

*surowce mineralne, wzbogacanie,
klasyfikatory*

Daniel KOWOL¹
Piotr MATUSIAK

ZASTOSOWANIA KLASYFIKATORA PULSACYJNEGO KOMAG DO OCZYSZCZANIA TRUDNOWZBOGACALNYCH SUROWCÓW MINERALNYCH

Klasyfikator pulsacyjny jako urządzenie wielokrotnie stosowane do pozyskiwania żwiru i piasku, z jednoczesnym wydzielaniem zanieczyszczeń organicznych i mineralnych, pozwala na spełnienie jakościowych wymagań producentów i odbiorców kruszywa. Przedstawiono rozwiązanie klasyfikatora pulsacyjnego typu KOMAG oraz przykłady jego wdrożeń. Opisano możliwości wzbogacania nadaw trudnowzbogacalnych, zawierających zanieczyszczenia węglanowe lub charakteryzujące się wysokim udziałem frakcji piaskowych. Przedstawiono rozwiązania konstrukcyjne układów technologicznych.

1. WPROWADZENIE

Występujące w złożach piaskowo-żwirowych zanieczyszczenia obniżają jakość produktu handlowego i wpływają na rachunek ekonomiczny zakładu górniczego. Proste metody oczyszczania kruszyw, np. w płuczkach mieczowych, zwłaszcza w przypadku znacznych udziałów zanieczyszczeń oraz niewielkiej różnicy gęstości rozdzielanych ziaren, nie zapewniają odpowiedniej efektywności wydzielania substancji szkodliwych (zanieczyszczeń). Urządzeniem spełniającym te wymagania, pozwalającym na produkcję kruszywa o wysokiej jakości oraz na dostosowanie parametrów technologicznych produktów do wymagań rynku są klasyfikatory pulsacyjne. W artykule przedstawiono budowę i zasadę działania klasyfikatora oraz scharakteryzowano

¹ Instytut Techniki Górniczej KOMAG, 44-101 Gliwice, ul. Pszczyńska 37
dkowol@komag.eu pmatusiak@komag.eu

jego odmiany konstrukcyjne. Dokonano analizy wpływu wybranych parametrów technologicznych na proces wzbogacania oraz przedstawiono koncepcje układów do rozdziału trudnowzbogacalnych nadaw żwirowo-piaskowych.

2. BUDOWA I ZASADA DZIAŁANIA KLASYFIKATORA PULSACYJNEGO

Klasyfikator pulsacyjny, w tym typu KOMAG, przeznaczony jest do rozdziału nadawy żwirowo-piaskowej o granulacji 16(32)–2(0) mm na dwa produkty (żwir i piasek) oraz wydzielania zanieczyszczeń organicznych i mineralnych z pozyskiwanych kruszyw. Działanie klasyfikatora wykorzystuje typowy proces wzbogacania grawitacyjnego, polegający na rozwarstwianiu, w pulsacyjnym ośrodku wodnym, odpowiednio przygotowanej nadawy, według składu ziarnowego i gęstości (Matusiak, Kowol 2012). Produktami użytecznymi urządzenia są ziarna żwirowe o zmniejszonych udziałach zanieczyszczeń oraz wydzielone przez otwory pokładu sitowego ziarna piaskowe. Głównym elementem klasyfikatora jest zespół komór roboczych, z zamocowanym w górnej części pokładem sitowym, na którym następuje przemieszczanie i rozdział oczyszczanego kruszywa. Kolejnym podzespołem urządzenia jest odbieralnik obrotowy, wyposażony w wygarniacz oczyszczonego produktu żwirowego. Nad odbieralnikiem zamontowane jest koryto przelewu produktu odpadowego (zanieczyszczeń). Ruch pulsacyjny oczyszczanego kruszywa wywoływany jest przez instalację pneumatyczną złożoną z dmuchawy, kolektora powietrza roboczego i zaworu pulsacyjnego talerzowego oraz doprowadzenie wody roboczej. Konstrukcję uzupełniają zsuwnie nadawy i odprowadzania produktu żwirowego oraz instalacja odprowadzająca wodę i produkt piaskowy z otworów wypływowych, usytuowanych w dolnej części komór roboczych. Klasyfikator zabudowany jest zazwyczaj na podbudowie mobilnej (rys. 1, 3b) z podestem obsługi i schodami lub montowany jest na konstrukcji wraz z urządzeniami współpracującymi (rys. 3a).

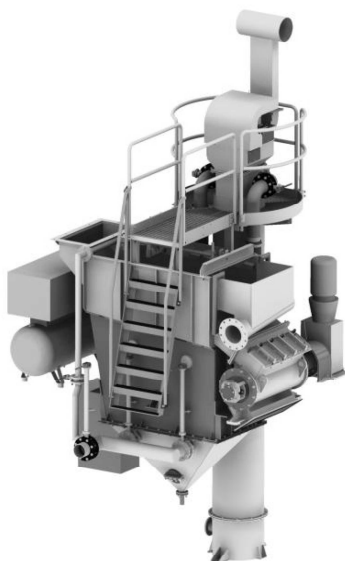
Prawidłową pracę klasyfikatora zapewnia system elektronicznego sterowania, poprzez zastosowanie zaworu regulującego pulsację wody, w zależności od parametrów technologicznych nadawy. System steruje odbiorem żwiru za pomocą impulsów elektrycznych podawanych przez czujnik pływakowy. Pierwsza konstrukcja klasyfikatora przeznaczona była do oczyszczania kruszywa o maksymalnej wydajności 100 Mg/h (K100); w 2010 roku powstał zmodernizowany klasyfikator pulsacyjny K100 oznaczony symbolem K101 (rys. 1).

Na postawie doświadczeń z klasyfikatorami K100 powstał klasyfikator K150. W wyniku zmiany układu odbioru produktu zastosowano bardziej wydajny odbieralnik obrotowy, o większej pojemności z pochylonym kanałem odbiorczym do 60° oraz zmienionym układem odbioru frakcji drobnych, poprzez zastąpienie czterech małych stożkowych wylewów dwoma dużymi. Zastosowano również wydajniejszy zawór pulsacyjny i dmuchawę o większej mocy. W związku z potrzebą dostosowania urzą-

dzenia do mniejszej wydajności, lżejszego (o ok. 25%), w 2012 roku powstał klasyfikator K60 (rys. 2). Podobnie jak w poprzednich rozwiązaniach, możliwa jest jego zabudowa na podwoziu mobilnym.



Rys. 1. Klasyfikator K101 na podbudowie mobilnej (Matusiak, Kowol 2013, Matusiak i in. 2012)
Fig. 1. K101 pulsatory jig on a mobile base



Rys. 2. Klasyfikator pulsacyjny K60
(Matusiak, Kowol 2013)
Fig. 2. K60 pulsatory jig

W tabeli przedstawiono podstawowe parametry techniczne klasyfikatorów zaprojektowanych w ITG KOMAG.

Tabela. Ważniejsze parametry klasyfikatorów KOMAG (Matusiak, Kowol 2012, Matusiak i in. 2012)
Table. Main technical parameters of KOMAG jigs

Typ klasyfikatora		K60	K80	K100 (K101)	K150	K200
wydajność nominalna	[Mg/h]	60	80	100	150	200
całkowita powierzchnia robocza	[m ²]	ok. 2,0	ok. 4,0	ok. 4,0	ok. 4,0	ok. 4,0
zapotrzebowanie mocy	[kW]	22,5	30,5	30,5	42	42
zapotrzebowanie wody	[m ³ /h]	120–140	140–170	150–200	250–300	300–320
ciśnienie wody	[MPa]	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
masa z konstrukcją mobilną	[Mg]	ok. 15	ok. 18	ok. 19	ok. 21,5	ok. 21,9
masa bez konstrukcji mobilnej	[Mg]	ok. 7,5	ok. 10	ok. 10	ok. 12,6	ok. 13

3. WDROŻENIA KLASYFIKATORÓW PULSACYJNYCH

Doświadczenia z badań prototypu klasyfikatora, prowadzonych w kopalni kruszyw „Dębówko” (SKSM SA), w ramach projektu badawczo-rozwojowego, pozwoliły na wdrożenia urządzeń na różnych obiektach przemysłowych (Lenartowicz i in. 2010). Klasyfikatory pulsacyjne (rys. 3) zastosowano w:

- KSM sp. z o.o. w Borzęcinie (CEMEX Polska) do oczyszczania nadawy żwirowo-piaskowej, w klasie ziarnowej 16-2 mm, głównie z zanieczyszczeń organicznych (roślinnych),
- ZPKiP w Suwałkach (PPMD KRUSZBET SA) do oczyszczania nadawy żwirowo-piaskowej z występujących zanieczyszczeń mineralnych,
- PRInż. Surowce Sp. z o.o. w Januszkowicach, przejętej przez CEMEX Polska do wydzielania zanieczyszczeń organicznych (węglowych),
- ZPBetonów w Zdziechowicach (PUH „M+” Sp. z o.o. w Kędzierzynie Koźlu), do wydzielania zanieczyszczeń organicznych (węglowych),
- Żwirowni Bierawa (CEMEX Polska) o wydajności do 150 Mg/h, do oczyszczania nadawy żwirowo-piaskowej z zanieczyszczeń organicznych (roślinnych),
- Żwirowni Rokitno, do wydzielania z kruszywa zanieczyszczeń kredowych o wysokiej gęstości.



Rys. 3. Przykładowe klasyfikatory K150 (a) i K100 (b) (Matusiak i in. 2012)

Fig. 3. Example of K150 (a) jig and K100 jig (b) (Matusiak et al. 2012)

4. ANALIZA WPLYWU PARAMETRÓW TECHNOLOGICZNYCH NA PROCES WZBOGACANIA

Proces wzbogacania kruszywa w klasyfikatorze pulsacyjnym jest procesem składającym się z trzech, kolejno realizowanych operacji: wprowadzenie nadawy do koryta roboczego, rozwarstwienie gęstościowe materiału w pulsującym ośrodku wodnym oraz rozdział i odprowadzenia produktów wzbogacania. Zakłócenia występujące w każdej z ww. operacji skutkują zmniejszeniem skuteczności rozdziału kruszywa. Nierównomierne rozprzaskanie materiału na szerokości przedziału roboczego obniża efektywność wykorzystania powierzchni roboczej osadzarki do rozwarstwiania gęstościowego oraz powoduje miejscowe spiętrzenie się ziaren, utrudniające, a nawet uniemożliwiające, wypływ zanieczyszczeń na powierzchnię łóża.

Na skuteczność oczyszczania nadaw żwirowo-piaskowych bardzo istotny wpływ ma także udział ziaren piaskowych w nadawie. Trudność oczyszczania kruszywa z dużą ilością piasku wynika z odmiennych wymogów procesowych dla różnych klas ziarnowych. W praktyce parametry ruchu pulsacyjnego dostosowuje się do rozmiaru największych ziaren, ze względu na wymóg odpowiedniego rozluźniania materiału w komorze roboczej, które umożliwia gęstościowe rozwarstwienie łóża oraz transport wzbogacanego materiału, dopasowany dla wydajności urządzenia. Udział małych ziaren wpływa niekorzystnie na przebieg procesu rozdziału w komorze roboczej urządzenia. Jest to następstwem zwiększonego zagęszczenia łóża oraz obecności zarówno małych i ciężkich ziaren, jak i dużych i lekkich, w górnej warstwie łóża. Zwiększony udział ziaren piaskowych zmniejsza natężenie przepływu strumienia pulsacyjnego wody poprzez łóża, powodując obniżenie skuteczności wynoszenia zanieczyszczeń w kierunku powierzchni łóża.

Znaczny udział ziaren piaskowych w łóżu ujemnie wpływa również na prawidłowość przebiegu operacji rozdziału rozwarstwowanego materiału wraz z odprowadza-

niem produktów, ponieważ wraz ze wzrostem udziału tych ziaren zwiększa się prawdopodobieństwo występowania strat ziaren użytecznych w produkcie przelewu. Występuje także niekontrolowane zatrzymanie transportu, nadmiernie zagęszczonego produktu żwirowego w kanale zasilającym odbieralnik obrotowy. Istotnym czynnikiem wpływającym na skuteczność gęstościowego rozdziału jest prędkość opadania ziaren lekkich (zanieczyszczeń), która zależy zarówno od gęstości, jak i rozmiaru ziarna. Wraz ze zmniejszaniem się różnicy pomiędzy prędkością opadania ziaren lekkich i żwirowych, zwiększa się trudność gęstościowego rozdziału materiału w osadzarce oraz zmniejsza się zakres parametrów technologicznych osadzarkowego procesu, dla których skuteczność wzbogacania osiąga akceptowalny poziom.

Czynnikiem wpływającym na skuteczność rozdziału nadaw trudnowzbogacalnych, zarówno żwirowo-piaskowych, jak i żwirowych, jest również wysokość warstwy materiału w komorze roboczej klasyfikatora, co powoduje celowość uwzględniania tego parametru podczas projektowania przekroju podłużnego łoża. W zależności od gęstości zanieczyszczeń zawartych w nadawie należy dobrać długość i kąt pochylenia sit oraz wysokość progu przelewowego w komorze roboczej klasyfikatora pulsacyjnego (Kowol i in. 2012, 2013, Matusiak, Kowol 2013).

5. KONCEPCJE UKŁADÓW ROZDZIAŁU NADAW TRUDNOWZBOGACALNYCH

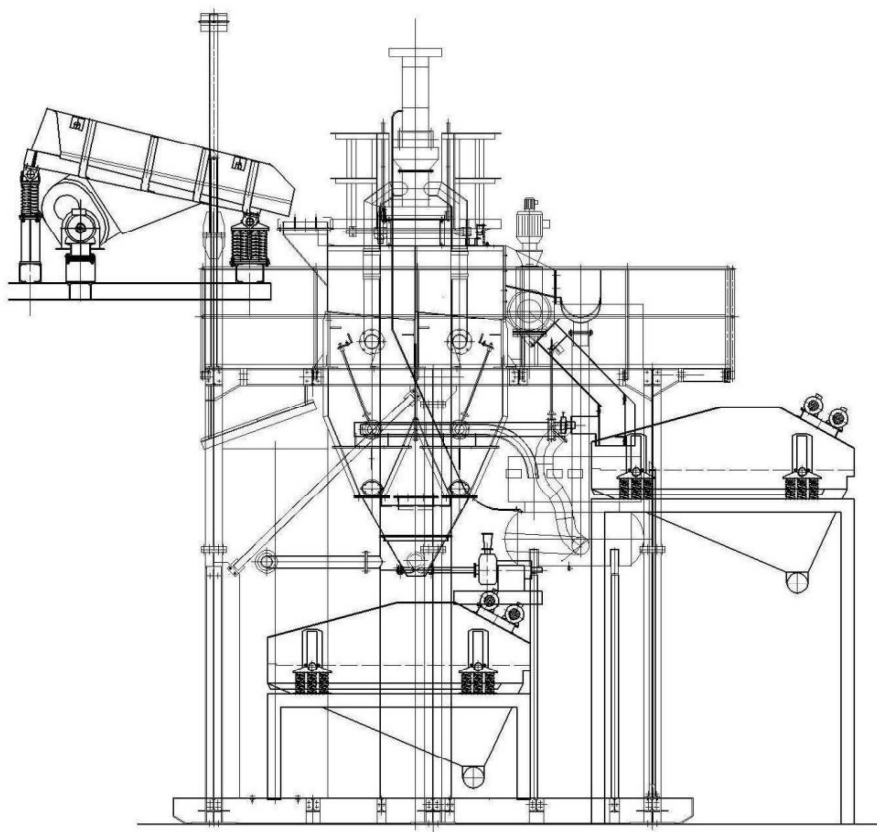
5.1. UKŁAD OCZYSZCZANIA KRUSZYWA Z DUŻĄ ZAWARTOŚCIĄ PIASKU

W celu eliminacji lub ograniczenia negatywnych zjawisk podczas osadzarkowego procesu oczyszczania nadaw żwirowo-piaskowych, w oparciu o wyniki badań laboratoryjnych, przyjęto możliwość wykorzystania sit o otworach powiększonych, z dotychczas stosowanych 2,5 mm do 4(6) mm. Powiększenie otworów sit zwiększa możliwości intensyfikacji klasyfikacji materiału na sitach, w korycie roboczym osadzarki i równocześnie, w wyniku zmniejszonego udziału drobnych ziaren w górnej warstwie łoża, ogranicza straty materiału użytecznego w produkcie przelewu.

Zastosowanie w korycie klasyfikatora pokładów sitowych, których rozmiar otworów znacznie przekracza wielkość ziaren piaskowych, spowoduje zwiększony przepad do wnętrza osadzarki, nie tylko najdrobniejszych ziaren, ale również ziaren żwirowych. Zwiększony wychód i zakres uziarnienia produktu odprowadzanego przez sita wymusza konieczność zmiany dotychczasowego sposobu jego wyprowadzania na zewnątrz urządzenia, jak i jego klasyfikacji wymiarowej. W proponowanym rozwiązaniu przewidziano zastąpienie dotychczasowego sposobu odprowadzania (dwa lub cztery wylewy), pojedynczym wylewem, o zwiększonej średnicy otworu.

Przy przewidywanym, znacznym wychodzie produktu przepadu, korzystne będzie zastosowanie regulacji wylewu, co umożliwi uzyskiwanie większego zagęszczenia materiału i jednocześnie ograniczy zużycie wody procesowej. Odprowadzanie prze-

padu poprzez wylew wiąże się z koniecznością zastosowania pod nim przesiewacza, w celu klasyfikacji i odwodnienia ziaren żwirowych > 2 mm oraz odpowiedniego wyższego umiejscowienia osadzarki. Na rysunku 4 przedstawiono koncepcję do oczyszczania kruszywa z dużym udziałem ziaren piaskowych. W proponowanym rozwiązaniu, do przesiewacza odbierającego produkt przepadu może być dodatkowo kierowany produkt dolny (np. < 4 mm) klasyfikacji oczyszczonego produktu żwirowego, odprowadzanego przez odbieralnik obrotowy, który oprócz ziaren żwirowych zawiera również wymagające oddzielenia ziarna piaskowe.



Rys. 4. Koncepcja układu do oczyszczania kruszywa z dużym udziałem piasku (Kowol i in. 2013)
Fig. 4. Concept of the system for purification of aggregate of high share of sand

Odbiór produktu przepadu z wylewu skrzyni dolnej klasyfikatora w postaci zagęszczonej, wymaga zastosowania w dolnej komorze osadzarki sygnalizatora poziomu gromadzącego się osadu oraz sprzężenia go z regulatorem sterującym położeniem zaworu wylewowego. Proponowana koncepcja węzła oczyszczania z za-

stosowaniem klasyfikatora pulsacyjnego wykorzystuje znane rozwiązania, których zastosowanie umożliwi zarówno wzbogacanie nadaw z dużym udziałem piasku, jak i klasyfikowanie odprowadzanych produktów wg wymaganych rozmiarów ziaren.

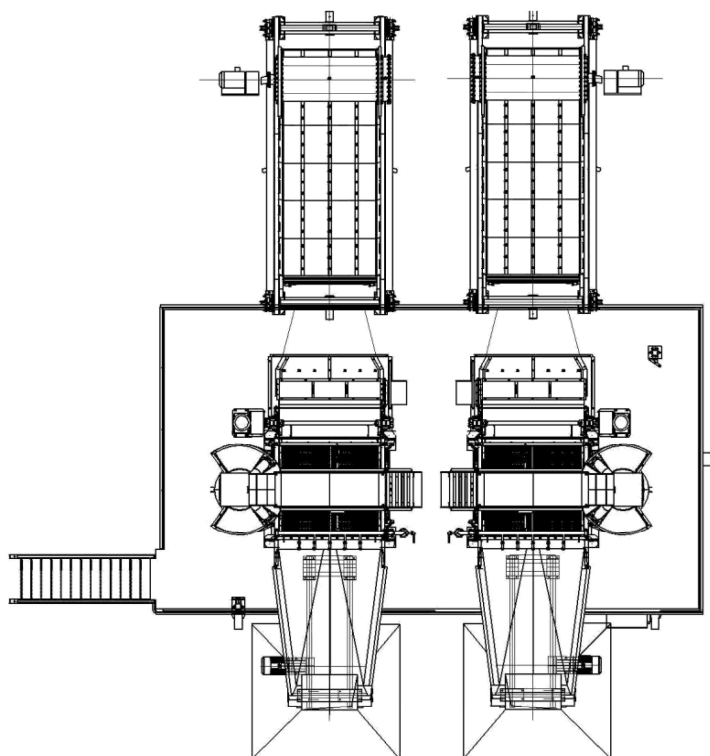
Istotnym elementem procesu wzbogacania kruszywa jest odpowiednie wprowadzenie nadawy do klasyfikatora pulsacyjnego. W celu zapewnienia równomierności, zarówno pod względem ilościowym, jak i równomiernego rozłożenia nadawy na całej szerokości koryta roboczego klasyfikatora, proponuje się zastosowanie podajnika wibracyjnego pomiędzy przenośnikiem taśmowym nadawczym, a wlotem klasyfikatora.

5.2. UKŁAD DO OCZYSZCZANIA KRUSZYWA Z CZĄSTEK WĘGLANOWYCH

W przypadku występowania w złożu ziaren reagujących w środowisku alkalicznym (kreda, węglany) o wysokiej gęstości, na skuteczność rozdziału wpływa zakres uziarnienia materiału oraz rozmiar zanieczyszczeń i ich udział w poszczególnych klasach ziarnowych. Wzbogacanie kruszywa z tego typu zanieczyszczeniem wymaga przygotowania potencjalnej nadawy poprzez wstępną, dokładną klasyfikację ziarnową, w celu usunięcia ziaren piaskowych (2-0 mm).

W celu maksymalnego wyeliminowania z nadawy ziaren równopadających celowe jest oddzielne wzbogacanie w klasyfikаторze pulsacyjnym zanieczyszczonego materiału zwirowego (16-2 mm) w dwóch klasach, np. 16-8 oraz 8-2 mm. Wzbogacanie na-przemienne materiału w dwóch klasach, przy zastosowaniu pojedynczego urządzenia, wymaga stosowania w nim odpowiednich do rozmiaru ziaren parametrów technologicznych procesu. Należą do nich grubość warstwy łoża oraz ruch pulsacyjny wody. Tak więc od użytkownika wymagana będzie ciągła zmiana ustawień tych parametrów. Ponadto rozwiązanie to może wpłynąć na ograniczenie możliwości przeróbczych całego zakładu.

Alternatywą tego rozwiązania, eliminującego opisane utrudnienia, jest zastosowanie klasyfikatora dwukorytowego, z niezależnie zasilanymi i sterowanymi korytami roboczymi, co umożliwi jednoczesne wzbogacanie kruszywa w dwóch klasach ziarnowych. Podobnie jak w przypadku wzbogacania nadaw z dużym udziałem piasku, w celu stabilnego i równomiernego rozłożenia nadawy na całej szerokości koryta roboczego klasyfikatora, przewidziano zastosowanie podajnika wibracyjnego. Koncepcję układu do oczyszczania kruszywa z ziaren węglanowych przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Koncepcja układu do oczyszczania kruszywa z ziaren o wysokiej gęstości (Kowol 2013)

Fig. 5. Concept of the system for removal of high density grains from aggregate

6. PODSUMOWANIE

Klasyfikatory pulsacyjne typu KOMAG potwierdziły swoje zalety w różnorodnych zastosowaniach, cechując się niezawodną pracą oraz niskimi kosztami eksploatacji, przy jednoczesnej wysokiej skuteczności oczyszczania kruszyw. Niewątpliwą ich zaletą jest możliwość dostosowania konstrukcji do wymagań konkretnego odbiorcy, pod względem warunków zabudowy, oczekiwanej wydajności i jakości produktów handlowych. Prace badawcze i modernizacyjne umożliwiają stały rozwój urządzenia i rozszerzanie zakresu jego zastosowania. Wdrożenie przedstawionych w artykule układów umożliwi zwiększenie skuteczności oczyszczania nadaw trudnowzbogacalnych, zawierających zanieczyszczenia o wysokiej gęstości lub znaczny udział frakcji piaskowych.

LITERATURA

- KOWOL D. i in. 2012, *Optymalizacja parametrów procesowych oczyszczania nadaw żwirowych w klasyfikatorze pulsacyjnym w zależności od typu zanieczyszczeń i udziału ziaren piaskowych*, ITG KOMAG, Gliwice (niepubl.).
- KOWOL D. i in. 2013, *Dostosowanie parametrów technologiczno-konstrukcyjnych klasyfikatora pulsacyjnego do oczyszczania trudnowzbogacalnych nadaw żwirowo-piaskowych*, ITG KOMAG, Gliwice (niepubl.).
- LENARTOWICZ M., MATUSIAK P., KOWOL D., ŁAGÓDKA M., 2010, *Innowacyjne rozwiązanie klasyfikatora pulsacyjnego do oczyszczania surowców mineralnych*, Maszyny Górnicze, nr 3–4, 119–125.
- MATUSIAK P., KOWOL D., 2012, *Klasyfikator pulsacyjny jako sprawdzone urządzenie do oczyszczania surowców mineralnych*, Prace Naukowe Instytutu Górnictwa PWr., Studia i Materiały, Górn. i Geol. XVII, nr 134/4, 191–199.
- MATUSIAK P., KOWOL D., 2013, *Możliwości poprawy jakości kruszywa poprzez zastosowanie klasyfikatora pulsacyjnego typu KOMAG*, Prace Naukowe Instytutu Górnictwa PWr., nr 136, Studia i Materiały, nr 43, 109–118.
- MATUSIAK P., KOWOL D., NIECKARZ R., 2012, *Nowe rozwiązania klasyfikatora pulsacyjnego do oczyszczania surowców mineralnych*, Maszyny Górnicze, nr 4, 49–53.

POSSIBILITIES OF USE OF KOMAG PULSATORY JIG FOR PURIFICATION OF
HARD-TO-ENRICH MINERALS

Pulsatory jig, which was used many times for winning the gravel and sand, with simultaneous separation of organic and mineral contaminants, enables to meet high qualitative requirements of producers and recipients of aggregate. Design of KOMAG pulsatory jig and examples of its implementation are presented. Possibilities of beneficiation of hard-to-enrich feeds, which include carbonate contaminants or have a high share of sand fractions, are discussed. Design solutions of technological systems for the above mentioned types of feed are presented.