



Ocena przebiegu procesu płukania kruszyw w zależności od ciśnienia roboczego w płuczce wysokociśnieniowej

Assessment of Run of the Aggregates Washing Process in the High-pressure Washer Depending on the Operating Pressure

Jarosław ŁAGOWSKI¹⁾, Tomasz LUBIENIECKI²⁾, Daniel SARAMAK³⁾

¹⁾ Mgr inż.; Haver Trading Sp. z o.o., a Member of the HAVER & BOECKER Group, e-mail: j.lagowski@haverboecker.com

²⁾ Mgr inż.; Haver Trading Sp. z o.o., a Member of the HAVER & BOECKER Group,

³⁾ Dr inż.; Katedra Inżynierii Środowiska i Przeróbki Surowców, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, AGH – Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; e-mail: dsaramak@agh.edu

Streszczenie

W artykule przeanalizowano przebieg procesu płukania kruszyw mineralnych w płuczce wysokociśnieniowej. Dokonano oceny przebiegu i skuteczności procesu płukania w zależności od wartości podstawowego parametru operacyjnego jakim jest ciśnienie robocze w komorze płuczki. Przedstawiono model funkcyjny opisujący przebieg procesu płukania z wykorzystaniem krzywej hiperbolicznej.

Słowa kluczowe: płukanie kruszyw, płuczka bębnowa, modelowanie

Wstęp

Kruszywa naturalne żwirowe oraz skały zwięzłe przerabiane na kruszywa naturalne łamane, które są wykorzystywane po procesie rozdrabniania i klasyfikacji w drogownictwie i budownictwie, często zawierają znaczne ilości zanieczyszczeń gliniasto-ilastych. Zanieczyszczenia te muszą być usunięte w procesie produkcji, gdyż mają niekorzystny wpływ na jakość produktów, a ponadto utrudniają operacje kruszenia i przesiewania (Battaglia 1963, Naziemiec i Gawenda 2005). Najczęściej zanieczyszczenia ilaste usuwane są z przerabianych skał za pomocą procesów płukania w takich urządzeniach jak płuczki mieczowe, bębnowe, przesiewacze płuczające lub płuczki wysokociśnieniowe (Naziemiec 2009, Naziemiec 2010) Problem stanowią również zanieczyszczenia występujące w kruszywach z recyklingu, które czasami mogą wymagać bardziej rozbudowanych metod oczyszczania. W artykule podjęto próbę analizy procesu wysokociśnieniowego płukania kruszyw i jego ocenę mierzoną stopniem odseparowania zanieczyszczeń z nadawy.

Proces płukania kruszyw w płuczce

Zasada działania płuczki opiera się na wysokociśnieniowym strumieniu wody, który wnika w pory

Summary

The article analyzes the process of washing of mineral aggregates in the high-pressure washer unit. An assessment of the washing process run and effectiveness, depending on the value of the operating pressure in the washer working chamber of the washing unit, was made. The functional model, describing the washing process run, was presented with using of a hyperbola function.

Keywords: aggregates washing, drum washer, modeling

Introduction

Natural gravel aggregates and bedrocks processed to natural crushed aggregates, which are utilized after crushing and screening processes in road and building industry, often contain a significant amount of clay and loam impurities. These impurities have to be removed during the processing operations, due to their unfavourable impact on final products quality, and in order to prevent difficulties with crushing and screening processes. Clay contaminations are predominately removed in washing process in devices like log and drum washers, washing screens and pressure washers. Impurities in recycled aggregates also constitute a problem, which may require more extensive washing methods. The article analyzes the high-pressure washing process of aggregates and its assessment measured by degree of impurities separation from the feed.

Washing process in high pressure washer

Working principles of the washer are based on the high pressure water stream, that penetrates grains

ziaren oraz rozbija i splukuje zbrylenia, jednocześnie wprowadzając ziarna nadawy w ruch, dzięki czemu uzyskiwany jest efekt tarcia mechanicznego, co bardzo korzystnie wpływa na efekt końcowy płukania (Kobiółka i Nazimiec 2000). Nadawa dostarczana jest taśmociągiem do kosza zasypowego, skąd przelata się do komory płukającej.

W górnej części komory obraca się rotor wyposażony w dysze natryskowe (rys. 1.) doprowadzające wodę pod wysokim ciśnieniem (40–200 MPa). Strumienie wody głęboko wnikają w warstwę materiału, wprowadzają go w ruch i skutecznie rozbijają i usuwają zanieczyszczenia. Ściany komory zabezpieczone są przed zużyciem panelami sitowymi, które mają także za zadanie odprowadzenie nadmiaru wody wraz z rozmytymi zanieczyszczeniami. Wypłukany materiał odbierany jest taśmociągiem uzbrojonym w taśmę z falbaną boczną i zostaje skierowany na przesiewacz, gdzie następuje końcowe oczyszczenie i klasyfikacja na pożądane klasy ziarnowe. Szybkość taśmociągu regulowana jest sterownikiem sprzężonym z czujnikiem poziomu materiału w koszu zasypowym. Ma to na celu utrzymanie stałego wypełnienia komory a co za tym idzie, obliczonej stałej odległości pomiędzy warstwą materiału poddawanego płukaniu a dyszami rotora. Nadawę stanowić może materiał o uziarnieniu 0–150 mm, przez co w ciągu technologicznym nie jest wymagany przesiewacz odsiewający frakcje drobne przed płukaniem.

Program badawczy

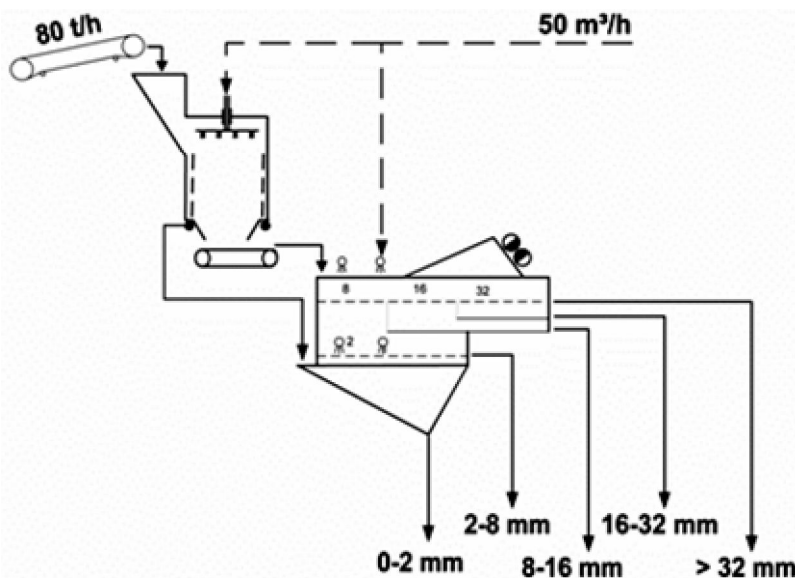
W celu weryfikacji wpływu ciśnienia operacyjnego urządzenia na czas przebiegu procesu płukania kruszyw przeprowadzono program badawczy w skali

pores, flushes and breaks agglomerates and at the same time introduces motion of feed grains, resulting in obtaining of the effect of mechanical friction, which is of a very positive influence on the final result of washing process. The feed is fed to the hopper using a belt conveyor, from where it goes into the washing chamber.

In the upper part of the chamber rotates a rotor, equipped in spray nozzles supplying water under a high pressure 40–200 bar (40–200 MPa). Streams of water deeply penetrate the material layer, put it in the motion and, as a result, effectively brake it down removing impurities. Walls of the chamber from inside are covered by PU screens sections, which prevent against wear and also are designed to drain excess water with diffuse pollution. Washed material is discharged from the chamber by belt conveyor with sidewalls and directed to the screening machine, where a final purification and classification on specific particle fractions is done. Conveyor speed is adjusted by controller connected with the optic sensor measuring the filling of hopper. The aim is to keep a constant filling of the hopper and thus to keep a calculated constant distance between the product to be washed and rotor nozzles. The possible feed can be a material with particles size 0–150 mm, so an application of the fine fraction screen in the circuit is not required.

Research programme

In order to verify the influence of working pressure of the washing unit on aggregates washing process duration, a laboratory scale research pro-



Rys. 1
Typowy schemat technologiczny produkcji kruszyw płukanych przy użyciu płuczki wysokociśnieniowej

Fig. 1
A typical flowsheet of aggregates production, with an application of the high-pressure washer

laboratoryjnej przy użyciu wysokociśnieniowego bębna płuczącego. Materiał wsadowy stanowiło kruszywo żwirowe (test 1) i wapienne (test 2) o uziarnieniu 0–31,5 mm i masie 3,5 kg. Kruszywo żwirowe było zanieczyszczone materiałem ilastym w 21,3% natomiast wapień posiadał 27% zanieczyszczeń. Pierwszy test płukania przeprowadzono dla czterech różnych wartości ciśnienia roboczego w płuczce, natomiast test drugi dla dwóch różnych poziomów ciśnienia, a następnie zmierzono czas trwania procesu w każdym przypadku. Proces płukania uważano za zakończony, jeżeli w jednostce czasu przestaje widocznie spadać ilość cząstek frakcji pylistej w wodzie „brudnej”. Pomiar dokonywany jest przy użyciu czujnika optycznego, który zainstalowany jest w przewodzie odprowadzającym wodę płuczną.

Analiza wyników

Analiza wyników obejmuje ocenę procesu płukania pod kątem efektywności odseparowywania substancji ilastych, oraz czas trwania procesu w zależności od wartości ciśnienia operacyjnego w płuczce.

Efektywność procesu płukania

Przebadana została sprawność procesu płukania mierzona zawartością substancji ilastych w wodach płucznych. Uzyskane wyniki przedstawione są na rys. 3. Dla testu 1 (kruszywo żwirowe) ciśnienie robocze wynosiło 200 barów, natomiast dla kruszywa wapiennego (test 2) – 150 barów.

Można zauważyć, że efektywność płukania mierzona stopniem usunięcia frakcji najdrobniejszych jest

gramme was carried out with using of a high-pressure washing drum. The feed materials were gravel (Test 1) and limestone (Test 2) aggregates, with the particle size 0–31.5 mm and weight sample 3.5 kg. The gravel was contaminated by clayey material in 21.3%, while the limestone contained 27% of impurities. First test was carried out for four various values of the operating pressure while the second test was performed for two different pressure levels. Next, the washing process duration for each test was measured. The washing process was considered as completed, when the amount of solid fine particles in a drain water stops decreasing apparently in a measured time unit. The measurement was performed using an optic sensor which is installed in the drain water drain pipe.

Analysis of obtained results

Analysis of the results include the washing process assessment in terms of efficiency of clay separation, and the duration of the process, depending on the operating pressure in the chamber of washer.

Washing proces effectiveness

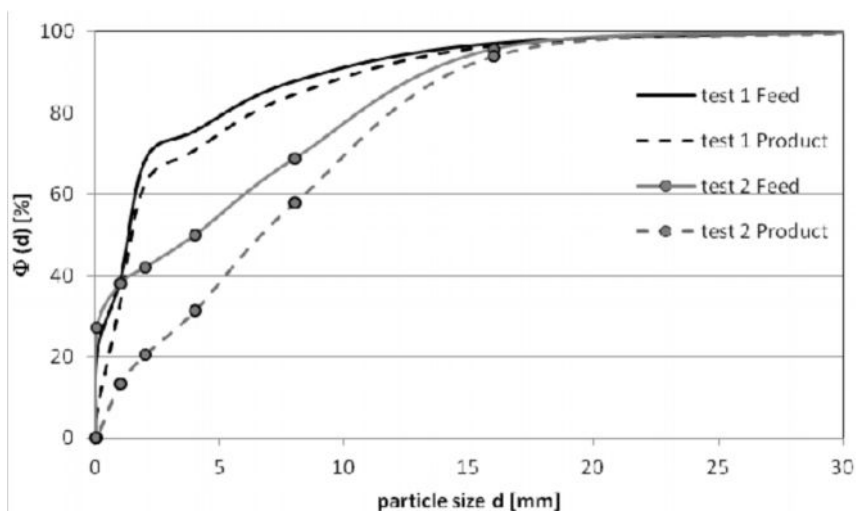
The efficiency of the washing process, measured through the content of clay impurities in the drain water, was investigated. The results are presented in Figure 3. For the test 1 (aggregate gravel) the operating pressure was 200 bars, while for the aggregate limestone (test 2) – 150 bars.

It can be seen that the efficiency of washing process, measured through a degree of the finest par-



Rys. 2
Instalacja do badań laboratoryjnych

Fig. 2
The laboratory equipment used for tests



Rys. 3
Krzywe składu ziarnowego kruszywa zanieczyszczonego (nadawy) i produktu czystego

Fig. 3
Particle size distribution curves for feed and products of washing process

wyższa dla kruszywa wapiennego (test 2) i wyniosła 100%. Dla kruszywa żwirowego (test 1) prawie 72% zanieczyszczeń zostało usuniętych. Pomimo tego, że test pierwszy został przeprowadzony przy wyższym ciśnieniu roboczym (200 barów) niż test drugi (150 barów), osiągnięto niższą skuteczność. Świadczy to o tym, że zanieczyszczenia w analizowanym kruszywie żwirowym są trudniejsze do usunięcia, w porównaniu z kruszywem wapiennym. Istotny jest zatem typ zanieczyszczeń występujących a danym kruszywem, gdyż determinuje on skuteczność prowadzonego procesu płukania.

Ocena przebiegu procesu

Podczas procesu na bieżąco kontrolowano zawartość zanieczyszczeń w wodzie płucznej. Gdy ilość zanieczyszczeń przestała widocznie spadać uznawano, proces za zakończony. Dla kruszywa żwirowego przeprowadzono łącznie cztery doświadczenia przy różnych wartościach ciśnienia. Dla wapienia przeprowadzono dwie próby a wyniki obu testów przedstawione zostały w Tabeli 1.

Analizując czas przebiegu procesu płukania można zauważyć, że w miarę wzrostu wartości ciśnienia roboczego, proces przebiega szybciej, przy czym wzrostowi ciśnienia z wartości 50 do 100 odpowiada stosunkowo największe skrócenie przebiegu procesu. Przy kolejnych wzrostach ciśnienia następują relatywnie mniejsze redukcje czasu trwania procesu płukania. Można zatem wyznaczyć zależność funkcyjną opisującą czas trwania procesu płukania kruszyw w zależności od wartości ciśnienia strumienia wody w komorze roboczej urządzenia. Ułożenie punktów empirycznych pozwala na stwierdzenie, że funkcją, która najdokładniej opisze wymienioną zależność będzie hiperbola (Rys.4).

title removal, is higher for the limestone (test 2) and was 100%. For gravel (test 1) almost 72% of impurities have been removed. Despite the fact that first test was conducted at a higher operating pressure (200 bars) than the second one (150 bars), a lower effectiveness was achieved. This indicates that contamination in the analyzed aggregate gravel are more difficult to remove, comparing to the limestone aggregate. A type of contaminants present in aggregate is therefore important, because it determines the effectiveness of the washing process.

An assessment of the process run

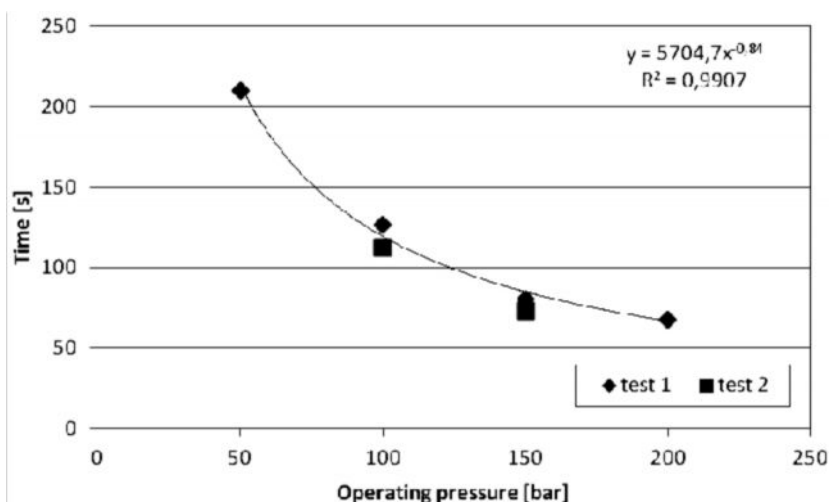
The content of impurities in the drain water was monitored on an ongoing basis. When their amount stopped falling significantly, the process was considered as finished. For the gravel aggregate four experiments in total were carried out at different pressures. For limestone, in turn, two experiments were conducted and the results of both tests are presented in Table 1

While analyzing duration of the washing process course it can be seen that with an increase of the operating pressure, the process runs faster. However, the pressure increase from 50 to 100 bars corresponds to the greatest relative reduction of the process duration. For further increases in the pressure value a relatively smaller reductions in the duration of the washing process is observed. It can be therefore determined a functional relationship describing the duration of the washing process in relationship to the value of water pressure in the working chamber of the washing unit. Location of empirical points leads to the conclusion that the function that describes the relationship most accurately is a hyperbole (Fig. 4).

Tabela 1
Czasy płukania uzyskane dla poszczególnych wartości ciśnienia roboczego

Ciśnienie operacyjne w płuczce [bar] Operating pressure in the washer [bars]	Czas trwania procesu [s] Duration of the process [s]	
	Test 1	Test 2
50	210	
100	126	112
150	80	73
200	68	

Table 1
Washing process duration obtained for specific values of operating pressure



Rys. 4
Empiryczne wyniki testów płukania oraz wyznaczony model

Fig. 4
Empirical results of tests and the determined model

Model funkcyjny przebiegu procesu płukania

Funkcja aproksymująca została wyznaczona dla testu pierwszego, można jednak zauważyć, że wyniki obu testów są do siebie zbliżone. Zarówno poziom zanieczyszczeń w obu materiałach jak i ich typ był podobny, można zatem stwierdzić, że niezależnie od typu materiału przy podobnym poziomie zanieczyszczeń przebieg funkcji czasu trwania procesu w zależności od ciśnienia będzie zbliżony. Ogólnie można zapisać, ogólny model dla czasu trwania procesu płukania kruszyw:

Functional model of the washing process course

The function approximating was determined for the first test, it can be seen, however, that the results of both tests are similar. Both the level of impurities in both materials and their types were similar. It can therefore be concluded that regardless of the material, for the same level of impurities content, the course of the function of process duration depending on the operating pressure will be similar. In general, it can be determined a general model for the duration of the aggregates washing process:

$$t = \frac{A}{P^B}$$

gdzie:

- t – czas trwania procesu;
- P – ciśnienie robocze w komorze płuczki;
- A i B – parametry równania.

Dokładność aproksymacji jest wysoka, wartość $R^2 = 0,99$ i jest istotna statystycznie.

where:

- t – process duration;
- P – operating pressure in the working chamber of the washer;
- A and B – parameters.

The accuracy of approximation is high, the R^2 value is 0,99 and the relationship is statistically significant.

Podsumowanie

Na podstawie analizy uzyskanych wyników badań można wysunąć następujące wnioski:

- Przebieg procesu płukania kruszyw może być bardzo dobrze opisany jako funkcja ciśnienia operacyjnego z użyciem funkcji hiperbolicznej. Dodatkowo uzyskano wstępne potwierdzenie tezy, że poziom i rodzaj zanieczyszczeń wstępnie determinują przebieg tej hiperboli,
- Praktyczne wykorzystanie wyznaczonej zależności polega na możliwości wyliczenia teoretycznego czasu przebiegu procesu dla zadanej wartości ciśnienia operacyjnego. Uzyskane wyniki pokazują, że dokładność tych kalkulacji wynosi 99%,
- Należy mieć na uwadze, że rodzaj zanieczyszczeń wpływa na czas i skuteczność płukania. Iły składające się w przeważającej części z frakcji pylistej, ze względu na swoją powierzchnię całkowitą są trudniej rozmywalne i wymagają większej ilości wody w stosunku do ilów zawierających w swym składzie większe ziarna.

Przedstawione wnioski mają praktyczny aspekt skutkujący możliwością efektywnego sterowania danym procesem płukania kruszyw, oraz poprawiającym jego skuteczność. Badania w tym zakresie będą przedmiotem kolejnych badań.

Conclusions

On the basis of the analysis of obtained results of investigations it can be draw following conclusions:

- The run of aggregate washing process can be very well described as a function of the operating pressure using a hyperbolic functions. In addition, it was preliminary supported that the level and type of contamination initially determine the course of this hyperbole,
- The practical utilization of the above relationship is based on the possibility of calculating the theoretical duration of the process for a given value of operating pressure. The obtained results show that the accuracy of these calculations is 99%;
- It should be noted that the type of impurities affects the course and effectiveness of the washing process in a high-pressure washer. Clays, which mainly consist of the dusty fractions, due to its total surface area are more difficult to dissolution and, as a result, require a higher water consumption during the process, comparing to clays containing coarser particles.

The conclusions presented have their practical aspect, resulting in ability to effectively control of the washing process of aggregates, and improving its effectiveness. Investigations in this area will be the subject of further research.

Literatura – References

1. Battaglia A.: *Odwadnianie produktów wzbogacania i obiegi wodne płuczek*, Wydawnictwo Górniczo-Hutnicze, Katowice, 1963
2. Naziemiec Z., Gawenda T.: *Produkcja kruszyw budowlanych z odpadów przerobczych przemysłu wapienniczego*, *Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej nr 109, Seria Konferencje nr 41*, Wrocław, 2005.
3. Kobialka R., Naziemiec Z.: *Płukanie surowców skalnych. Rozwiązania technologiczne oraz ocena ich funkcjonalności*, *Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej, nr 91, Seria „Konferencje” 28: Nauka – technika – środowisko, VII Krajowy Zjazd Górnictwa Odkrywkowego*, Wrocław, 2000.
4. Naziemiec Z. *Urządzenia odwadniające w kopalniach surowców mineralnych*, *Surowce i Maszyny Budowlane, nr 2/2009*, 2009
5. Naziemiec Z.: *Efektywność płukania kruszyw w różnych urządzeniach płuczących*, *Prace Instytutu Szkła, Ceramiki Materiałów Ogniotrwałych i Budowlanych, nr 5, rok III, Warszawa-Opole*, 2010