U. 2006 nr 200 poz. 1471, Dz. U. 2009 nr 114 poz. 946)
- [2] Ustawa z dnia 30 sierpnia 2002 r. o systemie oceny zgodności (tekst jednolity: Dz. U. 2016 poz. 655)

- [3] Ustawa z dnia 13 kwietnia 2016 r. o systemach oceny zgodności (tekst jednolity: Dz. U. 2017 poz. 1398)
- [4] Ustawa z dnia 12 grudnia 2003 r. o ogólnym bezpieczeństwie produktów (tekst jednolity: Dz.U. 2016 poz. 2047)
- [5] Ustawa z dnia 9 czerwca 2011 r. – Prawo geologiczne i górnicze (tekst jednolity: Dz. U. 2017 poz. 2126)
- [6] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 30 kwietnia 2004 r. w sprawie dopuszczania wyrobów do stosowania w zakładach górniczych (Dz. U. nr 99 poz. 1003 wraz z późniejszymi zmianami)
- [7] Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych (Dz. U. 2017 poz. 1118)
- [8] Figiel A. Tytko A.: Ocena zgodności maszyn i urządzeń górniczych. CMG KOMAG, Gliwice 2004 ISBN 83-920972-1-1
- [9] https://ec.europa.eu/growth/single-market/european-standards/harmonised-standards_pl/ (21.05.2018)
- [10] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 21 października 2008 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla maszyn (Dz. U. 2008 nr 199 poz. 1228)
- [11] Rozporządzenie Ministra Rozwoju z dnia 6 czerwca 2016 r. w sprawie wymagań dla urządzeń i systemów ochronnych przeznaczonych do użytku w atmosferze potencjalnie wybuchowej (Dz. U. 2016 poz. 817)

Czy wiesz, że

... wydarzeniem, które skupiło czołówkę polskich firm o strategicznym znaczeniu dla polskiego przemysłu, były warszawskie Targi Automaticon® 2018. Targi zorganizowane już po raz dwudziesty czwarty, w dniach 20-23 marca br., utrzymały miano lidera wśród imprez wystawienniczych w Polsce. O tym, że pozycja Automaticonu jest nadal bardzo mocna, świadczy chociażby fakt, że w tym roku na 9800 m² powierzchni zaprezentowało się 301 wystawców. Targi odwiedziło zaś około 12 tysięcy osób. Można było zobaczyć stoiska tak znanych firm, jak ABB, B&R Automatyka Przemysłowa, Beckhoff Automation, Bosch Rexroth, Eaton, Turck, Elmark Automatyka, Phoenix Contact, Multiprojekt, Lenze Polska, SEW-Eurodrive Polska, Faulhaber, Eldar i wiele innych. Konferencja prasowa Targów zapoczątkowała szereg imprez towarzyszących wydarzeniu: seminariów promocyjnych i prezentacji firm tematycznie związanych z Targami.

Ważenie, Dozowanie, Pakowanie 2018 nr 2 s.62-64