ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1998
Seria: GÓRNICTWO z. 238 Nr kol. 1399

Tadeusz TUMIDAJSKI
Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków
Grzegorz BOGACZ
Wytwórnia sit Progress s.c. Furmanów, Kielce

PROCESY UŚREDNIANIA I SEGREGACJI A REPREZENTATYWNOŚĆ PRÓBEK

Streszczenie. Materiały uziarnione składowane lub transportowane podlegają uśrednianiu lub segregacji, co prowadzi do konieczności uwzględniania ich wpływu na reprezentatywność próbek pobieranych z takich materiałów. Przedstawiono próby charakteryzacji tych zjawisk poprzez teorię pól losowych i funkcji wielu zmiennych. Okazało się, że występujące pola nie są ani izotropowe, ani stacjonarne. Przeprowadzone badania potwierdziły słuszność stosowanych metod opróbowywania wagonów czy też metodykę pomniejszania próbek do analiz.

AVERAGING AND SEGREGATION PROCESSES AND REPRESENTATIVENESS OF SAMPLES

Summary. Grained materials, transported and/or stapled undergo the influence of averaging and separation. It must be took into account in analyses of the representativeness of samples from such materials. Trials of the characterisation of those phenomena using the theory of random fields and multidimensional functions were made in the paper. The directional derivative and the gradient were applied in the analysing of changes of material properties. Basing on laboratory investigations it may be prowed that analysed fields are not izotropic and stationary (for grained material cakes and volumes of carriages).

1. Wstęp

Zjawiska uśredniania i segregacji materiałów uziarnionych występują w każdym procesie przeróbczym, transporcie tych materiałów oraz przy ich składowaniu. Związane to jest z tym, że materiały uziarnione nie są jednorodne pod względem wielkości i gęstości ziaren, ich kształtu i własności powierzchniowych, co powoduje różnice w ich zachowaniu się w polu sił

grawitacyjnych i innych (tarcie, adhezja) i idące za tym rozwarstwianie się tych materiałów na składowiskach, przesypach czy taśmach transportujących.

W prezentowanym artykule ograniczymy się do zagadnień związanych wyłącznie ze zjawiskami uśredniania i segregacji materiałów składowanych na pryzmach, w zbiornikach lub wagonach oraz decydujących o sposobach i zasadach opróbowania takich zbiorowości ziaren mineralnych.

Celem pobierania próbek materiałów uziarnionych jest określenie rozkładów wielkości ziarn, rozkładów zawartości składników itd. lub parametrów tych rozkładów. Generalnie rzecz biorąc, opróbowanie materiałów ze zwałowisk czy zbiorników polega na punktowym pobraniu próbek w węzłach siatki nakładanej na opróbowywaną powierzchnię zajmowaną przez materiał, uśrednianiu tych próbek, pobraniu próbki po uśrednieniu i przygotowaniu jej do dalszych analiz. Próbki powinny być reprezentatywne, tzn. charakteryzować dokładnie badany materiał uziarniony w sensie zgodności rozkładów jego cech (lub parametrów tych rozkładów) z rozkładami uzyskiwanymi na podstawie próbek.

Poprawne rozwiązywanie tego typu zagadnień w przypadku materiałów składowanych może być oparte na teorii pól losowych i związanej z nimi statystyce matematycznej.

2. Wybrane problemy oceny procesów uśredniania i segregacji

Własności materiałów uziarnionych opisuje się w kategoriach rachunku prawdopodobieństwa i statystyki matematycznej, ponieważ losowa natura tych własności nie podlega dyskusji. Jeżeli przedmiotem badań jest przebieg procesów wzbogacania, to istotnymi czynnikami stają się czas lub współrzędne określające punkt przestrzeni roboczej urządzeń i podstawowym zagadnieniem staje się badanie zależności charakterystyki od współrzędnych czasowych lub geometrycznych (przekątnych). Mamy wtedy do czynienia, mówiąc niezbyt ściśle, z badaniem procesów stochastycznych lub badaniem pól losowych. Teoria procesów stochastycznych znalazła szerokie zastosowanie w opisie procesów przeróbczych, natomiast teoria pól losowych powinna znaleźć zastosowanie w opisie takich procesów, jak: uśrednianie, filtracja, odpylanie, przebiegających na pewnych powierzchniach lub w pewnych przestrzeniach roboczych urządzeń (zbiorników) [3].

Niech będzie dana przestrzeń probabilistyczna (Ω, A, P). Polem losowym n-wymiarowym nazywamy każdą funkcję

$$U : R^n \times \Omega \rightarrow R^1 \tag{1}$$

taką, że dla każdego $t \in R^n$ funkcja $\omega \rightarrow U(t,\omega)$ jest zmienną losową w Ω.

gdzie:

Ω - przestrzeń zdarzeń elementarnych,

P - miara prawdopodobieństwa,

R^n - n-wymiarowa przestrzeń euklidesowska.

Jeżeli $n = 1$, to $U = U(t)$ jest procesem stochastycznym. Przez wektorowe k– wymiarowe pole losowe $U(t,\omega)=(U_1(t,\omega),U_2(t,\omega),\ldots,U_k(t,\omega))$ określone na parametrze $t \in R^n$ rozumiemy funkcję

$$U:R^n \times \Omega \rightarrow R^k (k \geq 2) \tag{2}$$

taką, że dla każdego $t \in R^n$ przekształcenie $\omega \rightarrow U(t,\omega)$ jest zmienną losową w Ω.

Niech t_1 i t_2 będą wartościami parametru $t \in R^n$. Oznaczmy przez $\mathrm{cov}(U(t_1),U(t_2))$ kowariancję zmiennych losowych $U(t_1)iU(t_2)$, przez $\sigma^2(t_i)$ - wariancję zmiennej $U(t_i)$ dla $i = 1,2$. Wyrażenie

$$R(U(t_1),U(t_2)) = R(t_1,t_2) = \frac{\mathrm{cov}(U(t_1),U(t_2))}{\sigma(t_1)\sigma(t_2)} \tag{3}$$

jest współczynnikiem korelacji zmiennych losowych $U(t_1)$ i $U(t_2)$ - funkcją korelacji pola losowego $U(t)$. Pole losowe $U(t)$ nazywamy jednorodnym, jeśli funkcje korelacji tych pól nie zależą od wyboru punktu $t_1 \in R^n$.

Pole losowe $U(t)$ nazywamy stacjonarnym w szerszym sensie, gdy dla każdego $t \in R^n$ funkcja $U(t)$ ma skończoną wartość oczekiwaną i skończoną wariancję.

W przypadku rozważania uśredniania lub segregacji materiału uziarnionego rozłożonego na wycinku płaszczyzny najczęściej mamy do czynienia z zadaniem szacowania parametrów takiej mieszaniny, czyli wartości średnich wybranych cech, całkowitej zawartości (lub masy) badanego składnika itp. Traktując taki materiał metodami probabilistycznymi można próbować błędy wyznaczonych wartości. Aby dojść do tego, trzeba wprowadzić zmienne losowe tworzące pole. W tym celu postępuje się wg ogólnego schematu określania pól losowych.

Niech będzie dana przestrzeń probabilistyczna (Ω, A, P) i niech $\omega \in \Omega$. Oznaczmy przez $C(\omega)$ losowy układ współrzędnych taki, że dla każdego $p \in D_1 \subset D \subset R^2$, gdzie D_1 jest prostokątem, a D zbiorem ograniczonym w R^2, określona jest funkcja f pozwalająca na Ω

określić zmienną losową $f(p(\omega))$. Tak więc $f(p) = f(p(\omega))$ jest polem losowym jako rodzina zmiennych losowych zależnych od $p \in D_1$. Przypomnijmy, że $f(p)$ oznacza zawartość wybranych składników (klas) materiału uziarnionego w punkcie $p \in D_1$. Ustalając zdarzenie $\omega_0 \in \Omega$ otrzymujemy realizację pola losowego $f(p)$. W szczególności, jeśli dla ustalonego ω_0 weźmiemy zbiór punktów $p_1(\omega_0),\ldots,p_m(\omega_0)$ i wykonamy pomiary funkcji $f(p(\omega_0))$ w tych punktach, to otrzymamy realizację pola losowego $f(p)$ postaci $f(p_1(\omega_0)) = f(p_1),\ldots,f(p_m(\omega_0)) = f(p_m)$. Jeśli ustalimy punkty $p_1,\ldots,p_m \in D_1$, to zbiór wielkości $f(p_1(\omega)),\ldots,f(p_m(\omega))$ jest zbiorem zmiennych losowych.

Przyjmuje się, że wartości średnie $E(f(p_i(\omega)))$ są wszystkie równe m, a wariancje $D^2(f(p_i(\omega)))$ równe $\sigma^2 < \infty$, tzn. wszystkie zmienne losowe $f(p_i(\omega))$ mają wspólną skończoną wartość oczekiwaną i wspólną skończoną wariancję.

Zakłada się ponadto, że funkcja korelacji R spełnia warunek

$$R\left(f(p_i(\omega)), f(p_j(\omega))\right) = R\left(\left|\overrightarrow{p_i\, p_j}\right|\right) \tag{4}$$

Przyjmuje się więc, że pole losowe $f(p)$ jest polem stacjonarnym izotropowym. Najczęściej jako funkcje korelacji przyjmuje się dwie klasy funkcji

$$R(x,y) = \exp\left(-A\left(x^2 + y^2\right)\right) \tag{5}$$

$$R(x,y) = \exp\left(-A\left(x^2 + y^2\right)^{\frac{1}{2}}\right) \tag{6}$$

Dla pól stacjonarnych izotropowych można prowadzić opróbowania losowe, warstwowe i systematyczne, przy czym wartość średnią wyznaczamy ze wzoru

$$M = \frac{1}{2}\left(f(p_1) + \ldots + f(p_m)\right) \tag{7}$$

a wariancję ze wzoru

$$s^2 = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\left(f(p_i) - M\right)^2 \tag{8}$$

Wszystkie metody oceny stopnia uśredniania czy segregacji opierają się na wyznaczaniu wariancji (lub odchylenia standardowego) – rzeczywistej miary rozrzutu wartości badanej cechy w próbkach materiału i teoretycznej, wyznaczanej przy idealnym wymieszaniu (dla

próbek powinna wynosić zero) lub idealnej segregacji, gdy poszczególne składniki zajmują swoje określone położenie (w próbkach występują ziarna tylko jednego typu) [1,4,5,6,7,8].

Najprostszym wskaźnikiem stopnia segregacji S jest stosunek tak określonych odchyleń standardowych (lub wariancji) wybranej cechy w badanym obszarze, czyli

$$S = \frac{\sigma}{\sigma'} \tag{9}$$

gdzie σ' to teoretyczna wartość odchylenia σ w sytuacji, gdy materiał jest idealnie rozsegregowany na określone składniki (typy, klasy, frakcje). Zawsze będzie więc zachodziła relacja $\sigma \leq \sigma'$ i dlatego stopień segregacji $S \in \langle 0,1 \rangle$. Sensowne wydaje się także wprowadzenie wskaźnika uśredniania (homogenizacji) jako różnicy

$$H = 1 - S \tag{10}$$

co pozwala na ocenę uśredniania i homogenizacji w procentach potencjalnych możliwości tych procesów (w zakresie 0% - 100%).

Rzeczywiste odchylenie standardowe można ocenić znanymi wzorami, przy czym istnieją dwie ścieżki oceny:

- z wartością cechy A w próbce, a_i, wiązana jest waga wyrażająca się stosunkiem masy próbki P_i do masy wszystkich próbek P

$$\sigma^2 \approx s^2 = \frac{1}{P} \sum_{i=1}^{n} P_i \left(a_i - \bar{a} \right)^2 \tag{11}$$

gdzie: $\bar{a}$ - wartość średnia cechy A w materiale, czyli

$$\bar{a} = \frac{1}{P} \sum_{i=1} P_i a_i \tag{12}$$

Sensowne jest przyjęcie, że $P_i = const$ i wtedy wagą każdej obserwacji jest odwrotność ich liczebności, czyli $1/n$ - z wartością próbki związana jest waga będąca stosunkiem pola obszaru zajmowanego przez wybrany składnik do całego pola badanego obszaru, czyli

$$\sigma^2 \approx s^2 = \frac{1}{|D|} \sum_{i=1}^{n} |D_i| \left(a_i - \bar{a} \right)^2 \tag{13}$$

gdzie: $|D|$ - pole badanego obszaru; $|D_i|$ - pole obszaru zajmowanego przez składnik; a_i - wartość wybranej cechy materiału w obszarze i-tym. Oznaczając teoretyczne wartości stosunków P_i/P lub $|D_i|/|D|$ przez γ_i mamy

$$\sigma'^2 = \sum_{i=1}^{n} \gamma_i (a_i - m)^2 \tag{14}$$

gdzie: a_i oznacza teoretyczną wartość własności A we frakcji o wychodzie γ_i.

W przypadku dwóch składników otrzymujemy:

$$\sigma'^2 = \gamma_1 (a_1 - \bar{a})^2 + (1-\gamma_1)(a_2 - \bar{a})^2 \tag{15}$$

W pracy [4] przytoczony jest analog tego wzoru w postaci:

$$\sigma'^2 = \frac{(a_{\max} - \bar{a})(\bar{a} - a_{\min})^2 + (\bar{a} - a_{\min})(a_{\max} - \bar{a})^2}{a_{\max}\, a_{\min}} \tag{16}$$

gdzie: $a_{\max}$ - wartość maksymalna (teoretyczna) cechy A w materiale, $a_{\min}$ - wartość minimalna (teoretyczna) cechy A w materiale, $a_{\max} - a_{\min} = R$ - rozstęp badanej cechy.

Po wprowadzeniu układu współrzędnych na płaszczyźnie, w której znajduje się badany obszar zajęty przez materiał, można badać zmiany wartości cech materiału w zależności od położenia punktu, nad którym znajduje się ten materiał.

Przy regularnym układzie punktów próbkowanie pozwala na dokładniejsze badanie zjawiska segregacji. Jeśli przez $a(x,y)$ oznaczymy wartość cechy a w punkcie o współrzędnych (x,y), to można wprowadzić przy zadanych krokach Δx i Δy na osiach układu różnicowe oceny gradientu wartości $a(x,y)$, tzn. [4,5]

$$g_x(x,y) = \frac{a(x+\Delta x, y) - a(x,y)}{\Delta x} \qquad g_y(x,y) = \frac{a(x, y+\Delta y) - a(x,y)}{\Delta y} \tag{17}$$

czyli

$$grad\, a(x_0,y_0) = \lfloor g_x(x_0,y_0), g_y(x_0,y_0) \rfloor \tag{18}$$

Interesującym problemem może być zmiana uśrednienia (segregacji) na wybranym kierunku (wzdłuż pewnej prostej „1"). Jeśli prosta „1" ma jako kierunkowy wektor jednostkowy $[s_1, s_2]$, to pochodną $a(x,y)$ w kierunku prostej „1" określamy wzorem

$$\frac{\partial a(x,y)}{\partial \ell} = \left[\left(\frac{\partial a(x,y)}{\partial x}\right)_{(x_0,y_0)}\right] s_1 + \left[\left(\frac{\partial a(x,y)}{\partial y}\right)_{(x_0,y_0)}\right] s_2 \tag{19}$$

lub inaczej

$$\left(\frac{\partial a(x,y)}{\partial \ell}\right)_{(x_0,y_0)} = \left[grad\, a(x,y)\right]_{(x_0,y_0)} \circ \vec{s}_2 \tag{20}$$

gdzie: $\vec{s} = [\cos\alpha, \cos\beta]$.

Jeśli przyjmiemy, że φ jest kątem między wektorami $\vec{s}$ i $grad\ a(x_0, y_0)$, to

$$\frac{\partial a(x_0, y_0)}{\partial \ell} = |grad\ a\ (x_0, y_0)| \cos\varphi \tag{21}$$

ponieważ $|\vec{s}| = 1$.

Z ostatniej równości wynika, że pochodna kierunkowa $\partial a/\partial l$ ma wartość największą wówczas, gdy półprosta l jest równoległa i zgodnie skierowana z wektorem $grad\ a(x,y)$, a najmniejszą, gdy jest skierowana przeciwnie. Prędkość zmiany w kierunku prostej l to pochodna kierunkowa, gdy $\varphi = 0$ prędkość największa.

Badanie zmiany wartości cechy $a(x,y)$ na wybranym kierunku ma większe znaczenie praktyczne, ponieważ współrzędne gradientu zmieniają się od punktu do punktu co utrudnia interpretację i usystematyzowanie badań.

Istotną sprawą jest zależność wyników badań gradientu i pochodnych kierunkowych od wyboru układu współrzędnych.

Przedstawione wyżej problemy teoretyczne związane z polami losowymi oraz ocenami wskaźnika segregacji zostaną, w pewnym sensie, udokumentowane empirycznie na podstawie przeprowadzonych badań.

3. Analiza wyników badań laboratoryjnych

Aby wyeksponować wpływ wielkości i gęstości ziaren na wyniki opróbowania metodą usypywania stożka i tworzenia z niego placka, użyto do badań mieszaniny kwarcytu i żelazokrzemu w klasie (0,5 ÷ 6,3 mm), przy czym ilości obu materiałów były równe i wynosiły po 9 kg. Skład ziarnowy materiałów tworzących mieszaninę przedstawia tabela 1.

Tabela 1

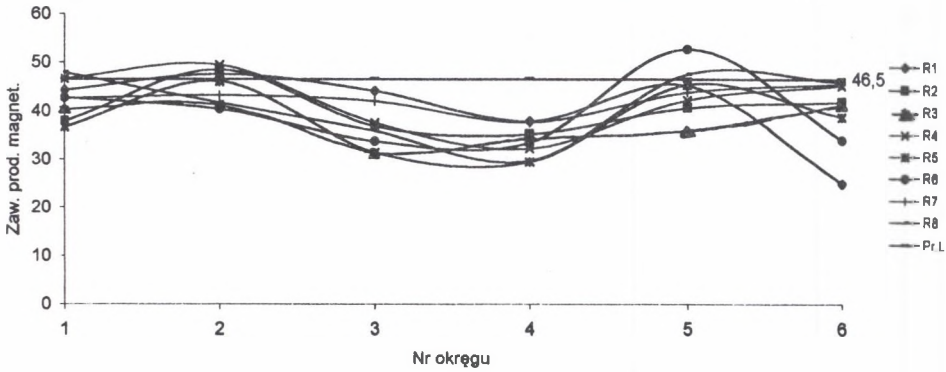
Klasa mm	Wychody klas dla kwarcytu, %	Wychody klas dla żelazokrzemu, %
0,5 – 2,0	20,50	36,50
2,0 – 4,0	25,00	46,50
4,0 – 6,3	54,50	17,00

Oba materiały zostały wymieszane poprzez przesypywanie ich łopatką, a następnie poprzez wypełnienie lejka metalowego (dozownika) i jego opróżnienie usypano stożek. Po rozkręceniu stożka grubość walca (placka) materiału wynosiła 21 mm, a średnica 750 mm. Na

placku wyznaczono 6 okręgów o środku w środku placka (początek układu współrzędnych) i 8 promieni na przecięciach okręgów i promieni i jedną w środku układu współrzędnych). Próbki pobierano walcem o średnicy wewnętrznej 4,4 cm i wysokości 5,7 mm, wybierając cały materiał mieszczący się w walcu.

Każda z otrzymanych próbek została rozdzielona na część magnetyczną i niemagnetyczną i części te zostały rozdzielone na klasy 0,5-2 mm, 2-4 mm oraz 4-6,3 mm. Wyniki tych analiz dla żelazokrzemu przedstawia dla klasy 2-4 mm tabela 1.

Nr okręgu	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
1	44,35	37,92	40,54	46,7	36,73	42,86	42,7	47,89
2	47,52	48,51	41,37	49,45	46,11	40,44	43,32	41,84
3	44,23	36,89	31,58	37,65	31,49	33,88	42,16	35,96
4	37,91	35,35	34,43	32,35	29,49	33,64	37,7	29,79
5	45,31	40,75	36,08	42,4	45,49	52,78	43,95	47,57
6	25	42	41,33	45,31	38,81	34,1	45,61	45,93



Rys.1. Udział produktu niemagnetycznego w próbkach [%] kl. 2-4 mm
Fig.1. Recovery of magnetic product in samples [%] class 2-4

Analiza rozkładów klas frakcji magnetycznej po okręgach prowadzi do wniosku, że najbardziej regularnie rozdziela się klasa środkowa (2 ÷ 4 mm), a klasy skrajne wykazują większe zróżnicowanie rozdziału (rys. 1), przy czym klasa (0,5 ÷ 2 mm) rozkłada się raczej w pobliżu środka placka, a klasa najgrubsza w okolicach środka (pierwszy zasyp z lejka) i brzegu placka (następny zasyp). Zachowanie się materiału niemagnetycznego jest w pewnym sensie

odwrotne, ponieważ udziały obu produktów w mieszaninie wynosiły 50% i obrazem zachowania się materiału niemagnetycznego byłby rysunek będący odbiciem symetrycznym krzywych względem prostej poprowadzonej na wysokości 50%. Zachowanie się poszczególnych klas produktu niemagnetycznego jest bardzo podobne do wyżej opisanego zachowania się klas magnetycznych.

Rozważając zmiany udziałów ziaren magnetycznych i niemagnetycznych po promieniach należy stwierdzić, że tylko dla klasy (2 ÷ 4 mm) wykazują one duże podobieństwo przebiegów. Na okręgach środkowych występują spore rozrzuty zawartości składników magnetycznych i niemagnetycznych, co jest wynikiem rozkręcania stożka.

W celu dokładniejszego scharakteryzowania wyników uzyskanych na poszczególnych okręgach placka wyznaczono ich wartości średnie i odchylenia standardowe, co przedstawia tabela 2 (dla frakcji magnetycznej).

Tabela 2

Nr okręgu	1	2	3	4	5	6
Wartość średnia, %	61,37	58,29	43,77	29,42	40,41	45,20
Odchylenie standardowe %	1,24	2,36	11,21	5,49	5,84	10,16

Jak widać, materiał magnetyczny koncentruje się, przede wszystkim, na okręgach zewnętrznych i ich sąsiadach. Największy rozrzut wyników występuje na okręgach trzecim i szóstym, co potwierdzają rysunki. Sugeruje to także nieregularny rozrzut wyników na poszczególnych promieniach (nieuporządkowanie wyników).

Uporządkowanie wyników na promieniach postanowiono zbadać wyznaczając wartości współczynników korelacji liniowej dla par okręgów. Było to badanie polegające na ustaleniu, czy wzrostowi wyniku na wybranym promieniu (ponad pewną wartość) odpowiada wzrost wyniku na promieniach sąsiednich (też ponad charakterystyczną dla niego wartość). Wykaz współczynników przedstawia tabela 3.

Tabela 3

Nr okręgów	2	3	4	5	6
1	0,6052	0,5398	-0,0900	-0,0159	-0,6842
2		0,6042	-0,1323	-0,1718	-0,3494
3			-0,4072	-0,4047	-0,6644
4				0,2761	0,5398
5					0,5460

Tylko współczynniki, których bezwzględna wartość przekracza 0,6, można uznać za istotne statystycznie. Oznacza to, na tych okręgach, dla których współczynniki przekraczają tę wartość, zasadnicze „przemieszanie" (przy znaku -) wyników (liczonych po promieniach) lub zachowanie lokalizacji (przy znaku +). Znaki „ - " dotyczą pierścieni zewnętrznych, a znaki „ + "wewnętrznych. Jest to wynik rozkręcania stożka, czyli mówiąc prościej, innych zasad przemieszczania po okręgach wewnętrznych i zewnętrznych (zmiana docisku listwy, jej nierówność itp.). Zgodnie z teorią pól losowych stacjonarnych izotropowych, funkcja korelacji $R(x,y)$ powinna mieć postać typu

$$R(x,y) = e^{-k|\bar{s}|} \tag{22}$$

czyli przy naszym wyborze układu współrzędnych, wraz z odległością od początku układu współrzędnych, jej wartości powinny maleć (wraz z rosnącą normą wektora s). Otrzymany układ współczynników przeczy temu założeniu. Okazuje się więc, że uzyskiwane przez usypywanie stożka i rozkręcanie rozłożenie materiału uziarnionego o różnych wielkościach i gęstościach nie może być opisywane jako pola stacjonarne i izotropowe.

Potwierdza się więc zasada zalecająca kwartowanie i dalsze jego pomniejszanie. Uzyskiwane tą drogą wartości średnie cech, przy starannym rozkręcaniu i kwartowaniu, będą reprezentatywne dla opróbowywanego materiału.

Po przeprowadzeniu doświadczenia z usypywaniem i rozkręcaniem stożka postanowiono zasymulować w warunkach laboratoryjnych załadunek wagonu i przeanalizować sposoby opróbowania takiego wagonu.

W pierwszym doświadczeniu wymieszano kwarcyt z żelazokrzemem (klasy (0,5-6,3 mm)), przy czym objętości obu składników były równe i wynosiły po 2,5 dm^3. Materiały zostały wymieszane łopatką i rozdzielone aparatem Jonesa na dwie części. Każda z części została wsypana do lejka zasypowego. Usypano z nich dwa stożki obok siebie w metalowej formie będącej modelem skrzyni załadowczej wagonu. Po ugnieceniu materiału do grubości około 35 mm pobrano 15 próbek wg schematu przedstawionego na rysunku, zgodnym z zaleceniami normy [2]. Próbki pobierano walcem opisanym wcześniej. Każda z otrzymanych próbek została rozdzielona na część magnetyczną i niemagnetyczną, potem każda z nich na klasy (0,5÷2 mm), (2÷4 mm) oraz (4÷6,3 mm).

.1	.4	.7	.10	.13
.2	.5	.8	.11	.14
.3	.6	.9	.12	.15

Analogicznie zostało przeprowadzone doświadczenie drugie, przy czym jako materiału wyjściowego użyto kwarcytu i żelazokrzemu w równych ilościach wagowych po 6 kg.

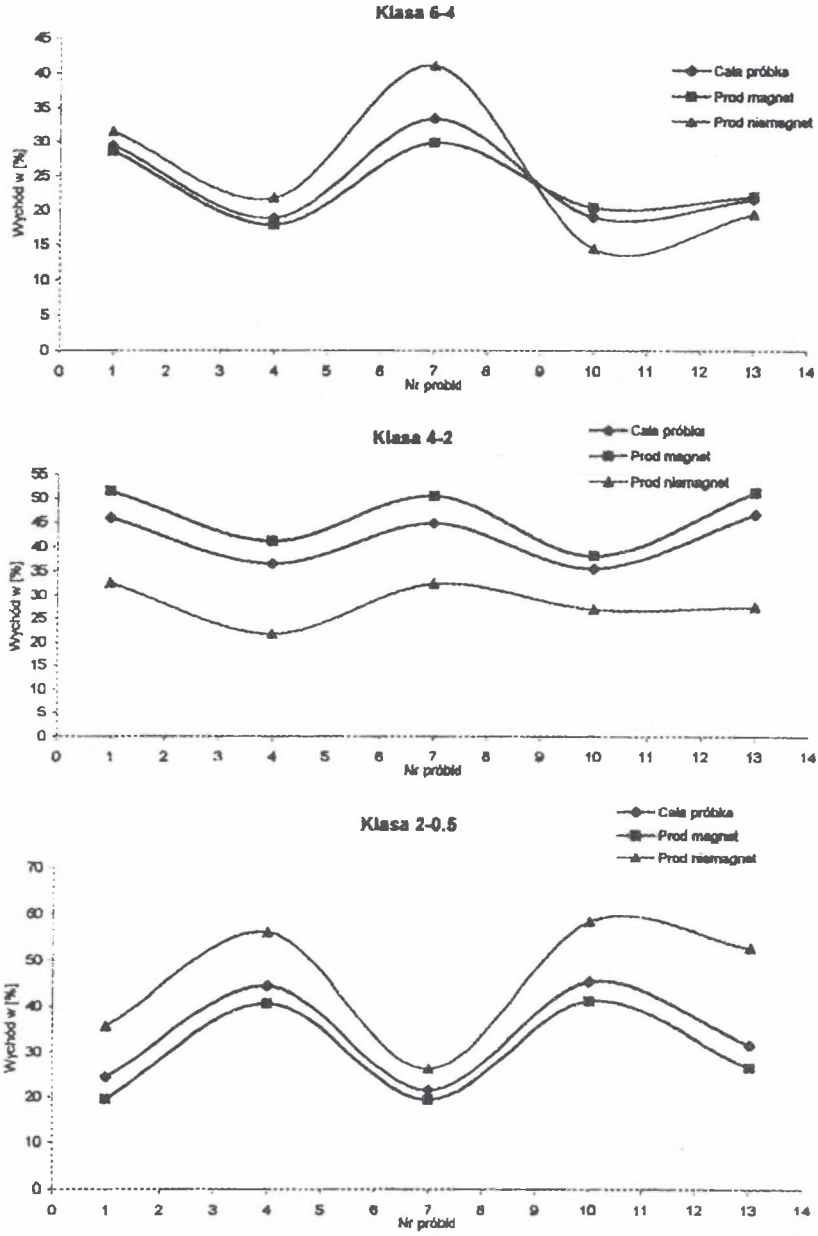
Analizując zmienność wychodów klas w poszczególnych punktach opróbowania można stwierdzić, że występujące różnice są efektem nałożenia się (lub nie) rozłożenia tych klas w pojedynczym stożku. Próbki o numerach 7, 8 i 9 są próbkami, gdzie spotkały się brzegi obu stożków i dlatego wyraźnie są podniesione wartości wychodów klasy najgrubszej (4÷6 mm) i obniżone wartości klasy najdrobniejszej (0,5÷2 mm). Klasa pośrednia (2÷4 mm) zachowuje się w sposób najbardziej regularny, co jest zgodne z wcześniejszymi obserwacjami dotyczącymi rozkładu tej klasy w pojedynczym stożku. Różnice w przebiegu zmienności wychodów klas w punktach opróbowania dla przypadku mieszanin równoobjętościowych i równomasowych są praktycznie nieistotne, przy czym dla mieszaniny równomasowej punkty 7, 8, 9 wyróżniają się silniej, co może wskazywać na to, że segregacja po wielkości ziaren w stożkach jest wyraźniejsza.

W celu dokładniejszego zbadania rozkładów części magnetycznej i niemagnetycznej oraz klas materiału wykreślono rysunki (przykładowy rys. 2).

Okazało się, że największe wahania udziałów części magnetycznej występują na liniach skrajnych, przy czym przebiegi tych zmian są zbliżone. Na linii centralnej wahania są najmniejsze ze znanym podwyższeniem wartości w środkowej próbce. Wahania dla doświadczenia z równym udziałem mas dają znaczniejsze różnice w próbkach, co oznacza, że przy mniejszym wagowo udziale ziaren magnetycznych ich rozsegregowanie zachodzi łatwiej.

Takie wyniki rozkładu frakcji magnetycznej w obszarze opróbowywanym stawiają problem właściwego opróbowania wagonu metodą próbek punktowych: które próbki mogą dać reprezentatywną odpowiedź odnośnie do średniej zawartości składnika wyróżniającego się dodatnio gęstością.

Układ punktów, z których pobiera się próbki, zalecany przez normę jest zgodny z układem punktów stosowanym w przedstawionych badaniach. Wcześniejsze rezultaty rozkładu frakcji magnetycznej po liniach poziomych czy pionowych wykluczają uznanie średnich dla linii jako reprezentatywne dla całego materiału w wagonie.



Rys. 2. Zmiany udziału części magnetycznej i niemagnetycznej w wykonanych próbkach (dośw. 1)
Fig. 2. Changes of magnetic and nonmagnetic products in samples

LITERATURA

1. Haff P.K. and Werner B.T.: Computer Simulation of the Mechanical Sorting of Grains, Powder Technology, 48(1986) 239-245.
2. Polska Norma PN-80/G-04502 Wegiel kamienny i brunatny - Próbki produkcyjne. Pobieranie, przygotowanie i sprawdzanie dokładności.
3. Szczepankiewicz E.: Zastosowanie pól losowych. PWN, Warszawa 1985.
4. Sztaba K.: Stopien segregacji jako podstawa oceny skutecznosci technologicznej procesów przeróbki kopalin i jakosci jej produktów. Fizykochemiczne Problemy Mineralurgii, 32(1998), 57-68.
5. Sztaba K.: Segregation of grained material - conditions and possibilities of evaluation. Proceedings of the XVIII International Mineral Processing Congress, Sydney 1993, 505-509.
6. Szupow L.P.: Matiematiczeskije modieli usriednienija. Izd. Niedra, Moskwa 1978.
7. Tumidajski T.: Stochastyczna analiza wlasności materialów uziarnionych i procesów ich rozdzialu. Rozprawy i Monografie, nr 57, Wyd. AGH, Kraków 1997.
8. Zarajskij W.N., Nikolajew K.P., Kazanskij K.W.: Usrednienije rud. Izd. Niedra, Moskwa 1975.

Artykuł jest wynikiem realizacji projektu badawczego KBN nr 9 T12A 015 14

Abstract

Grained materials, transported and/or stapled undergo the influence of averaging and separation. It must be took into account in analyses of the representativeness of samples from such materials. Trials of the characterisation of those phenomena using the theory of random fields and multidimensional functions were made in the paper. The directional derivative and the gradient were applied in the analysing of changes of material properties. Basing on laboratory investigations it may be prowed that analysed fields are not izotropic and stationary (for grained material cakes and volumes of carriages).

Results of mentioned above investigations confirmed the methodology of stapled material sampling which is determined in norms.