

przesiewanie, jakość produktów, optymalizacja

Jerzy MALEWSKI*
Marta BASZCZYŃSKA**

OPTYMALIZACJA PROCESU PRZESIEWANIA W PRZESIEWACZACH WIELOPOKŁADOWYCH

Przedstawiono zagadnienie optymalizacji procesu przesiewania w wieloproduktowych układach przesiewających stosowanych powszechnie w instalacjach produkcji kruszyw. Zaproponowano kryterium optymalności procesu mierzonej wartością produkcji jako funkcję ilości, ceny i współczynnika jakości produktów przesiewania. Współczynnik jakości określono jako bezwymiarową funkcję zawartości podziarna, nadziarna i frakcji podstawowej w produkcie przesiewania. Na przykładzie typowego układu produkcji kruszyw wykonano obliczenia efektu przesiewania przy zmieniających się wielkościach oczek sit przesiewaczy wielopokładowych.

1. WSTĘP

Jakość produkowanych kruszyw oraz koszty ich wytwarzania są przedmiotem szczególnej troski przedsiębiorstwa górniczego w procesach zarządzania produkcją. Wynika to z ciężącej na nim odpowiedzialności za produkt, konkurencji na rynkach surowcowych oraz zmienności potrzeb asortymentowych klienta (rys. 1). Ten stan rzeczy pociąga za sobą rozwój wewnętrznych systemów kontroli jakości i podnoszenia kwalifikacji kompetencyjnych pracowników mających wpływ na efektywność przedsiębiorstwa.

Produkcja kruszyw w przemysłowych instalacjach przerobczych odbywa się w kilku następujących po sobie stadiach rozdrabniania i klasyfikacji. Główną funkcją dwóch pierwszych stadiów jest redukcja wymiarów ziaren oraz usuwanie zanieczyszczeń ilastych i organicznych. Na tym etapie uzyskuje się mniej wartościowe produkty rozdrabniania w postaci tłuczni lub kłińca. Produkty cenniejsze uzyskuje się w trzecim lub nawet czwartym stadium rozdrabniania i sortowania. Ilustrację fragmentu takiej technologii odpowiedzialnego za jakość produkcji (tzw. grysowni),

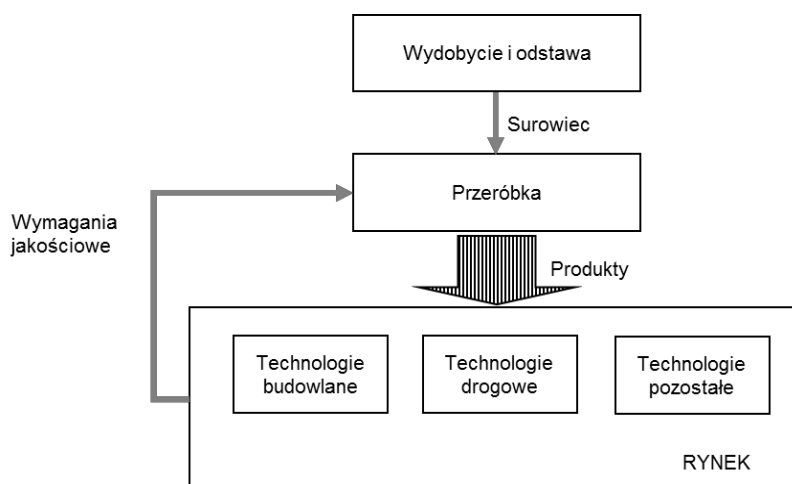
* Politechnika Wrocławska, Instytut Górnictwa, jerzy.malewski@pwr.wroc.pl

** Politechnika Wrocławska, Instytut Górnictwa, baszczyńska.marta@gmail.com

oddzielonej zwykle od 1 stadium – układu wstępnego kruszenia – zbiornikiem dużej pojemności przedstawia rysunek 6.

Główne cechy jakościowe finalnych produktów to odpowiednie uziarnienie, płaskość oraz kształt ziaren badanych według norm PN EN. Jednocześnie wielkość ziaren oraz ich kształt istotnie wpływają na sprawność procesów klasyfikacji (sortowania). Podstawowym problemem jest w tym wypadku uzyskanie odpowiednich proporcji nadziarna, podziarna i frakcji podstawowej w finalnych produktach układów przesiewających.

Oznacza to, że w takich produktach zawartość frakcji nominalnej $\phi 1 \div \phi 2$ musi być nie mniejsza od pewnej wartości c , a ilość podziarna (ziaren mniejszych od $\phi 1$) i nadziarna b (ziaren większych od $\phi 2$) jest również ograniczona do pewnych założonych granic ustalonych w odpowiednich normach branżowych oraz wymaganiach i specyfikacjach technicznych odbiorcy. Producent kruszywa staje więc przed problemem sprostania tym wymaganiom przy jak największych korzyściach handlowych. Jest to typowe zadanie optymalizacyjne, ponieważ jakość produktów (struktura uziarnienia, kształt ziaren) oraz ich ilość pozostają do siebie w relacjach przeciwnych i wzajemnie zależnych (rys. 2).



Rys. 1. Zależność jakościowo-ilościowa kopalnictwa, przeróbki i zastosowań w górnictwie skalnym

Fig. 1. Dependence of quality-quantitative in quarrying, mineral processing and applications in rock mining

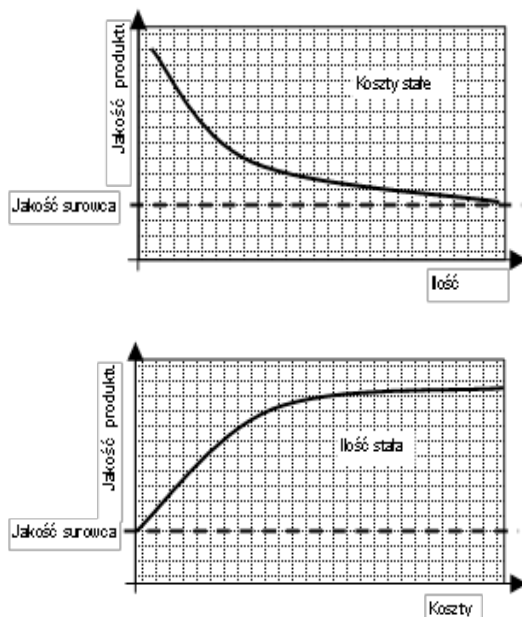
W całości jest to proces bardzo złożony i jego optymalizacja w praktyce odbywa się metodą prób i błędów. O ile zagadnienie modelowania tego typu operacji jest dość dobrze rozpoznane teoretycznie i praktycznie [1–3], to optymalizacja takiego zagadnienia nie jest już sprawą oczywistą i prostą. Problem leży w sformułowaniu odp-

wiedniego kryterium optymalizacji. W artykule tym przedstawiono koncepcję takiego kryterium i pokazano sposób jego wykorzystania na przykładach liczbowych analizy typowego układu przeróbczego kruszyw. Jego konstrukcja może być rozwijana w oparciu o znajomość technologii produkcji kruszyw i dobrego rozpoznania wymagań jakościowych odbiorców.

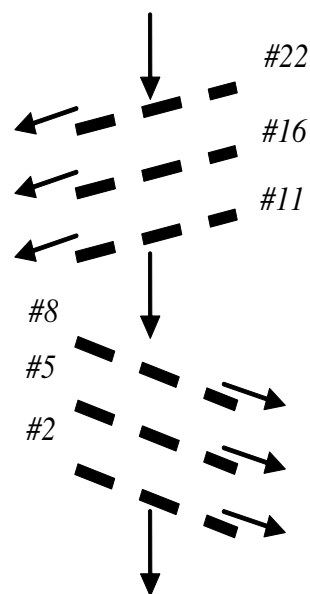
2. PRAKTYKA PRZESIEWANIA

Instalacje przemysłowe zaprojektowane w celu otrzymania szerokiego asortymentu, uzyskują produkty na kilku kolejnych, wielopokładowych przesiewaczach. Na przykład frakcje 2-5, 5-8, 8-11, 11-16, 16-22 można uzyskać w układzie dwóch przesiewaczy (rys. 3).

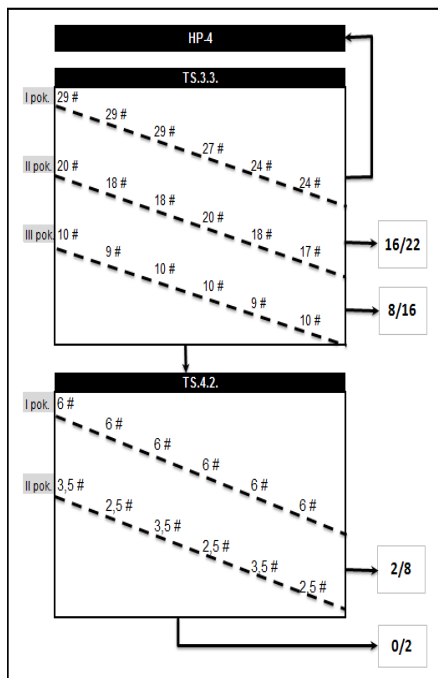
Nominalna, najmniejsza szerokość frakcji produktów przesiewania wynosi tu zaledwie 3 mm, co sprawia, że producenci mają wielkie trudności w uzyskaniu przy takim programie produkcji właściwej struktury uziarnienia instalacjach przeróbczych.



Rys. 2. Jakość i ilość jako zagadnienie optymalizacyjne
Fig. 2. The quality and quantity as an optimization issue



Rys. 3. Typowe układy sit w przesiewaczach
Fig. 3. Typical sieves systems at screens



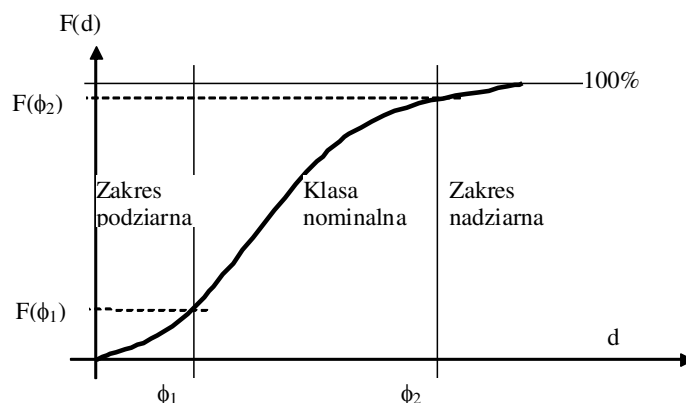
Rys. 4. Przykład z praktyki produkcyjnej
Fig. 4. Example from practice of production

nienia na drodze odpowiedniej symulacji cyfrowej konkretnego układu klasyfikacji i rozdrabniania w oparciu o sprawdzone modele operacji technologicznych.

3. KONCEPCJA OPTYMALIZACJI

Podstawowym problemem jakiegokolwiek optymalizacji jest wybór kryteriów, które jednoznacznie pokazują nam jakie rozwiązanie, czyli układ parametrów, struktura, jakość, ilość itp. wielkości są najkorzystniejsze w zbiorze uzyskanych rezultatów. Napotykamy tu jednak na poważny kłopot metodyczny: jak zdefiniować jakość produktów klasyfikacji i jak powiązać tę jakość z wolumenem, a w konsekwencji i z wartością produkcji? W tym celu przykładową można rozpatrzyć strukturę jednego produktu (rys. 5).

Technologowie próbują ten problem rozwiązywać różnymi sposobami. Przede wszystkim uciekają od produkcji wąskich frakcji na rzecz sortymentów o szerszym uziarnieniu, np. 2-8, 8-16. Ale tam, gdzie tego nie można zrobić manipuluje się wielkościami oczek sit sąsiednich pokładów albo różnicowaniem tych średnic w poszczególnych segmentach jednego pokładu [2]. Praktyczny przykład takiego rozwiązania przedstawia rys. 4. Widzimy tu zróżnicowanie wielkości oczek sit w pionie i poziomie drogi przepływu przesiewanej nadawy. Całość procesu dochodzenia do pożądaných efektów odbywa się metodą prób i błędów. Efekty takiego postępowania są najczęściej niezadowolające, ponieważ nie sposób jest w warunkach produkcyjnych wypróbować wszelkie możliwe kombinacje parametrów przesiewania z uwzględnieniem wpływu kruszarek na ten proces. Jedynym sposobem jest analiza off-line tego zagad-



Rys. 5. Struktura uziarnienia produktu sortowania
Fig. 5. The structure of the particle size distribution of sorting product

Produkt P_i wytwarzany jest w ilości q_i i ma skład ziarnowy $F(d)$, przy czym zawartość podziarna, frakcji nominalnej i nadziarna wynosi

$$a = F(\phi_1) \quad b = 1 - F(\phi_2) \quad c = F(\phi_2) - F(\phi_1) \quad (1)$$

Funkcja rozkładu uziarnienia $F(d)$ każdego produktu określona jest w zakresie, $0 \leq \phi_1, \phi_2 \leq d_{\max}$, gdzie d_{\max} wyznacza tu średnicę oczka sita górnego.

Przyjmując, że suma składników podziarna, nadziarna i frakcji nominalnej wynosi $a + b + c = 1$ lub 100% widzimy, że zmiana wartości jednego składnika powoduje zmianę wartości pozostałych. Jednocześnie zmiana wartości oczek sit poza wartości nominalne $\phi_1, \phi_2 \in \{np. 2, 5, 8, 11, 16, 22 \text{ mm}\}$ powoduje zmiany wychodów nadziarna i podziarna w produktach przesiewania, a także wydajności tych produktów.

Przyjmijmy dalej, że wartość handlowa i -produktu $w_i = C_i \cdot \chi_i$ jest ilorazem jego ceny rynkowej C_i oraz pewnej miary jakości $\chi = f(a, b, c)$. Wtedy kryterium optymalności procesu może być funkcja wartości produkcji W , określoną jako

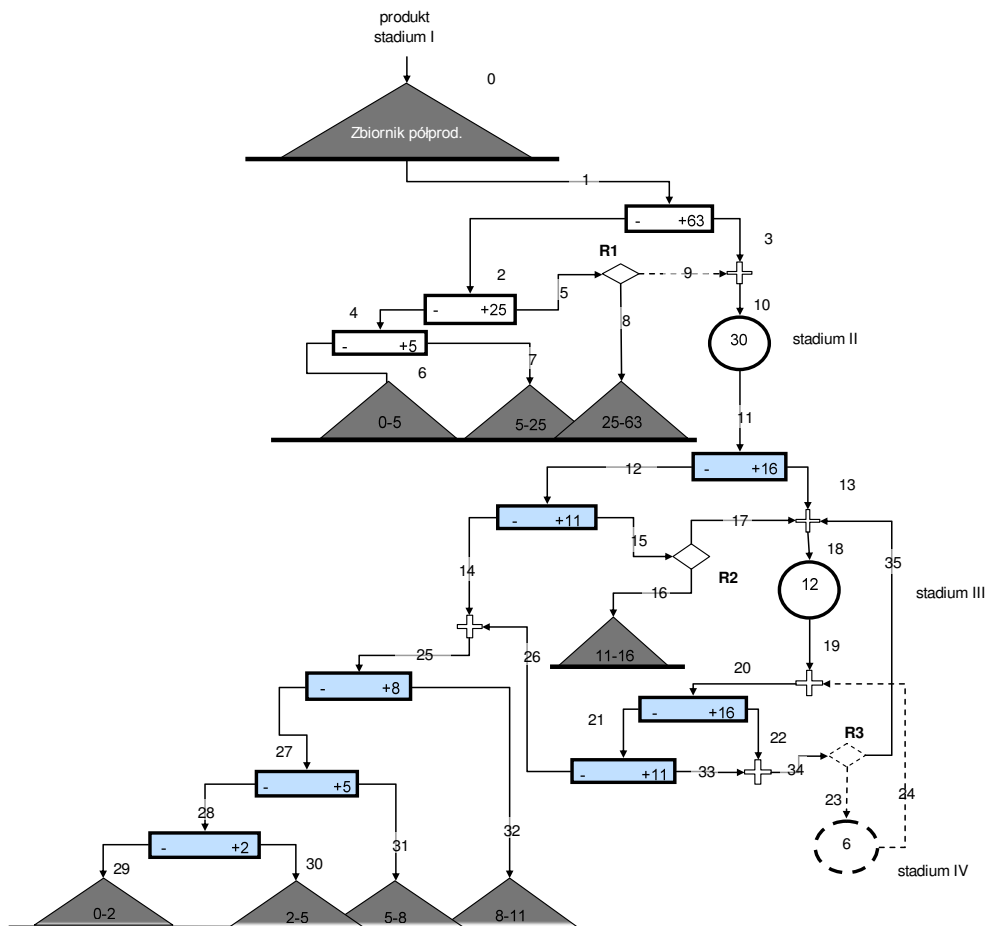
$$W = \max \sum_i C_i \cdot \chi_i \cdot q_i = \max \sum_i w_i \cdot q_i \quad (2)$$

Problemem pozostaje określenie funkcyjnej zależności χ_i od struktury jego uziarnienia. Zakładając, że jest to funkcja

$$\chi = 1 - (a + b) / c \quad (3)$$

formuła ta może być rozwinięta przez odpowiednie wprowadzenie do niej innej mierzalnej cechy produktu, takiej jak kształt ziaren, albo kary lub nagrody za odpowiednią strukturę uziarnienia. Jest to zagadnienie warte uwagi w przyszłości. Tymczasem śledząc efekt produkcyjny układu technologicznego mierzony wartością wyrażoną

wzorem (2), który uzyskuje się po manipulacjach na wielkościach oczek sit. Pokażemy to na przykładzie hipotetycznego (ale typowego w tej branży) układu produkcyjnego (tzw. grysowni) o strukturze technologii jak na rysunku 6.



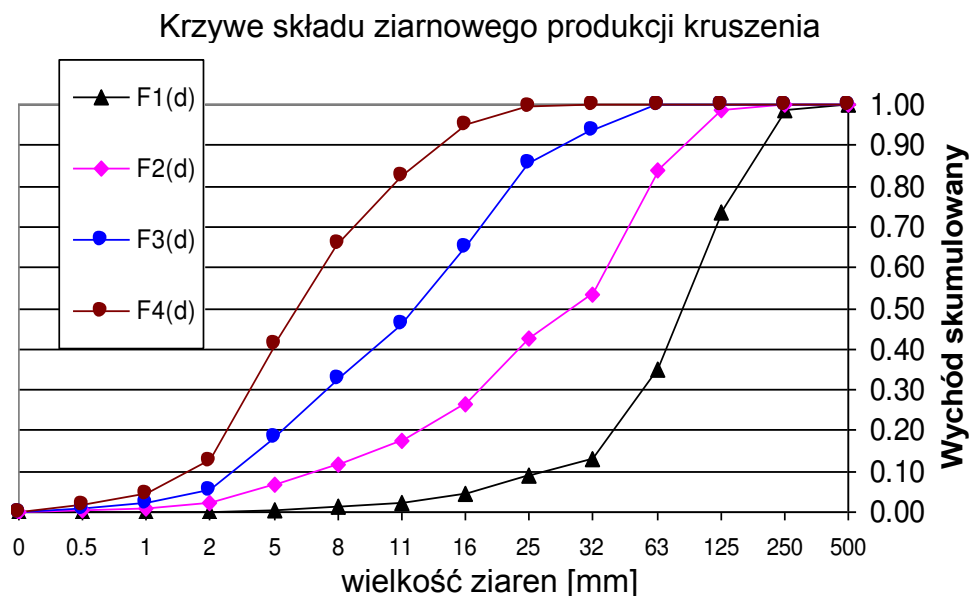
Rys. 6. Przykładowa technologia produkcji kruszywa
Fig. 6. Example of aggregate production technology

Z teorii i praktyki wiadomo [1–4], że ilość podziarna i nadziarna w produktach przesiewania zależy od sprawności operacji, na co z kolei mają wpływ parametry geometryczne i dynamiczne przesiewacza, a także skład ziarnowy nadawy i obciążenie sit. W tym wypadku dla większej jasności przykładu, zastosowano prosty model przesiewania zakładając jednocześnie, że obciążenie sit jest stałe oraz parametry geometryczne i dynamiczne przesiewaczy są podobne, a więc intensywność procesu przesiewania zależy jedynie od składu ziarnowego nadawy na sito oraz że średnice oczek

sit w pokładach są jednakowe na całej długości pokładu. Kolejnym uproszczeniem jest przyjęcie założenia, że kruszarki generują skład ziarnowy jak na rysunku 7 zależny jedynie od szerokości szczelin wypustowych, które w tym przykładzie przyjmuje się jak na rys. 6, tj. 30, 12 i 6 mm.

Wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli 1 i 2 oraz na rys. 8a, b. W tabeli 1 pokazano szczegółowe wyniki obliczenia układu wg scenariusza produkcji oznaczonego jako 011, co oznacza technologię 4-stadialną (układ granulatora IV stadium jest włączony) i produkcję frakcji 11-16 po II stadium rozdrabniania.

Z kolei tabela 2 przedstawia wyniki w obu scenariuszach: 010 – bez IV stadium i 011 – z IV stadium rozdrabniania. W kolumnie 2 tabeli zapisano wynik obliczony wzorem (2), w pozostałych kolumnach przyjęto wielkości oczek sit równe lub różniące się od wielkości nominalnych w odniesieniu do poszczególnych frakcji jak w nagłówku tabeli.



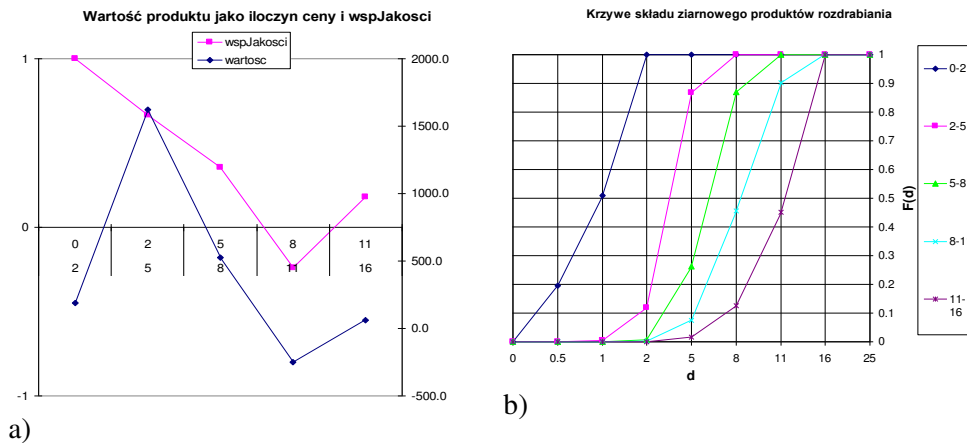
Rys. 7. Skład ziarnowy produktów kruszenia w stadiach I do IV
Fig. 7. Particle size distribution of crushing in stages I to IV

Tabela 1
Struktura, jakość i ilość produkcji wg zadanych wielkości
oczek sit (Scenariusz 011, wnt 7)

Struktura i ilość produktów przeróbki; s 011, wnt w7						
W, zł/h	2144	191.2	1620.2	524.2	-251.8	60.2
Q, m ³ /h	114	12.75	40.51	29.44	23.09	8.39
cena	zł/m ³	15	60	50	45	40
	F(ϕ 2)	1.000	0.868	0.870	0.902	1.000
	F(ϕ 1)	0.000	0.118	0.262	0.456	0.451
wspJakosci	1-(a+b)/c	1.000	0.667	0.356	-0.242	0.179
zadane	# górne	2	6	10	12	16
	# dolne	0	2	6	10	12
nominalne	ϕ 2	2	5	8	11	16
	ϕ 1	0	2	5	8	11
nadziarna	b	0.000	0.132	0.130	0.098	0.000
podziarna	a	0.000	0.118	0.262	0.456	0.451
FrPodst	c	1.000	0.750	0.608	0.446	0.549

Tabela 2
Wyniki obliczeń wartości produkcji W przy różnych średnicach oczek sit i liczbie stadiów rozdrabniania

Scenariusz	Wariant	Wartość	0-2	2-5	5-8	8-11	11-16
010 - 3stadia rozdrabniania	W0	869	2	5	8	11	16
	W1	1406	2.5	6	9	12	16
	W2	1352	2.5	6	9	13	16
	W3	1158	2.5	5.5	8.5	11.5	16
	W4	1105	3	6	9	12	16
	W5	1845	2	6	9	12	16
	W6	1998	2	6	9.5	12	16
	W7	2108	2	6	10	12	16
011 - 4-stadia rozdrabniania	W0	423	2	5	8	11	16
	W1	1328	2.5	6	9	12	16
	W2	1348	2.5	6	9	13	16
	W3	930	2.5	5.5	8.5	11.5	16
	W4	1003	3	6	9	12	16
	W5	1804	2	6	9	12	16
	W6	1999	2	6	9.5	12	16
	W7	2144	2	6	10	12	16



Rys. 8. a) Współczynnik jakości χ oraz wartość produkcji jako funkcja jakości i wychodu produktów przesiewania; b) skład ziarnowy produktów przeróbki dla wariantu w7
 Fig. 8. a) The quality factor χ and system output value dependent on χ and yield of screening products; b) grain size distribution of the screening products for w7 calculation variant

4. PODSUMOWANIE

Jakość kruszyw mierzona strukturą uziarnienia jest kluczową cechą produktów przeróbki. Wymagania standardowe dotyczą ilości podziarna, nadziarna i frakcji podstawowej. Uzyskanie odpowiednich proporcji tych składników w produktach wielopokładowych układów przesiewających jest trudne z powodów technicznych i technologicznych. Problem ten rozwiązuje się w praktyce przez manipulacją średnicami oczek sit, ale efekty takich zabiegów są często wątpliwe i ryzykowne, jeśli nie są optymalizowane według jasno określonego kryterium jakościowo-ilościowego. Propozycję takiego kryterium i sposób jego wykorzystania przedstawiono w tym opracowaniu. Zapewne wymaga to dalszych studiów i ulepszeń, ale znaczenie praktyczne tego zagadnienia warte jest podjęcia tej dyskusji.

LITERATURA

- [1] BANASZEWSKI T., *Przesiewacze*, Wyd. Śląsk, Katowice 1990.
- [2] MALEWSKI J., *Efektywność operacji przesiewania*, *Górn. Odkr.*, 5/6, 1988.
- [3] MALEWSKI J., *O rozkładzie obciążenia sita i sprawności przesiewania w dwupokładowym przesiewaczu wibracyjnym*, *Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej nr 108, seria Konferencje*, Wrocław 2004.
- [4] SZTABA K., *Przesiewanie*, Śląskie Wydawnictwo Techniczne, Katowice 1993.

OPTIMIZATION OF THE SCREENING PROCESS IN CRUSHING-SCREENING SYSTEMS

A concept of optimizing the aggregates screening process in multi-product screening systems have been presented in this paper. Optimality criterion process measured by value of production as a function of quantity, price and quality screening factor were proposed. The quality factor is defined as a dimensionless function of content of undersize, oversize and main fraction in the screening product. At the example of typical aggregates production system the calculations of the screening effect by changing mesh sieve sizes in multi-deck screens were performed.