Prace Naukowe Instytutu Górnictwa
Nr 136 Politechniki Wrocławskiej Nr 136
Studia i Materiały Nr 43 2013

surowce mineralne, wzbogacanie, klasyfikator, żwir

Piotr MATUSIAK, Daniel KOWOL*

MOŻLIWOŚCI POPRAWY JAKOŚCI KRUSZYWA PRZEZ ZASTOSOWANIE KLASYFIKATORA PULSACYJNEGO TYPU KOMAG

Przedstawiono rozwój konstrukcji klasyfikatorów pulsacyjnych typu KOMAG stosowanych do pozyskiwania żwiru i piasku, z jednoczesnym wydzielaniem zanieczyszczeń organicznych i mineralnych. Zamieszczono wyniki badań laboratoryjnych optymalizujących działanie klasyfikatorów. Opisano czynniki procesowe wpływające na zwiększenie skuteczności wzbogacania w zależności od charakterystyki nadawy (kruszywa).

1. WPROWADZENIE

Złoża kruszyw naturalnych zanieczyszczone są często substancją organiczną lub mineralną, której zawartość w produkcie handlowym obniża jego jakość. Jednocześnie wymagania wynikające z norm środowiskowych, a także oczekiwania odbiorców kruszyw mineralnych wymuszają intensyfikację procesów klasyfikacji, oczyszczania i rozdzielania frakcji żwirowych od piaskowych.

W oparciu o wieloletnie doświadczenia Instytutu Techniki Górniczej KOMAG w konstruowaniu i doborze technologicznym osadzarek do wzbogacania węgla kamiennego opracowano i udoskonalono konstrukcję osadzarki do rozdziału i oczyszczania kruszywa. Efektem tych prac jest klasyfikator pulsacyjny, innowacyjne rozwiązanie pozwalające na uzyskiwaniu piasku i żwiru o wymaganej jakości oraz pozwalające na dostosowanie parametrów technologicznych produktów do wymagań rynku [2, 4].

Stale prowadzone prace modernizacyjne oraz badawcze umożliwiły jego rozwój poprzez badania wpływu różnych czynników procesowych na skuteczność działania klasyfikatorów pulsacyjnych.

* Instytut Techniki Górniczej KOMAG, pmatusiak@komag.eu, dkowol@ komag.eu

2. ROZWÓJ KONSTRUKCJI KLASYFIKATORA PULSACYJNEGO

Klasyfikator pulsacyjny typu KOMAG przeznaczony jest do rozdziału nadawy żwirowo-piaskowej o granulacji 16(32)-2(0) mm na dwa produkty oraz wydzielania zanieczyszczeń organicznych i mineralnych z pozyskiwanych kruszyw.

Zasada działania klasyfikatora opiera się na typowym procesie wzbogacania grawitacyjnego poprzez rozwarstwienie w pulsacyjnym ośrodku wodnym odpowiednio przygotowanej nadawy, według jej składu ziarnowego oraz gęstości składników [2–4].

Rys. 1. Klasyfikator pulsacyjny K-101 [4]
Fig. 1. K-101 pulsatory jig [4]

Konstrukcja klasyfikatora jest stale doskonalona. W 2010 roku powstał zmodernizowany klasyfikator pulsacyjny K-100 oznaczony symbolem K-101. Zmieniono w nim m.in. zawór pulsacyjny (rys. 2), w którym zastosowano 4 regulowane talerze, co pozwoliło na niezależne sterowanie układu zasilania powietrzem roboczym. Zabudowano również pomocniczy upust powietrza umożliwiający dodatkową regulację

ciśnienia powietrza roboczego. Zastosowano skuteczniejszy tłumik wylotu powietrza roboczego.

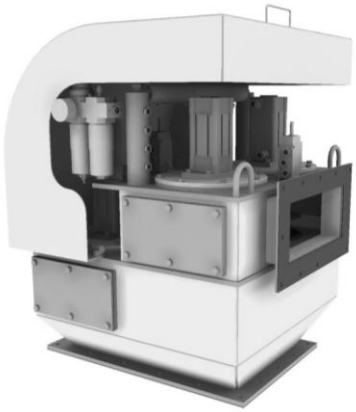
W tabeli 1 przedstawiono podstawowe parametry techniczne zaprojektowanych klasyfikatorów.

Tabela 1

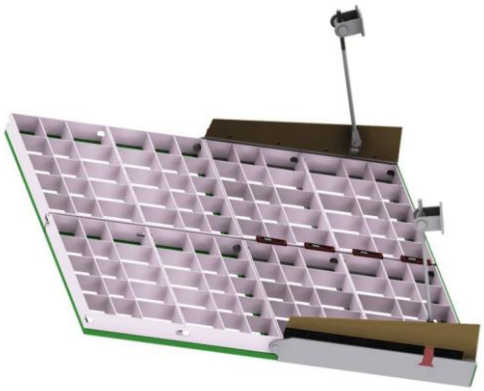
Podstawowe parametry techniczne klasyfikatorów typu KOMAG [4]

Parametr	Jednostka	Wydajność nominalna [t/h]				
		60	80	100	150	200
całkowita powierzchnia robocza	[m^2]	2,0	4,0	4,0	4,0	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	[t]	15	18	19	21,5	21,9
masa bez konstrukcji mobilnej	[t]	7,50	9,15	9,95	12,60	13,0

Zmodernizowano wreszcie urządzenie odbioru produktu (rys. 3) poprzez płynną regulację kąta nachylenia pokładu sitowego.



Rys. 2. Zawór pulsacyjny ZP-4 [4]
Fig. 2. ZP4 pulsatory valve [4]



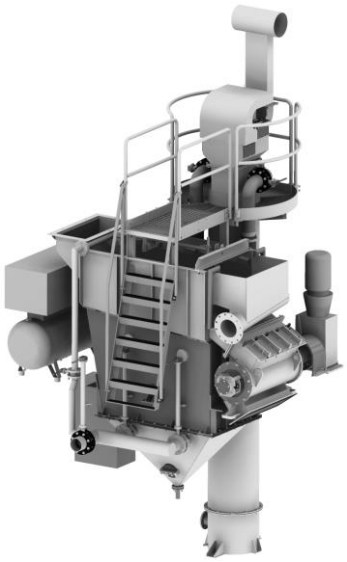
Rys. 3. Pokład sitowy z regulacją kąta nachylenia [4]
Fig. 3. Sieve deck with inclination angle control [4]

Wprowadzono alternatywne rozwiązanie układu odbioru oczyszczonego kruszywa – elastyczny wygarniacz odbieralnika (rys. 4). Zmiany te umożliwiają regulację ilości odbieranego produktu i zwiększenie maksymalnej wielkości ziaren w nadawie do 32 mm [4].

Rys. 4. Odbieralnik elastyczny [4]
Fig. 4. Elastic receiver for a jig [4]

Opracowany, nowy algorytm pracy klasyfikatora, umożliwia dobór trybów pracy klasyfikatora dla różnych typów nadaw. Dodatkowo zainstalowano przepustnice wody i powietrza w celu zwiększenia zakresu parametrów regulacyjnych, co umożliwia uzyskiwanie wyższej skuteczności oczyszczania kruszywa.

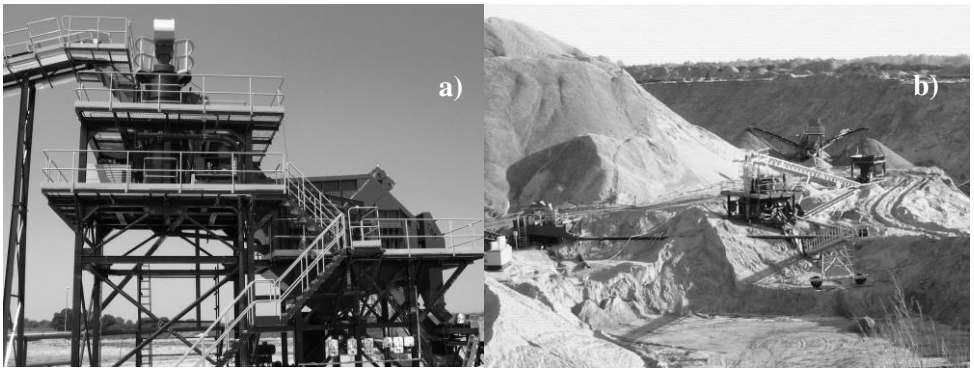
W związku z potrzebami dostosowania urządzenia do mniejszej wydajności, lżejszego (o około 25%) i tańszego, w 2012 roku powstał klasyfikator K-60 (rys. 5), który w odróżnieniu od typów klasyfikatorów K-100 i K-150 ma szerokość łoża wynoszącą 1000 mm [6]. Podobnie jak w poprzednich rozwiązaniach, możliwa jest jego zabudowa na podbudowie mobilnej.



Rys. 5. Klasyfikator pulsacyjny K-60 [6]
Fig. 5. K-60 pulsatory jig [6]

Doświadczenia z badań prototypu klasyfikatora, w trakcie realizacji projektu badawczego rozwojowego [2] umożliwiły wdrożenia do eksploatacji na różnych obiektach przemysłowych. Klasyfikator pulsacyjny wdrożono w: Żwirowni KSM sp. z o.o. w Borzęcinie (CEMEX Polska) – rys. 6a, w Zakładzie Produkcji Kruszyw i Prefabrykatów w Suwałkach (PPMD KRUSZBET S.A.), Żwirowni PRInż. Surowce Sp. z o.o. w Januszkowicach (obecnie CEMEX Polska) – rys. 6b, Zakładzie Produkcji Betonów w Zdzieszowicach (PUH „M +" Sp. z o.o. w Kędzierzynie Koźlu), Żwirowni Bierawa, należącej (CEMEX Polska) – (rys. 7a), Żwirowni Rokitno, w którym kruszywo zanieczyszczone jest ziarnami kredowymi o wysokiej gęstości (rys. 7b).

Rys. 6. Klasyfikator K-100 w Borzęcinie (a) i Januszkowicach (b) [3, 4]
Fig. 6. K-100 pulsatory jig in Borzęcin (a) and Januszkowice (b) [3, 4]



Rys. 7. Klasyfikator K-150 w Bierawie (a) oraz klasyfikator K-80 w okolicach Lublina (b) [3, 4]
Fig. 7. K-150 pulsatory jig in Bierawa (a) and K-80 pulsatory jig near Lublin (b) [3, 4]

3. BADANIA OPTYMALIZUJĄCE SKUTECZNOŚĆ OCZYSZCZANIA

Doświadczenia uzyskane w wyniku kolejnych wdrożeń klasyfikatora pulsacyjnego wykazały, że jego skuteczność w oczyszczaniu kruszyw jest zależna od szeregu czynników, wpływających zarówno na prawidłowość osadzarkowego procesu rozwarstwiania materiału według gęstości cząstek, jak i na stopień trudności ich rozdziału. Jednym z najistotniejszych czynników zapewniających prawidłowy przebieg procesu oczyszczania kruszywa jest równomierność rozprowadzania materiału nadawy na całej szerokości przed wprowadzeniem jej do klasyfikatora. Poprzez cienkowarstwowe wprowadzanie nadawy na całej szerokości urządzenia, otrzymuje się równomierny przepływ materiału poprzez klasyfikator oraz całkowite wykorzystanie powierzchni roboczej do prowadzenia procesu rozdziału, a tym samym uzyskuje się zwiększoną efektywność procesu wzbogacania.

Drugą grupą czynników wpływających na skuteczność oczyszczania kruszywa są parametry charakteryzujące materiał, wpływające na trudność jego wzbogacania. Do najważniejszych czynników należy zaliczyć rodzaj zanieczyszczeń występujących w materiale surowym i zakres uziarnienia materiału.

Trudność wzbogacania materiału wzrasta wraz ze zwiększaniem się gęstości i rozmiaru cząstek stanowiących zanieczyszczenia na skutek zmniejszania różnicy ich gęstości i wielkości w odniesieniu do kruszywa. Zapewnienie stałej, wysokiej skuteczności oczyszczania kruszywa w warunkach zmian charakterystyki składu ziarnowego dla zakresu 16-3(2) mm, gdy gęstość zanieczyszczeń jest mniejsza od 1,8 g/cm^3, a proces przebiega prawidłowo, jest łatwo osiągane ze względu na dużą różnicę gęstości ziaren oraz możliwość stosowania cykli pulsacji wody dających dobre rozluzowanie warstwy rozdzielanego materiału.

Doświadczenia przemysłowe wykazały, że istotnym problemem jest osadzarkowy proces oczyszczania nadaw żwirowo-piaskowych w klasie ziarnowej 16-0 mm. Proces wzbogacania tych nadaw zawierających ziarna piasku 2-0 mm w klasyfikatorze pulsacyjnym przebiega w sposób niestabilny. W celu określenia wpływu udziału drobnych ziaren w kruszywie na skuteczność jego oczyszczania, realizowano badania w warunkach laboratoryjnych.

Materiałem doświadczalnym w badaniach był żwir w klasie ziarnowej 16-3 mm, oraz nadawa żwirowo-piaskowa o uziarnieniu 16-0,5 mm, o udziale materiału drobnoziarnistego w klasie 3-0,5 mm (nazywanego dalej piaskiem) wynoszącym 25 i 50% [1, 5]. Badania prowadzono przy porównywalnych parametrach procesowych takich jak parametry pulsacji, natężenie dopływu wody oraz obciążenie materiałem.

W tab. 2 zestawiono wyniki skuteczności wydzielania zanieczyszczeń o gęstościach < 1,5 i 1,5–1,8 g/cm^3 (zanieczyszczenia organiczne) oraz ~2,1 g/cm^3 (zanieczyszczenia mineralne).

Tabela 2

Zestawienie wyników skuteczności gęstościowego rozdziału nadaw żwirowych i żwirowo-piaskowych [1, 5]

Próba		1	2	3	4	5	6
udział 3–0,5 mm w nadawie [%]		0,0	0,0	25,0	25,0	50,0	50,0
wydajność [t/h]		2,1	4,2	2,1	4,2	2,1	4,2
obciążenie jednostkowe [t/h m^2]		12	24	12	24	12	24
skuteczność rozdziału [%]	< 1,5 g/cm^3	99,6	100,0	96,0	91,4	43,3	74,6
	1,5–1,8 g/cm^3	100,0	100,0	95,5	91,6	35,6	68,6
	2,1 g/cm^3	87,1	79,1	34,6	56,2	20,4	21,8
wychód przepadu [%]		< 0,1	< 0,1	15,0	12,5	33,1	22,0

Badania porównawcze procesu wzbogacania nadaw żwirowych o uziarnieniu 16-3(2) mm i żwirowo-piaskowych o uziarnieniu 16-0,5 mm wykazały, że udział ziaren piaskowych w nadawie wpływa na zmniejszenie skuteczności procesu rozdziału w zależności od ich zawartości, obciążenia i gęstości cząstek lekkich.

Najkorzystniejsze parametry rozdziału cząstek o gęstości < 1,8 g/cm^3 podczas wzbogacania nadaw żwirowo-piaskowych uzyskano przy obciążeniu jednostkowym 12 t/h m^2, gdy udział ziaren klasy 3-0,5 mm wynosił 25%.

Zwiększenie udziału ziaren 3-0,5 mm w nadawie żwirowo-piaskowej do poziomu 50% powodowało dalsze obniżenie skuteczności, przy czym w odróżnieniu od prób, w których udział tych ziaren wynosił 25,0% uzyskiwano znacznie większą skuteczność rozdziału cząstek o gęstości < 1,8 g/cm^3 przy większym obciążeniu jednostkowym równym 24 t/h m^2.

Niekorzystne wyniki rozdziału cząstek o gęstości 2,1 g/cm^3 podczas wzbogacania nadaw żwirowo-piaskowych pozwalają stwierdzić, że proces ich oczyszczania powinien być prowadzony w wąskich klasach ziarnowych i w przypadku wzbogacania nadaw żwirowych nie powinny one zawierać ziaren piaskowych.

Zmniejszenie skuteczności wydzielania zanieczyszczeń w nadawach żwirowo-piaskowych, w odniesieniu do nadaw pozbawionych piasku wymusiły konieczność weryfikacji dotychczasowych parametrów procesowych, optymalnych podczas rozdziału materiału w klasie 16-3 mm.

Wprowadzone zmiany parametrów regulujących pulsacyjny przepływ wody zapewniły zwiększone rozluzowanie materiału na całej powierzchni roboczej urządzenia i pozwoliły na uzyskanie, w większości przypadków, korzystniejszej skuteczności zestawionej w tabeli 3.

Tabela 3

Zestawienie wyników skuteczności gęstościowego rozdziału nadaw żwirowo-piaskowych – badania optymalizujące [5]

Próba		1	2	3	4
udział 3-0,5 mm w nadawie [%]		25,0	25,0	50,0	50,0
wydajność [t/h]		2,1	4,2	2,1	4,2
obciążenie jednostkowe [t/h m^2]		12	24	12	24
skuteczność rozdziału [%]	< 1,5 g/cm^3	98,6	90,5	81,7	74,0
	1,51,8 g/cm^3	98,2	89,3	80,3	74,1
	2,1 g/cm^3	52,0	52,3	25,7	31,0
wychód przepadu [%]		20,6	17,9	40,3	35,3

4. DOBÓR PARAMETRÓW PROCESU ROZDZIAŁU DO ZMIENNEJ CHARAKTERYSTYKI NADAWY

Wyniki badań laboratoryjnych oraz doświadczenia przemysłowe wskazują, że udział ziaren piaskowych w nadawach kierowanych do oczyszczenia zmniejsza skuteczność tego procesu, ze względu na zwiększony opór przepływu wody przez łoże i otwory sit. Powoduje to zmniejszenie prędkości strumienia pulsacyjnego wody w porównaniu do warunków wzbogacania nadaw zawierających jedynie ziarna żwirowe, co ogranicza możliwości regulacyjne oraz wydajność urządzenia.

W celu zmniejszenia oporów przepływu wody podczas wzbogacania nadaw żwirowo-piaskowych poddano analizie możliwość zastosowania sit o większym rozmiarze otworów dla skrócenia czasu niezbędnego do uzyskania korzystnej struktury uziarnienia łoża poprzez intensyfikację przepadu materiału drobnoziarnistego.

Zwiększenie rozmiarów otworów sita w komorze roboczej np. z 2,5 mm do 4,0 mm może w znaczący sposób zwiększyć wychód przepadu, jak i natężenie ruchu pulsacyjnego wody, co stworzy korzystne warunki do poprawy skuteczności wzbogacania, poprzez eliminację zakłóceń powodowanych niewłaściwym wypływem powietrza z komór pulsacyjnych.

Zastosowanie w klasyfikatorze pulsacyjnym sit o większym rozmiarze otworów spowoduje, w większości przypadków, konieczność klasyfikacji produktu przepadu, w celu oddzielenia ziaren żwirowych od piaskowych, ze względu na wzrost zakresu uziarnienia tego produktu. Umieszczenie w ciągu technologicznym dodatkowego przesiewacza klasyfikującego produkt przepadu klasyfikatora, oprócz poprawy warunków wzbogacania nadaw żwirowo-piaskowych, umożliwi, poprzez dobór skutecz-

ności przesiewania, otrzymanie składu granulometrycznego produktu żwirowego w tym piasku i zwiększenie efektywności produkcji.

Drugim czynnikiem mogącym korzystnie wpłynąć na skuteczność rozdziału zarówno nadaw żwirowo-piaskowych jak i trudnowzbogacalnych żwirowych (zawierającymi zanieczyszczenia o dużej gęstości ~2,1 g/cm^3), jest wysokość rozwarstwionego gęstościowo materiału w komorze roboczej klasyfikatora.

Zmniejszenie grubości warstwy materiału poprzez zmianę geometrii i poziomu zabudowy pokładu sitowego w komorze roboczej klasyfikatora pulsacyjnego, może znacząco zwiększyć skuteczność rozdziału, zarówno poprzez przyspieszenie gęstościowego rozwarstwiania materiału w łożu o mniejszej wysokości, jak i wydłużenie jego czasu.

Analiza przemysłowego procesu osadzarkowego oczyszczania kruszywa zawierającego ziarna piaskowe, w którym występują znaczne opory przepływu wody przez wzbogacany materiał, wskazuje na potrzebę dokładnego rozprowadzania materiału przed jego wprowadzeniem do klasyfikatora pulsacyjnego. Powinno to zapewnić równomierność zasilania nadawą pod względem ilościowym i jakościowym, odpowiednio do szerokości komory roboczej klasyfikatora, w celu efektywnego wykorzystania całej powierzchni roboczej oraz zapewnienia prawidłowego przebiegu procesu rozdziału.

Badania optymalizujące, których wybrane wyniki omówiono wcześniej, wykazały, że trudność wzbogacania nadaw zawierających ziarna piaskowe wynika zarówno z poszerzenia zakresu uziarnienia materiału, jak i wzrostu oporu przepływu wody, powodowanego udziałem ziaren piaskowych w łożu osadzarki. Warunki, przy których uzyskiwano bardzo dużą skuteczność rozdziału nadaw żwirowych, zastosowane do rozdziału nadaw żwirowo-piaskowych, nie zapewniały w większości przeprowadzonych prób korzystnych rezultatów.

W oparciu o wyniki badań stwierdzono, że odpowiedni dobór parametrów procesowych takich jak: parametry pulsacji, natężenie wody dolnej, wysokość warstwy do zmiennej charakterystyki nadawy (obciążenie, udział piasku, gęstość zanieczyszczeń) pozwala na znaczące zwiększenie skuteczności wydzielania zanieczyszczeń z kruszywa [5].

5. PODSUMOWANIE

Działanie klasyfikatora pulsacyjnego opiera się na typowym procesie wzbogacania grawitacyjnego, poprzez rozwarstwianie w pulsacyjnym ośrodku wodnym odpowiednio przygotowanej nadawy (kruszywa), wg jej składu ziarnowego oraz gęstości składników [4].

Klasyfikator pulsacyjny typu KOMAG jest urządzeniem o charakterze innowacyjnym, pozwalającym na otrzymanie produktów handlowych zaspokajających wymagania rynku. Jest również urządzeniem konkurencyjnym cenowo w odniesieniu do urzą-

dzeń producentów zagranicznych [2]. Niewątpliwą zaletą jest możliwość dostosowania jego konstrukcji do wymagań konkretnego odbiorcy, pod względem warunków zabudowy, oczekiwanej wydajności i jakości produktów handlowych.

W celu zwiększenia skuteczności działania klasyfikatora prowadzone są ciągłe prace badawcze oraz modernizacyjne, z wykorzystaniem osadzarki laboratoryjnej, które pozwalają na określanie wpływu czynników procesowych na skuteczność wzbogacania kruszyw mineralnych. Zastosowanie wyników badań w praktyce przemysłowej pozwala zwiększyć efektywność działania klasyfikatorów pulsacyjnych poprzez dobór odpowiednich parametrów procesowych w zależności od charakterystyki nadawy. Prowadzone prace modernizacyjne pozwalają na kolejne wdrożenia udoskonalonego urządzenia do pozyskiwania wysokiej jakości produktów handlowych.

LITERATURA

[1] KOWOL D., ŁAGÓDKA M., *Badania wpływu udziału ziaren piaskowych na skuteczność procesu osadzarkowego wzbogacania kruszywa*, Maszyny Górnicze, nr 4, 2012, s. 54–59.
[2] LENARTOWICZ M., MATUSIAK P., KOWOL D., ŁAGÓDKA M., *Innowacyjne rozwiązanie klasyfikatora pulsacyjnego do oczyszczania surowców mineralnych*, Maszyny Górnicze, wydanie jubileuszowe, nr 3–4/2010.
[3] MATUSIAK P., KOWOL D., *Klasyfikator pulsacyjny jako sprawdzone urządzenie do oczyszczania surowców mineralnych*, Prace Naukowe Inst. Górnictwa PWr, nr 134, Studia i Materiały nr 41, Górnictwo i Geologia, Wrocław 2012.
[4] MATUSIAK P., KOWOL D., NIECKARZ R., *Nowe rozwiązania klasyfikatora pulsacyjnego do oczyszczania surowców mineralnych*, Maszyny Górnicze, nr 4, s. 49–53, 2012.
[5] KOWOL D. i inni., *Optymalizacja parametrów procesowych oczyszczania nadaw żwirowych w klasyfikatorze pulsacyjnym w zależności od typu zanieczyszczeń i udziału ziaren piaskowych*, ITG KOMAG (niepubl.), Gliwice 2012.
[6] NIECKARZ R., MATUSIAK P., BAL M., *Nowe rozwiązanie konstrukcyjne klasyfikatora pulsacyjnego do nadawy żwirowej 16(32)-2(0) mm*, ITG KOMAG (niepubl.), Gliwice 2012.

POSSIBILITIES OF IMPROVEMENT OF THE AGGREGATES QUALITY BY USE OF KOMAG PULSATING JIG

Progress in development of design of KOMAG pulsating jigs used for utilization of gravel and sand together with separation of organic and mineral impurities is presented in the paper. Results of laboratory tests aiming at optimization of classifiers operation are given. Technological factors, which have an impact on increase of beneficiation efficiency depending on feed (aggregates) characteristics, are discussed.