

Ocena wpływu intensywności procesu regeneracji w regeneratorze REGMAS na stopień destrukcji osnowy kwarcowej

M. Skrzyński^a, R. Dańko^a

^a AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Odlewnictwa, ul. Reymonta 23, 30-059 Kraków
Kontakt korespondencyjny: e-mail: mskrzyns@agh.edu.pl

Otrzymano 20.06.2014; zaakceptowano do druku 12.07.2014

Streszczenie

W publikacji zestawiono wyniki badań przeprowadzonych w prototypowym regeneratorze wibracyjnym REGMAS. Obejmowały one sprawdzenie wpływu parametrów pracy regeneratora na destrukcję osnowy kwarcowej oraz wpływ dodatkowych elementów kruszących na intensyfikację procesu. Do badań posłużył świeży piasek kwarcowy „Szczakowa” – 1K 0,40/0,32/0,20, J88, >1400 °C, $W_K = 1,20$. Badania przeprowadzono w dwóch etapach różniących się siłą wymuszającą napędów rotodynamicznych (wynoszącą 42% i 75% maksymalnej siły wymuszającej). Dla każdego ustawienia stosowano trzy częstotliwości pracy elektrowibratorów 40Hz, 50Hz i 60Hz. W poszczególnych etapach porcja piasku umieszczana w dolnej części regeneratora REGMAS poddawana była elementarną operacją ocierania, ścierania i kruszenia, powodującym częściową destrukcję ziarna. Stopień destrukcji określano na podstawie klasycznej analizy sitowej oraz analizy granulometrycznej prowadzonej w aparacie Analysette 22NanoTec.

Słowa kluczowe: regeneracja, masa formierska, analiza granulometryczna, destrukcja.

1. Wprowadzenie

Masy formierskie i rdzeniowe klasyfikowane pod kątem stopnia regenerowalności można podzielić na masy łatwo i trudno regenerujące się. Prowadzenie procesu oczyszczania osnowy kwarcowej z otoczki zużytego materiału wiążącego, szczególnie w przypadku regeneracji mechanicznej powinno być dostosowane pod kątem energochłonności tego procesu [1-3]. Dobór odpowiednich parametrów pracy urządzenia ma istotne znaczenie, ponieważ zbyt intensywnie prowadzona regeneracja może nie tyle w lepszym stopniu oczyścić osnowę ile doprowadzić jej destrukcji. Do głównych parametrów świadczących o postępowaniu procesu destrukcji świadczą: zmiana kształtu kulistego ziarna na ostrokrawędzisty, zmniejszenia ilości frakcji głównej, średniej średnicy, oraz zwiększenia ilości frakcji pylistej.

W trakcie trwania procesu suchej regeneracji szczególnie mechanicznej zachodzą operacje elementarne takie jak ocieranie,

ścieranie i kruszenie, które z jednej strony powodują usuwanie zużytego materiału wiążącego z ziarna osnowy, a z drugiej mogą być przyczyną destrukcji ziaren osnowy.

2. Zakres badań

Badanie procesu destrukcji osnowy kwarcowej przeprowadzone zostało na 70 kg porcjach świeżego piasku kwarcowego „Szczakowa” 1K 0,40/0,32/0,20, J88, >1400 °C, $W_K = 1,20$. Porcje materiału zostały umieszczone w dolnej części regeneratora wibracyjnego REGMAS [4-6] (rys. 1), w której zachodzi regeneracja właściwa. Badania zostały przeprowadzone w dwóch etapach. Pierwszy obejmował zbadanie stopnia destrukcji badanego piasku w prototypowym regeneratorze bez dodatkowych elementów kruszących, drugi zaś wpływ dodatkowych elementów kruszących w postaci kul na intensyfikację zachodzących procesów.



Rys. 1. Prototypowy regenerator wibracyjny

Wstępne badania pracy prototypowego regeneratora wibracyjnego [7] pokazały, że na intensywność procesu regeneracji można wpłynąć poprzez:

- zmianę wzajemnego ułożenia kół zamachowych elektrowibratorów (rys. 2), które mogą być ustawione

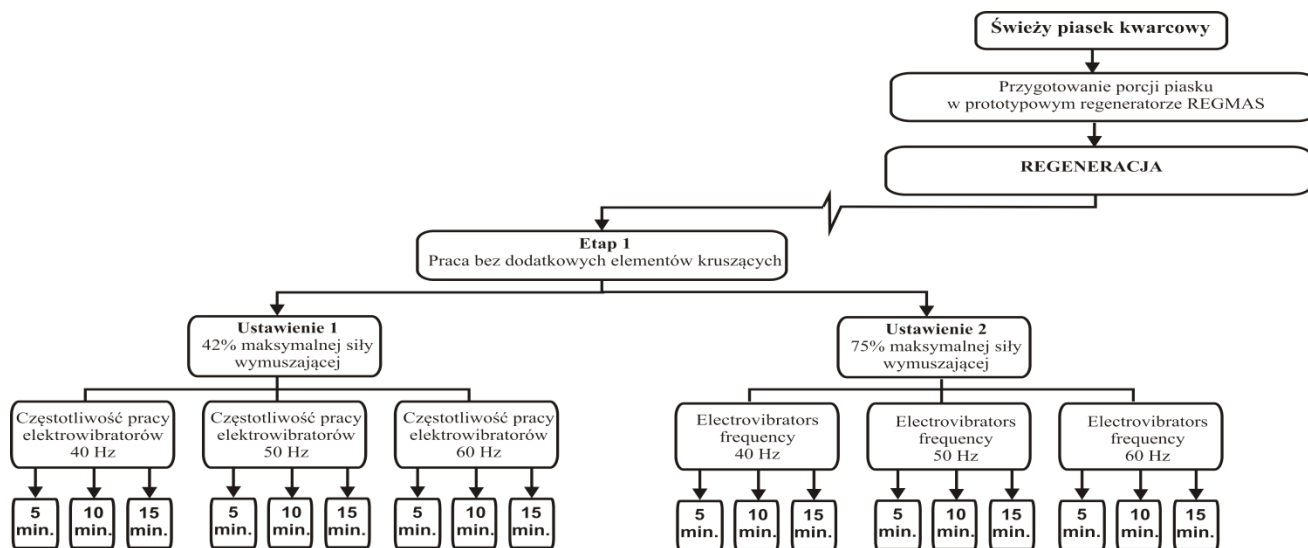
w różnych pozycjach. W badaniach zastosowano dwa ustawienia i tak: ustawienie 1 odpowiadające 42% maksymalnej siły wymuszającej oraz ustawienie 2 - odpowiadające 70% maksymalnej siły wymuszającej.



Rys. 2. Przykład wzajemnego ustawienia kół zamachowych (mas niewyważonych) elektrowibratora

- częstotliwość pracy elektrowibratorów, w ramach badań przeprowadzono próby przy częstotliwości zasilania elektrowibratorów wynoszącej 40 Hz, 50 Hz i 60 Hz.
- czas trwania procesu: długość oddziaływania parametrów pracy regeneratora była badana kolejno dla 5 min, 10 min i 15 min.

Schemat przeprowadzonych badań bez dodatkowych elementów kruszących przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3 Schemat etapu 1 przeprowadzonych badań regeneratora bez dodatkowych elementów kruszących

3. Teoria kruszenia materiałów

Złożoność procesów regeneracyjnych, na które składa się kompleks czynności procesowych obróbki masy zużytej, począwszy od wstępnego jej przygotowania, poprzez regenerację właściwą, aż do obróbki finalnej regeneratu jest bezpośrednią przyczyną braku pełnego, kompleksowego rozwiązania tej tematyki w publikacjach.

Energetyczne zagadnienia regeneracji oraz kruszenia osnowy zachodzących w jej trakcie mogą być rozpatrywane pod kątem hipotez energetycznych, do których należą:

- hipoteza deterministyczna procesu kruszenia materiału według Rittingera,
- hipoteza objętościowa Kicka,

Istnieją ponadto inne metody określania prac kruszenia, jednak większość z nich bazuje na opisanych powyżej hipotezach, odpowiednio zmodyfikowanych.

Chronologicznie najstarszą hipotezą dotyczącą procesu kruszenia materiałów jest opracowanie Rittingera [8], który za podstawę swojej teorii przyjął zaobserwowane zjawisko proporcjonalności energii zużytej na rozdrabnianie materiału kruchego do uzyskanego w tym procesie przyrostu powierzchni zbioru ziaren, stwierdzając między innymi, że dla danych materiałów kruchych „prace kruszenia mają się do siebie prawie tak jak stopnie rozdrobnienia”.

Praca właściwa według Rittingera wynosi:

$$L_R = L_0 \cdot \Delta F \quad (1)$$

gdzie:

L_0 – praca konieczna do uzyskania jednostki przyrostu powierzchni; J/m^2 (J/cm^2),

ΔF – przyrost powierzchni materiału w wyniku kruszenia; m^2 (cm^2).

Zgodnie z teorią Rittingera, miarą wartości pracy wydatkowanej na rozdrobnienie materiału do postaci uziarnionej, która w przypadku przedstawionego modelu regeneracji mechanicznej jest zużywana na kruszenie zalegającego na osnowie zużytego materiału wiążącego, jest pole zawarte między krzywymi całkowitymi składu ziarnowego nadawy i produktu wykreślonymi w układzie $(1/d, \Phi(d))$. Krzywa $\Phi(1/d)$ oznacza wartość całkowitej funkcji składu ziarnowego dla ziaren o średnicy d , oś rzędnych wyskalowano w wartościach odwrotności wielkości ziaren o średniej średnicy d , czyli $1/d$. Nadawą jest w tym przypadku masa zużyta o średniej średnicy d_N , a produktem regenerat o średniej średnicy d_p .

W praktyce teoria Rittingera jest wykorzystywana do projektowania urządzeń kruszących oraz do prognozowania efektów procesów przerobczych.

Argumentem przemawiającym na rzecz stosowania tej hipotezy do procesów regeneracji mechanicznej jest podobieństwo fizyczne procesu uwalniania ziarn osnowy z otoczki materiału

wiązającego do procesu kruszenia, jak również szeroko stosowana i unormowana w odlewnictwie metoda badawcza analizy składu ziarnowego, pozwalająca na określenie zmian powierzchni właściwej regenerowanej osnowy na podstawie analizy sitowej.

Według teorii Kicka praca kruszenia jest proporcjonalna do objętości materiału, a więc do trzeciej potęgi wymiaru liniowego charakteryzującego wielość ziarna.

Hipoteza objętościowa Kicka jest oparta na pracy odkształcenia pod wpływem siły ściskania cząstki materiału o średnicy d_z , co wyraża wzór:

$$L = \frac{d_z^3 \cdot \sigma^2}{2 \cdot E} \cdot \rho_m \cdot g \quad (2)$$

gdzie:

d_z – średnica cząstki materiału poddanego kruszeniu,

σ – naprężenie ściskające,

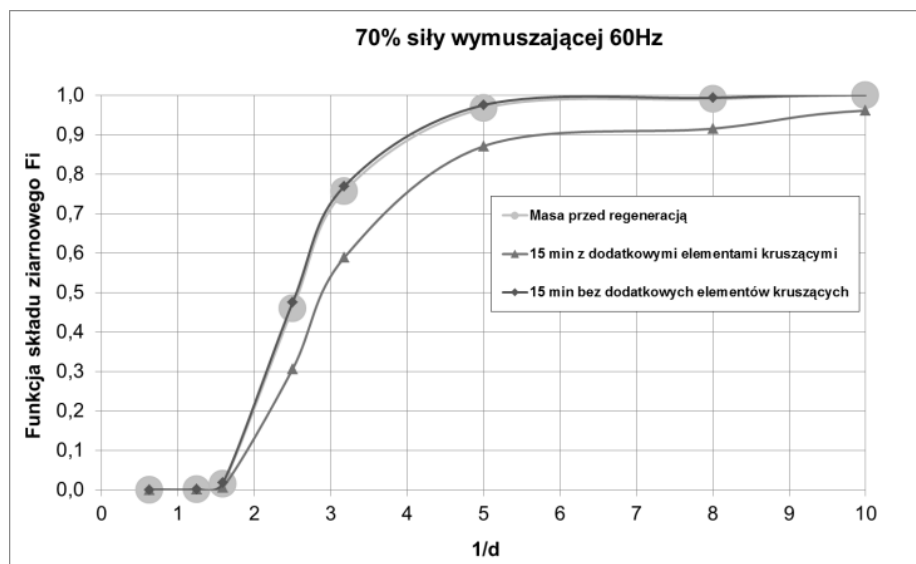
E – moduł sprężystości materiału,

ρ_m – gęstość materiału kruszonego,

g – przyspieszenie ziemskie.

4. Wyniki badań

Pierwszy etap badań pokazał, że podczas procesu regeneracji bez dodatkowych elementów kruszących w prototypowym regeneratorze wibracyjnym nie zachodzi proces kruszenia osnowy kwarcowej. Przy największej badanej intensywności oddziaływania urządzenia na materiał to jest: 70% maksymalnej siły wymuszającej i częstotliwości pracy silników rotodynamicznych wynoszącej 60Hz i najdłuższym przewidywanym czasie analizy - sitowa oraz laserowa nie wykazały żadnych różnic między masą poddaną oddziaływaniu maszyny a świeżym piaskiem. Zestawienie graficzne wyników badań przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Funkcja składu ziarnowego przy 70% sile wymuszającej i czasie oddziaływania 15 min pracy regeneratora z dodatkowymi elementami kruszącymi i bez dodatkowych elementów kruszących

Z przedstawionego wykresu wynika, że proces destrukcji nie zachodzi w regeneratorze pracującym bez dodatkowych elementów kruszących, niezależnie od intensywności procesu i czasie oddziaływania na materiał. Świadczą o tym funkcje składu ziarnowego świeżego piasku i piasku po regeneracji bez dodatkowych elementów kruszących, które nakładają się na siebie.

Tabela 1.

Zestawienie parametrów geometrycznych materiału przed i po procesie oddziaływania regeneratora prototypowego

Świeży piasek	Czas procesu		d_L	d_a	d_g	d_h	Z_t	S_t	F_g
	min	mm	mm	mm	mm	szł/g	cm ³ /g	%	
	0	0,327	0,407	0,388	0,367	22027,8	61,75	95,27	
42% maksymalnej siły wymuszającej ZK*	40Hz	5	0,327	0,41	0,391	0,37	21282,7	61,8	95,41
		10	0,326	0,407	0,388	0,366	24529,8	61,8	95,32
		15	0,32	0,4	0,38	0,357	29911	63,42	94,98
	50Hz	5	0,307	0,393	0,37	0,339	67328,5	66,69	93,1
		10	0,277	0,371	0,342	0,3	159818,4	75,53	89,95
		15	0,259	0,362	0,328	0,277	240673	81,6	87,22
	60Hz	5	0,303	0,39	0,367	0,334	78167,3	67,74	93,26
		10	0,263	0,363	0,331	0,282	228316,5	80,33	88,55
		15	0,247	0,349	0,315	0,262	293612,3	86,36	86,16
70% maksymalnej siły wymuszającej ZK*	40Hz	5	0,328	0,409	0,39	0,368	23251,7	61,51	94,96
		10	0,322	0,407	0,386	0,36	37130,2	62,89	94,32
		15	0,315	0,397	0,376	0,351	45210,9	64,56	94,38
	50Hz	5	0,307	0,393	0,37	0,339	67328,5	66,69	93,1
		10	0,277	0,371	0,341	0,3	159818,4	75,53	89,95
		15	0,259	0,362	0,328	0,277	240673	81,6	87,22
	60Hz	5	0,303	0,39	0,367	0,334	78167,3	67,74	93,26
		10	0,263	0,363	0,331	0,282	228316,5	80,33	88,55
		15	0,243	0,346	0,311	0,258	311736,2	87,77	85,52

ZK* - z dodatkowymi elementami kruszącymi

W tabeli 1 zestawiono wyniki badań wpływu parametrów pracy regeneratora na zmianę parametrów geometrycznych osnowy kwarcowej takich jak: zmiana średnich średnic charakterystycznych, zawartości frakcji głównej oraz powierzchni właściwej teoretycznej uzyskanych na podstawie klasycznych analiz sitowych materiału przed i po procesie.

Graficzne zestawienie wyników badań dla średniej średnicy charakterystycznej d_L , w przypadku ustawienia mas niewyważonych silników rotodynamicznych odpowiadającemu 42% i 70% maksymalnej siły wymuszającej przedstawiono na rysunkach 5a i 5b. Na podstawie uzyskanych wyników można zauważyć, że w obu przypadkach najmniejsze zmiany badanej średnicy obserwuje się dla częstotliwości pracy elektrowibratorów wynoszącej 40 Hz. Przy pracy urządzenia z częstotliwością 50 Hz i 60 Hz proces destrukcji osnowy dla obu badanych wartości siły wymuszającej następuje znacznie szybciej.

Analizując uzyskane wyniki z wykorzystaniem teorii Rittingera największe pole powierzchni pomiędzy wykresami w układzie ($1/d$, $\Phi(d)$) zostało uzyskane dla ustawienia: 70% siły wymuszającej, częstotliwości 60 Hz i przy najdłuższym czasie (15 min) oddziaływania urządzenia na piasek (rys. 6). Przy częstotliwości pracy elektrowibratorów równej 40 Hz niezależnie od zadanej siły wymuszającej i czasu trwania procesu (rys. 7) wykresy prawie się pokrywają co oznacza że proces kruszenia występuje w stopniu minimalnym.

5. Wnioski

Przeprowadzone badanie pozwalają na przedstawienie następujących wniosków:

- proces kruszenia przebiegający bez dodatkowych elementów kruszących nie powoduje kruszenia,

- proces kruszenia zachodzi w stopniu minimalnym przy częstotliwości pracy elektrowibratorów równej 40 Hz, niezależnie od ustawień siły wymuszającej i czasu trwania procesu,
- destrukcja dla ziaren osnowy rośnie wraz ze wzrostem intensywności procesu. Największy stopień destrukcji ziaren badanego piasku kwarcowego został uzyskany dla ustawienia mas niewyważonych silników rotodynamicznych odpowiadającym 70% maksymalnej siły wymuszającej, częstotliwości pracy tych silników wynoszącej 60 Hz i czasie trwania procesu 15 min.

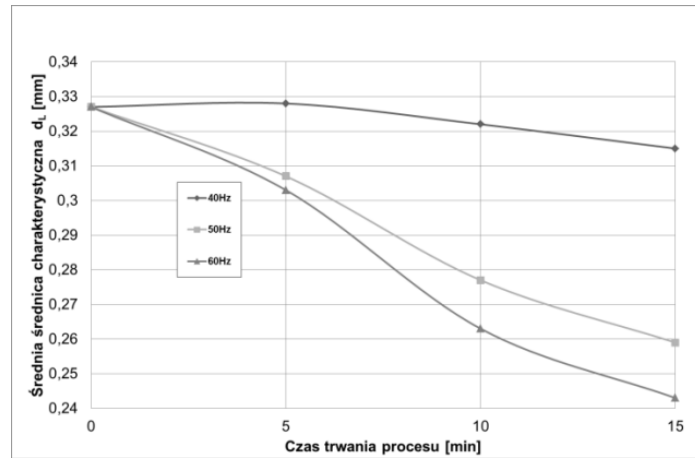
Powyższe wyniki pozwalają na wyciągnięcie następujących wniosków odnośnie prowadzenia procesu regeneracji masy zużytej w regeneratorze: wydaje się, że w przypadku mas łatwo i średnio regenerujących się optymalne efekty regeneracji zostaną uzyskane dla częstotliwości pracy elektrowibratorów wynoszącej 50 Hz. Masy trudno regenerujące się, w których obserwuje się bardziej elastyczną, mniej podatną na kruszenie otoczkę zużytego materiału wiążącego będą natomiast wymagały pracy urządzenia przy wyższej częstotliwości pracy silników rotodynamicznych.

Publikacja finansowana w ramach pracy statutowej AGH nr 15.11.170.515.

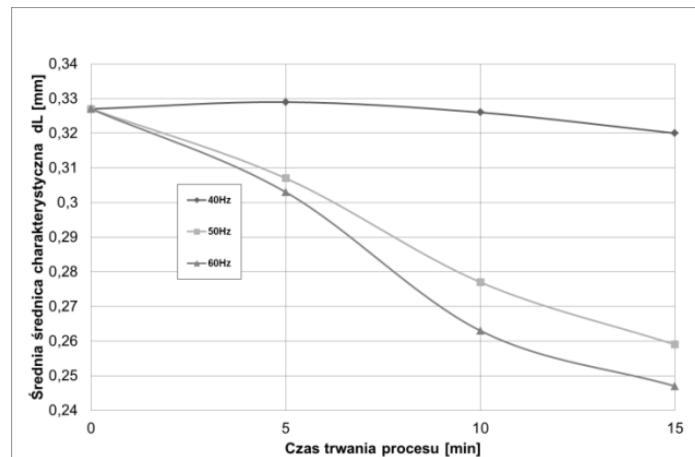
Literatura

- [1] Dańko J., Dańko R., Łucarz M., (2010). Typowe rozwiązania regeneratorów mechanicznych z napędami wiracyjnymi. XII Konferencja odlewnicza Technical (pp. 69-77).
- [2] Dańko R. (2007). Development of energetic model for dry mechanical reclamation process of used foundry sands. International Journal of Cast Metals Research., Vol. 20 No. 4 p. 228-232.
- [3] Dańko R. (2006). Theoretical and technical backgrounds of optimum choice of the dry reclamation process for used moulding sands. PH. D. Thesis, Department of Foundry Engineering, AGH. (in polish).
- [4] Dańko J., Dańko R., Holtzer M., Skrzyński M. (2013). Reclamation of spent moulding sand in the vibratory reclaimers REGMAS 1,5 Przegląd Odlewnictwa 63(1,2), 36-40.
- [5] Danko J., Holtzer M., Danko R., Holtzer G., Kuźmin J., Matuszewski K., Przybyła K., (2014). The device for vibratory reclamation of used up foundry sands. Patent Application Publication US2014/0027549 A1.
- [6] Dańko J., Dańko R., Holtzer M., Skrzyński M. (2013). A new vibratory unit for reclamation of used foundry sand. Brno : Česká slévárenská společnost
- [7] Zawada J. (1998). Introduction to mechanical crushing processes. Publisher Institute of Technology and Machine Operation, Radom (in polish).
- [8] Rittinger P. (1867). Lehrbuch der Aufbereitungskunde. Verlag von Ernst & Korn, Berlin

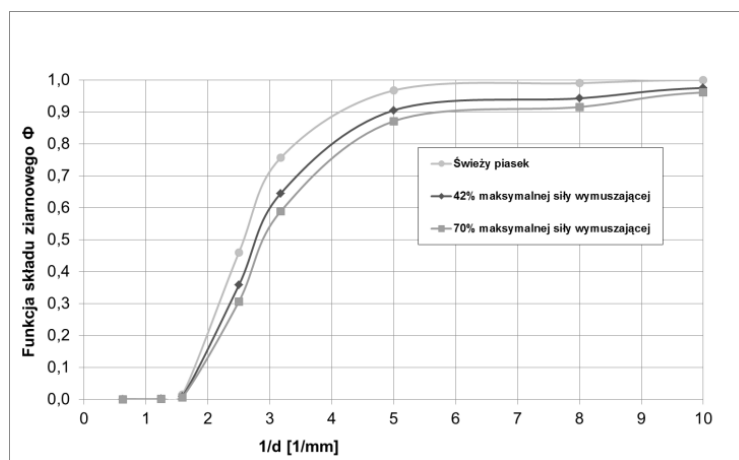
a)



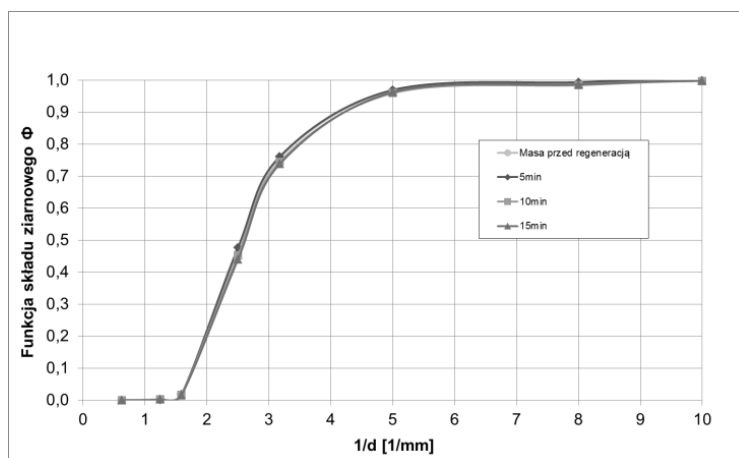
b)



Rys. 5. Zmiana średniej średnicy charakterystycznej d_L w funkcji czasu oddziaływania regeneratora z dodatkowymi elementami kruszącymi przy częstotliwości pracy elektrowibratorów wynoszącej 40 Hz, 50 Hz, 60 Hz i ustawieniu mas niewyważonych odpowiadającym a) 70%, b) 42% maksymalnej siły wymuszającej



Rys. 6. Funkcja składu ziarnowego przy częstotliwości 60Hz i czasie oddziaływania 15min z dodatkowymi elementami kruszącymi



Rys. 7. Funkcja składu ziarnowego przy 70% sile wymuszającej i częstotliwości 40Hz dla poszczególnych czasów oddziaływania urządzenia na piasek z dodatkowymi elementami kruszącymi

Assessment of the Influence of Intensity of the Reclamation Treatment Carried Out in the REGMAS Reclaimer on the Destruction Degree of the Quartz Matrix

The results of investigations of the influence of operation parameters of the prototype vibratory REGMAS reclaimer on matrix grains destruction are presented in the paper. Fresh quartz sand 'Szcakowa' – 1K 0.40/0.32/0.20, J88, >1400 °C, $W_K = 1.20$ was subjected to the treatment. Examinations were performed in two stages differing of the exciting force of the rotodynamic drives (42% and 75% of the maximal exciting force). For each frequency three settings of the frequency of the rotodynamic drives were applied (40 Hz, 50 Hz and 60 Hz). The sand batch placed in the bottom part of the REGMAS reclaimer was subjected to elementary operations of grinding, rubbing and crushing. The destruction ratio was determined by means of the classic sieve analysis and grain size analysis performed in the Analysette 22NanoTec apparatus.