

# Konstrukcje przesiewaczy swobodnie drgających do segregacji odpadów mineralnych

Designs of freely vibrating screens for segregating mineral waste

Remigiusz Modrzewski<sup>1</sup>, Katarzyna Ławińska<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska, Politechnika Łódzka

<sup>2</sup>Instytut Przemysłu Skórzanego w Łodzi

---

## Abstrakt

Praca prezentuje wyniki badań prowadzonych w Katedrze Aparatury Procesowej Politechniki Łódzkiej, które dotyczyły klasyfikacji różnego rodzaju odpadów mineralnych na przesiewaczach o sitach płaskich i prostopadłościennych rzeszotach. Opracowano trzy różne konstrukcje takich przesiewaczy i poddano je badaniom procesowym, które miały na celu określenie sprawności i wydajności tych maszyn w skali półtechnicznej. Na podstawie przeprowadzonych badań opracowano założenia projektowe i zbudowano przesiewacz przemysłowy do przeróbki odpadów mineralnych.

## Abstract

The paper presents the results of research carried out at the Department of Process Equipment of the Lodz University of Technology concerning the classification of various types of mineral waste using screens with flat sieves and rectangular riddles. Three different designs of such screens have been produced which then underwent process tests aimed at determining the efficiency and performance of those machines on a semi-technical scale. On the basis of the completed tests, design assumptions have been established and an industrial screen for processing mineral waste has been built.

*Słowa kluczowe:* przesiewacze, sito, odpady mineralne;

*Keywords:* sieving machines, sieve, mineral waste;

---

## 1. Wstęp

Podstawą rozwoju gospodarczego są surowce mineralne i możliwości wynikające z ich pozyskiwania [1]. Działania naukowe w obszarze gospodarki surowcami mineralnymi wyraźnie wskazują, że coraz więcej substancji, uznawanych jeszcze niedawno za odpady,

---

\* autor korespondencyjny: Katarzyna Ławińska: k.lawinska@ips.lodz.pl

zyskuje w nowych technologiach wartość surowca mineralnego [2]. Przeróbka odpadów mineralnych ma duże znaczenie w gospodarce ze względu na ich masowe ilości oraz różnorodność. Wiele z tych odpadów ma dużą wartość użytkową, a możliwości ich wykorzystania są bardzo szerokie. Stąd też często zamiast o „odpadach” mówi się o surowcach towarzyszących wydobyciu głównego surowca kopalnego. W tab. 1 przedstawiono odpady przemysłowe wytworzone i dotychczas składowane w Polsce w 2015 roku.

**Tab. 1.** Odpady wytworzone i dotychczas składowane (nagromadzone) według rodzajów w 2015 r [3].

Rodzaj odpadów	Ogółem, [mln ton]	Poddane odzyskowi*, [%]	Odpady dotychczas składowane**, stan w końcu roku, [mln ton]
Odpady powstające przy płukaniu i oczyszczaniu kopalni	33,6	41,7	434,9
Odpady z flotacyjnego wzbogacania rud metali nieżelaznych	31,0	4,3	624,6
Mieszanki popiołowo-żużlowe z mokrego odprowadzania odpadów paleniskowych	12,0	0,6	294,1
Odpady z wydobywania kopalni innych niż rudy metali	7,7	47,4	77,8
Żużle z procesów wytopiania	3,6	62,3	2,7
Popioły lotne z węgla	3,3	3,3	26,3
Mieszanki popiołów lotnych i odpadów stałych z wapniowych metod odsiarczania gazów odlotowych	3,2	1,2	0,0
Ogółem	131,0	21,9	1681,4

\*we własnym zakresie przez wytwórcę, \*\* na składowiskach (hałdach, stawach osadowych) własnych

Odpady mineralne występują w wielu gałęziach przemysłu, w szczególności w górnictwie węgla, surowców skalnych, w energetyce i hutnictwie. Polskie górnictwo posiada wszystkie atrybuty niezbędne dla perspektywicznego rozwoju, zarówno dla zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego kraju, jak i dostaw surowców mineralnych niezbędnych dla właściwej działalności wielu gałęzi gospodarczych [4]. Głównymi skutkami działalności górniczej są m.in. odpady górnicze [5]. Węgiel brunatny jest jednym z głównych surowców energetycznych na świecie [6]. Wydobycie węgla brunatnego zawsze oznacza pojawienie się dużych ilości kopalni towarzyszących, mających charakter odpadów mineralnych, powstałych w rezultacie działalności górniczej. Na obszarze złoża węgla brunatnego „KWB Bełchatów” występują odmiany kopalni, spełniające kryteria odmian towarzyszących, tj.: torfy, piaski i żwiry, głązy narzutowe skał magmowych i przeobrażonych, surowce ilaste, krzemiona pospółka piaszczysto-żwirowa, piaskowce kwarcytowe, kreda jeziorna oraz wapienie [7]. Problematyka zagospodarowania złóż kopalni towarzyszących współwystępujących w złożach kopalni głównych jest zagadnieniem, które można rozpatrywać zarówno w kategoriach prawnych,

geologiczno-górnicych, jak i technologicznych [8]. Surowce towarzyszące kopalni węgla brunatnego są wykorzystywane w różnych gałęziach gospodarki [9]. Prawidłowe zagospodarowanie tych odpadów daje szereg korzyści, z których za najważniejsze należy uznać: gospodarcze, transportowo – energetyczne oraz ochrony środowiska. Dane literaturowe wskazują, że na 1 Mg wydobytego węgla kamiennego przypada średnio 0,3 Mg materiału odpadowego [10]. Istotnym zagadnieniem jest zatem poszukiwanie nowych rozwiązań, umożliwiających minimalizację wytwarzania odpadów oraz zwiększanie znaczenia procesów ich odzysku.

Jedną z najważniejszych operacji jednostkowych w przeróbce odpadów mineralnych jest proces przesiewania [11]. Przesiewanie odpadów uziarnionych, niezależnie od ich pochodzenia zwykle dzieli się na kilka etapów, z których pierwszym jest oddzielanie ziaren dużych tzn. takich, które powinny być poddawane głębokiemu przemiałowi, w różnych maszynach rozdrabniających. Drugim etapem przerobu odpadów jest wielokrotne (w zależności od potrzeb) klasyfikowanie tych odpadów na sitach, a więc przesiewanie w różnych maszynach przesiewających [12].

Najwłaściwszymi maszynami do realizacji tego procesu są, zdaniem Autorów nowoczesne przesiewacze o sitach płaskich i prostopadłościennych rzeszotach oraz o liniowym przepływie nadawy. Maszyny tego typu były w ostatnich latach budowane i testowane w Politechnice Łódzkiej, w celu ich zastosowania między innymi do przeróbki odpadów mineralnych.

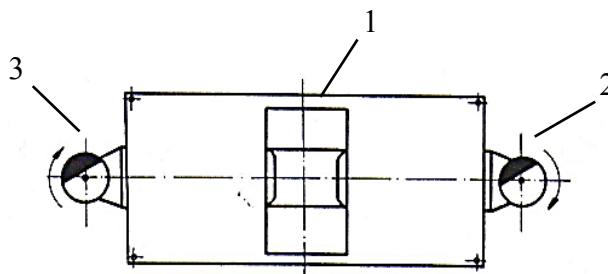
## **2. Aparatura badawcza**

Wybrano trzy nowoczesne konstrukcje przesiewaczy, które zostały przebadane pod kątem ich przydatności do segregacji i klasyfikacji różnych odpadów mineralnych tj. przesiewacz zataczająco-krażący, przesiewacz liniowo-eliptyczny oraz przesiewacz dwuczęstościowy.

### **2.1. Przesiewacz zataczająco - krający**

Przesiewacz zataczająco - krający (rys.1) jest maszyną o przestrzennym ruchu sita. Składa się z rzeszota z rozpiętymi wewnątrz sitami, podwieszzonego na zawieszaniu sprężystym. Cechą charakterystyczną tej konstrukcji jest usytuowanie wibratorów skrajnych (2) i (3), które zsynchronizowane współbieżnie lub przeciwbieżnie wywołują ruch zataczający rzeszota w płaszczyźnie sit. Na ten ruch nakłada się ruch krający spowodowany wibratorem środkowym

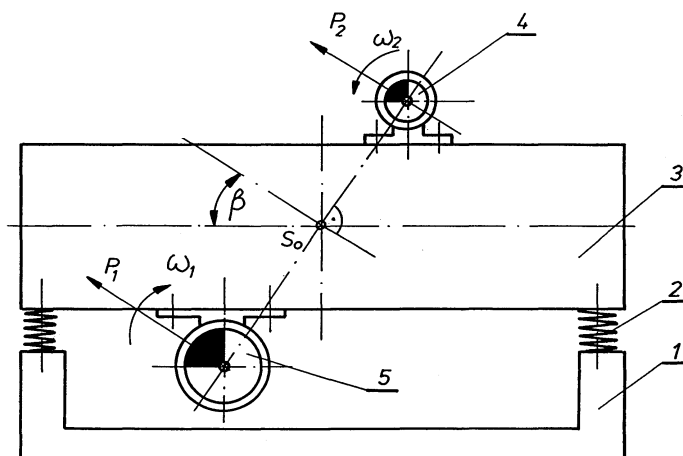
(1) umiejscowionym pod lub nad prostopadłościennym rzeszotem. Takie rozwiązanie konstrukcyjne pozwala uzyskać skomplikowany przestrzenny ruch sita.



Rys. 1. Przesiewacz zataczająco - krążący: 1, 2, 3 – wibratory napędowe [13].

## 2.2. Przesiewacz liniowo - eliptyczny

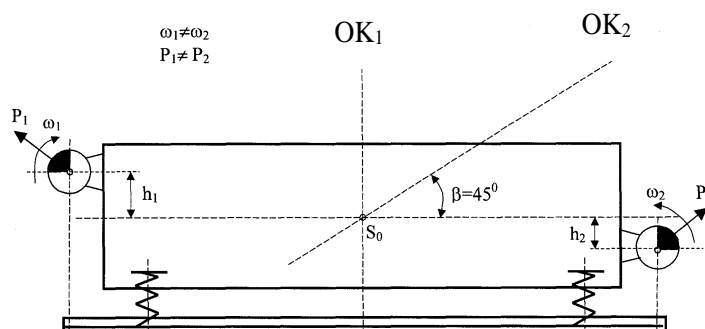
Przesiewacz liniowo - eliptyczny (rys. 2) jest przesiewaczem jednopłaszczyznowym, który charakteryzuje się dużymi możliwościami wydajnościowymi. Cechą charakterystyczną przesiewacza jest jego napęd, złożony, z dwóch wibratorów rotacyjnych (4) i (5). Wibratory te mogą mieć jednakowe lub różne momenty statyczne. Jeżeli momenty te są różne, to korzystne jest, aby wał napędowy o większym momencie statycznym znajdował się pod sitem (możliwie najniżej). Przesiewacz liniowo - eliptyczny może być poziomy lub nachylony w kierunku zamierzonego ruchu materiału ziarnistego. Dzięki rozmieszczeniu wibratorów oba położenia rzeszota zapewniają transport warstwy ziarnistej wzdłuż sita.



Rys. 2. Przesiewacz liniowo - eliptyczny: 1 – podstawa, 2 – zawieszenie sprężyste, 3 – rzeszoto, 4, 5 – wibratory,  $S_o$  – środek ciężkości rzeszota,  $\beta$  - kąt wahań torów sita (kąt, jaki tworzy z poziomem linia prostopadła do prostej łączącej osie obu wibratorów – linia ta, to tzw. oś kinematyczna konstrukcji),  $P_1, P_2$  – siły wymuszające wibratorów,  $\omega_1, \omega_2$  – prędkości kątowe wibratorów [14].

### 2.3. Przesiewacz dwuczęstościowy

Schemat konstrukcji przesiewacza dwuczęstościowego w wariacie poziomym został pokazany na rys. 3. Maszyna ta może być nachylona do poziomu pod kątem 15 - 20°. Do napędu tego przesiewacza zastosowane są dwa wibratory rotacyjne o jednakowych lub niejednakowych momentach statycznych. Oś kinematyczna tej konstrukcji może być różnie usytuowana np.  $OK_1$  lub  $OK_2$  (rys. 3), co zależy od rozmieszczenia wibratorów napędowych na rzeszocie. Oś kinematyczna  $OK_1$  odpowiada wibratorom umieszczonym symetrycznie na obu końcach rzeszota – bez rozsunięcia (kąt wahań torów sita  $\beta=90^\circ$ ), zaś oś kinematyczna  $OK_2$  odpowiada wibratorom maksymalnie rozsuniętym ( $\beta=45^\circ$ ). Na rysunku 3 przedstawiono pośrednie (nie skrajne) rozsuniecie wibratorów, wtedy kąt  $\beta$  wynosi między  $90^\circ$  a  $45^\circ$ .



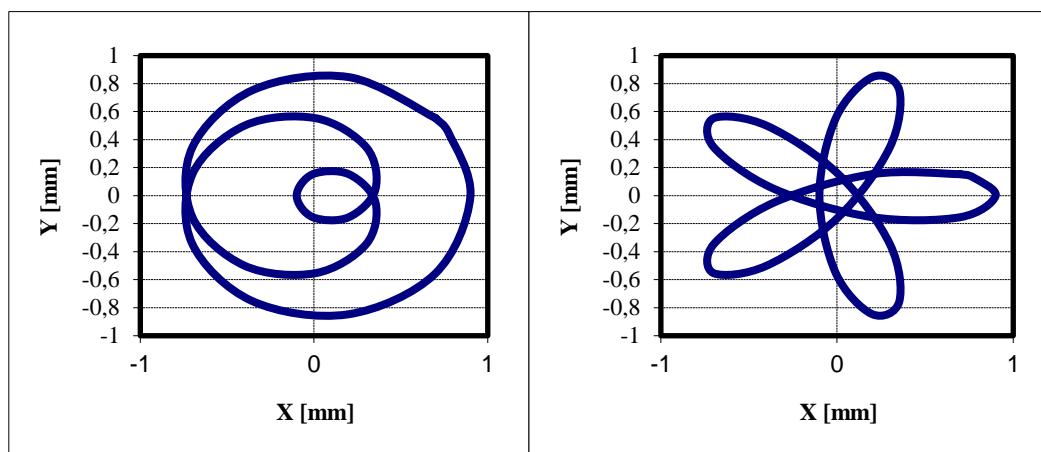
**Rys. 3.** Przesiewacz dwuczęstościowy:  $S_0$  – środek ciężkości rzeszota,  $\beta$  – kąt wahań torów sita,  $P_1, P_2$  – siły wymuszające wibratorów,  $\omega_1, \omega_2$  – prędkości kątowe wibratorów,  $h_1, h_2$  – przykładowe przesunięcie osi wibratorów względem osi symetrii rzeszota.

Ważnym parametrem charakteryzującym pracę przesiewacza dwuczęstościowego jest współczynnik przełożenia prędkości definiowany, jako:

$$\xi = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (I)$$

Wielkość ta określa, o ile różnią się od siebie prędkości kątowe  $\omega$  (lub obrotowe  $n$ ) wibratorów rotacyjnych. W zależności od zastosowanego współczynnika przełożenia prędkości oraz kierunku obrotów (zgodne lub przeciwne), można uzyskać różne tory ruchu drgającego maszyny, pokazane przykładowo na rys. 4 [15]. Równanie przedstawiające układ trzech równań różniczkowych zwyczajnych o stałych współczynnikach niejednorodnych, którego

rozwiązanie pozwoli na wyznaczenie parametrów kinematycznych ruchu przesiewacza przedstawiono w pracy [16].



Rys. 4. Przykładowy tor ruchu ( $\xi = 1/3$  oraz  $\xi = -1/3$ ) [16].

Przewiduje się zastosowanie różnych wariantów konstrukcyjnych przesiewaczy dwuczęstościowych z wykorzystaniem efektu samosynchronizacji dynamicznej wałów napędowych. W tabeli 2 przedstawiono warianty, które zostały zbadane w skali półtechnicznej. Prowadzone prace miały na celu przebadanie kinematycznie i procesowo opisanych wyżej maszyn przesiewających pod kątem ich przydatności do segregacji różnego rodzaju odpadów mineralnych.

Tab. 2. Warianty konstrukcyjne przesiewacza dwuczęstościowego.

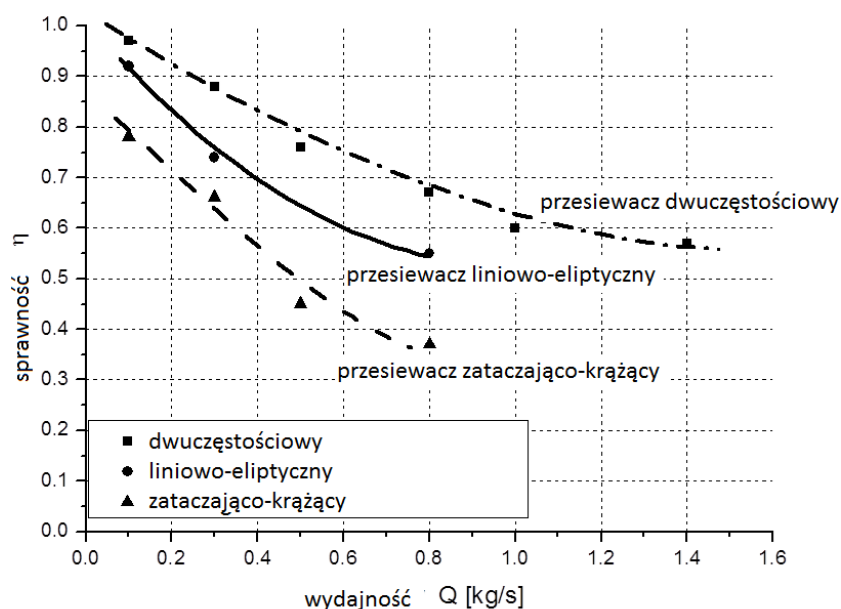
L.p.	Synchronizacja wałów napędowych	Momenty statyczne wałów napędowych	Prędkości obrotowe wałów napędowych	Charakter ruchu rzeszota
1	współbieżna (kierunki obrotów zgodne)	jednakowe	jednakowe ( $\omega_1 = \omega_2$ )	kołowy
2			różne ( $\omega_1 \neq \omega_2$ )	nieliniowy
3		różne	jednakowe ( $\omega_1 = \omega_2$ )	nieliniowy
4			różne ( $\omega_1 \neq \omega_2$ )	złożony
5	przeciwbieżna (kierunki obrotów przeciwne)	jednakowe	jednakowe ( $\omega_1 = \omega_2$ )	linowy
6			różne ( $\omega_1 \neq \omega_2$ )	złożony
7		różne	jednakowe ( $\omega_1 = \omega_2$ )	eliptyczny
8			różne ( $\omega_1 \neq \omega_2$ )	nieliniowy

### 3. Wyniki i podsumowanie

Za kryterium oceny jakości pracy przedstawionych wyżej przesiewaczy przyjęto sprawność przesiewania i wydajność masową. Parametry te mają decydujące znaczenie z punktu widzenia ekonomii procesu. Badania procesowe stanowią jedyną drogę do osiągnięcia celu, jakim jest

optymalizacja układu napędowego, ponieważ nawet poprawna praca układów mechanicznych nie gwarantuje jeszcze zapewnienia dostatecznie dobrych warunków przesiewania [17].

Na rys. 5 przedstawiono wybrane, przykładowe przebiegi zależności krzywych sprawnościowo-wydajnościowych testowanych maszyn przesiewających. Prezentowane przykłady dotyczą przesiewania różnego rodzaju odpadów mineralnych. Ze względu na znaczne wymiary oraz mnogość wariantów konstrukcyjnych i napędowych tych przesiewaczy, całkowita liczba tego typu wykresów, otrzymanych w czasie wieloletnich badań jest bardzo duża. Wnioski dotyczące poszczególnych przesiewaczy, przedstawiane z osobna, zostały zaprezentowane w licznych publikacjach [18-22].



Rys. 5. Porównanie sprawności i wydajności opisywanych przesiewaczy.

Na podstawie przeprowadzonych badań, można stwierdzić, iż większość zaprezentowanych typów przesiewaczy może znaleźć zastosowanie w przesiewaniu zarówno kruszyw skalnych, jak i odpadów mineralnych. Jednak w przypadkach, w których mamy do czynienia z materiałami drobno uziarnionymi (materiały te są trudniejsze do przesiania) najbardziej wskazane jest zastosowanie przesiewacza dwuczęstościowego. Szczególnie w sytuacjach, gdy proces wymaga dużych wydajności masowych (częsty przypadek przy przeróbce odpadów) przesiewacz dwuczęstościowy dzięki swoim możliwościom do intensywnej segregacji warstwy na sicie, zapewnia zadawalającą skuteczność. Podobnie jest w procesach przesiewania stosunkowo grubych warstw, w których przesiewacze klasyczne nie osiągają wymaganych

parametrów sprawnościowo - wydajnościowych. Zawartość wilgoci również znacząco utrudnia proces przesiewania, a przecież większość kopalni i odpadów mineralnych nie jest materiałem suchym. Występujące wówczas opory przesiewania są związane głównie z oporem samej warstwy ziarnistej, nie zaś z oporem przejścia ziarna przez otwory sitowe. Charakterystyczna dynamika ruchu sita przesiewacza dwuczęstościowego znakomicie umożliwia pokonanie takich oporów. W sytuacjach mniej problematycznych, a więc na przykład przy przesiewaniu materiałów suchych, o większych wymiarach lub o bardziej owalnych kształtach ziaren, najlepszym przesiewaczem jest zdaniem Autorów przesiewacz liniowo - eliptyczny. Jego zdolność segregacji jest niewiele mniejsza od przesiewacza dwuczęstościowego, za to sama konstrukcja nieco prostsza - zwłaszcza w obszarze sterowania elektrycznego (brak falowników prądu zmiennego). Ma to pozytywne skutki ekonomiczne, zarówno na etapie inwestycyjnym, jak i późniejszym eksploatacyjnym (mniejszy pobór energii elektrycznej). Analizując maszyny o przestrzennym ruchu sit, których przedstawicielem jest przesiewacz zataczająco - krążący, to jest on najmniej przydatny do klasyfikacji odpadów mineralnych spośród omawianych przesiewaczy. Przyczyną jest jego konstrukcja tj. zbyt mała sztywność rzeszota, powodująca trudności w zapewnieniu właściwego ruchu warstwy ziarnistej na sicie, co niekorzystnie wpływa na sprawność i wydajność procesu przesiewania. Maszyny te wymagają rzeszot o dużej sztywności w trzech wzajemnie prostopadłych kierunkach. Jest to możliwe do osiągnięcia poprzez zaprojektowanie nowego rzeszota i rezygnacji z jego dotychczasowej prostej konstrukcji.

Uzyskane wyniki umożliwiły zaprojektowanie oraz zbudowanie przesiewacza dwuczęstościowego w skali przemysłowej. Pracuje on w przemyśle wydobywczym i jest stosowany do przesiewania drobno i bardzo drobno ziarnowych odpadów mineralnych w kopalni. Przesiewacz jest zaopatrzony w rzeszoto trójpokładowe, a jego masa drgająca wynosi 4500 kG.

### **Źródło finansowania**

Praca wykonana w ramach działalności statutowej 501/10-34-1-7217.

### **Literatura**

- [1] Korban Z.: *Problem odpadów wydobywczych i oddziaływania ich na środowisko, na przykładzie zwalowiska nr 5A/W-1 KWK „X”*, *Górnictwo i Geologia*, 6 (1), 2011, str. 109 – 1020.
- [2] Góralczyk S., Baic I.: *Odpady z górnictwa węgla kamiennego i możliwości ich gospodarczego wykorzystania*, *Polityka Energetyczna*, 12, (2/2), 2009, str. 145 – 157.
- [3] Główny Urząd Statystyczny: *Ochrona Środowiska 2016*, Warszawa 2016.



- [4] Kasztelewicz K.: *Przyszłość czy przeszłość górnictwa węgla brunatnego w Polsce*, Ogólnopolska Konferencja „Przyszłość polskiej elektroenergetyki opartej na węglu brunatnym”, Bełchatów, 11 września 2017 r., str. 18 – 39.
- [5] Midor K.: *Spoleczne preferencje kierunków rewitalizacji terenów pogórnicznych na wybranym obszarze pogranicza polsko-czeskiego*, Systemy Wspomagania W Inżynierii Produkcji, Górnictwo – perspektywy i zagrożenia 2016, 1 (13), 2016, str. 397 – 405.
- [6] Bielowicz B.: *Występowanie wybranych pierwiastków szkodliwych w polskim węglu brunatnym*, Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management, 29 (3), 2013, str. 47 – 59.
- [7] Ratajczak T., Hycnar E., Jończyk W.: *Złoża antropogeniczne a wartość surowcowa zgromadzonych kopaliny na przykładzie KWB „Bełchatów” SA*, Górnictwo i Geoinżynieria, 33 (2), 2009, str. 383 – 390.
- [8] Bednarczyk S.: *Zagospodarowanie kopaliny towarzyszącej na przykładzie eksploatacji złoża piasku podsadzowego „Pustynia Błędowska–blok IV”*, Przegląd Górniczy, 10, 2014, str. 147 – 154.
- [9] Modrzewski R., Wodziński P.: *Dobór parametrów konstrukcyjnych przesiewacza dwuczęstościowego przeznaczonego do klasyfikacji odpadów mineralnych*, Rocznik Ochrona Środowiska – Annual Set The Environment Protection, 12, 2010, str. 697 – 722.
- [10] Kłojzy-Karczmarczyk B., Mazurek J., Paw K.: *Możliwości zagospodarowania kruszyw i odpadów wydobywczych górnictwa węgla kamiennego ZG Janina w procesach rekultywacji wyrobisk odkrywkowych*, Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management, 32 (3), 2016, str. 111 – 134.
- [11] Sztaba K.: *Przesiewanie*; Śląskie Wydawnictwo Techniczne, Katowice, 1993.
- [12] Banaszewski T.: *Przesiewacze*, Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice, 1990.
- [13] Ławińska K., Modrzewski R.: *Przesiewanie i maszyny przesiewające z uwzględnieniem procesu blokowania otworów sitowych*, Wydawnictwo Instytutu Przemysłu Skórzanego, Łódź, 2016.
- [14] Wodziński P.: *Przesiewanie drobnociarnowe i maszyny przesiewające*, Journal of the Polish Mineral Engineering Society, I-VI, 2001, str. 41 – 57.
- [15] Modrzewski R., Wodziński P.: *Zastosowanie przesiewaczy dwuczęstościowych w przemyśle spożywczym*, Inż. Ap. Chem., 50 (1), 2011, str. 27 – 28.
- [16] Modrzewski R., Wodziński P.: *Ruch drgający rzeszota przesiewacza dwuczęstościowego*, Górnictwo i Geoinżynieria, 34 (4/1), 2010, str. 193 – 202.
- [17] Dietrych J.: *Teoria i budowa przesiewaczy*, Wydawnictwo Górnictwo – Hutnicze, Katowice, 1962.
- [18] Modrzewski R., Wodziński P.: *The results of process investigations of a double-frequency screen*; Physicochemical Problems of Mineral Processing, 46, 2011, str. 5 – 12.
- [19] Ławińska K., Modrzewski R., Wodziński P.: *Wyniki badań kruszyw mineralnych na przesiewaczu dwuczęstościowym*, Mining Science – Mineral Aggregates, 21(1), 2014, str. 129 – 138.
- [20] Ławińska K., Modrzewski R., Wodziński P.: *Mathematical and empirical description of screen blocking*, Granular Matter, 18, 2016, str. 13.
- [21] Ławińska K., Modrzewski R., Wodziński P.: *Porównanie możliwości zastosowania przesiewaczy bębnowych i wibracyjnych do segregacji odpadów mineralnych i komunalnych*, Rocznik Ochrona Środowiska – Annual Set The Environment Protection, 17, 2015, str. 1365 – 1388.
- [22] Ławińska K., Modrzewski R.: *Analysis of sieve holes blocking in a vibrating screen and a rotary and drum screen*, Physicochemical Problems of Mineral Processing, 53 (2), 2017, str. 812 – 828.