

Jerzy MARTYNIAK

MOŻLIWOŚCI OKREŚLENIA DOKŁADNOŚCI METODY OZNACZANIA
ZAWARTOŚCI PIASKU W WĘGLU ZA POMOCĄ
POMIARÓW WAGOWYCH I WARUNKI ICH PRZEPROWADZANIA

Streszczenie. Dokładność wyniku oznaczania zawartości piasku w węglu za pomocą ważenia porcji węgla z piaskiem, mających określoną objętość, zależy od szeregu czynników. Jedne mogą być kompensowane wyłącznie powiększaniem liczby pomiarów, inne zaś można ograniczyć i eliminować, wprowadzając najkorzystniejsze warunki dokonywania pomiarów. Przedstawiono możliwości określenia dokładności, którą zapewnia stosowanie metody pomiarów wagowych przy zachowaniu właściwych warunków ich przeprowadzania.

1. Wstęp

Oznaczanie zawartości piasku w węglu - metodą polegającą na ważeniu porcji tej mieszaniny, mających stałą objętość - jest bardzo łatwe w praktycznym zastosowaniu. Teoretyczne podstawy metody przedstawiłem w pracach [3 i 4], które jednakże nie wyjaśniły całokształtu zagadnienia dokładności, charakteryzującej wyniki oznaczania wykonanego zgodnie z teoretycznymi przesłankami.

W ogólnych zarysach - rozważana metoda oznaczania wymaga uprzedniego laboratoryjnego wyznaczenia stałych liczbowych teoretycznej funkcji, którymi są masy jednostkowych objętości węgla oraz piasku. Zależnie od lokalnych warunków stałe te mogą się różnić liczbowo, a więc ich użycie jest ograniczone do określonych miejsc.

Na dokładność wyniku oznaczania, który reprezentuje pewną partię węgla, zasadniczo wpływ mają:

- a) dokładność opróbowania, tj. stopień przybliżenia średnich właściwości partii przez właściwości próbki,
- b) dokładność pomiaru masy jednostkowej porcji (objętości) badanego węgla, umieszczonego w naczyniu pomiarowym,
- c) stopień przybliżenia kształtu faktycznie występującej zależności, osiągnąony przy wykorzystaniu teoretycznego wzoru.

Ostatecznym celem, do którego zmierza praca, jest określenie praktycznego znaczenia odchylek wynikających z przypadków b) i c). Najpierw trzeba jednak sprecyzować drogi wiodące do tego celu, w szczególności zaś określić warunki najkorzystniejszego przebiegu pomiarów oraz zwrócić uwagę

na kształtowanie się powtarzalności otrzymanywnych wyników oznaczania. W tej fazie badań należy wyeliminować ewentualny wpływ dużej różnicy w uziarnieniu węgla i piasku, dlatego też warunki pomiarów analizowano, posługując się węglem o wielkości ziarn 3 - 0 mm i piaskiem podsadzkowym, którego wielkość ziarn nie przekraczała 2 mm.

2. Możliwości oceny dokładności metody

Oznaczanie zawartości piasku w węglu przy zastosowaniu metody ważenia polega na:

- a) zważeniu określonej objętości porcji materiału wziętego z próbki badanego węgla,
- b) obliczeniu procentowej zawartości piasku w węglu za pomocą wzoru wprowadzonego w pracy [4], w którym dla ułatwienia dalszych rozważań wprowadza się uproszczoną symbolikę.

Zawartość piasku w węglu (z) jest równa

$$z = 100 \frac{(m - A)B}{m(B - A)} \% \quad (1)$$

przy czym:

m - masa porcji węgla z piaskiem o objętości v ,

A - masa porcji węgla o objętości v ,

B - masa porcji piasku o objętości v .

Stałe A i B wyznacza się doświadczalnie przez wagowe pomiary mas przyjątej objętości porcji węgla oraz piasku. Dlatego też ich wartości liczbowe są przybliżone. Wobec tego i obliczanie wartości z jest także przybliżone, w stopniu zależnym od stopnia przybliżenia stałych, nawet przy założeniu, że masa m została oznaczona w sposób idealny, co w praktyce nie zachodzi. Z tej racji dokładność obliczonej wartości z jest funkcją dokładności określenia tych trzech wartości, branych do obliczeń. Odchylenia występujące przy oznaczaniu mas porcji materiału sypkiego są głównie natury losowej. Jedne z nich pochodzą od uchybów powstających bezpośrednio podczas ważenia, inne wynikają z wahań ciężaru nasypowego składników ważonej mieszaniny, a jeszcze inne mają swoje źródło w powstawaniu lokalnych różnic od średniej proporcji węgla i piasku. Wyniki pomiarów wagowych są obciążone łącznym efektem wspomnianych przyczyn. W konkluzji obliczone wartości z charakteryzują się losowymi fluktuacjami, których wielkość zależy od rozmiaru przypadkowych niedokładności, którymi cechują się dane brane do obliczeń. Przesunięcia te idą dwukierunkowe względem przyjętego punktu odniesienia.

Jeżeli teoretyczny wzór wyrażałby za mało precyzyjnie faktycznie zachodzącą zależność między masą jednostkowej objętości mieszaniny węgla i piasku oraz procentową zawartością w niej piasku, należy się liczyć z dodatkowymi jednokierunkowymi przesunięciami, a więc z odchyleniami systematycznymi.

oznymi. Mogą one być szukane dopiero po uprzednim określeniu odchyień przypadkowych.

Najlepszą ocenę wahań zmiennych losowych Z_0 , występujących w poszczególnych punktach z_0 , leżących w przedziale zmienności z ($0 \leq z \leq 100$), można otrzymać poprzez analizę statystycznego rozkładu wartości $(z_1)_0$ w oparciu o teorię zmiennych losowych. Wartości $(z_1)_0$ odpowiadające różnym punktom z_0 wynikają ze wzoru (1), uogólnionego przy założeniu, że poszczególne wielkości składowe są zmiennymi losowymi:

$$(z_1)_0 = (z_{jkl})_0 = \frac{/(m_1)_0 - A_j/B_k}{(m_1)_0 (B_k - A_j)}, \quad (2)$$

w którym:

- i - liczba porządkowa poszczególnej wartości z w ich zbiorze odpowiadającym punktowi z_0 ,
- j - liczba porządkowa pomiaru wagowego masy A,
- k - liczba porządkowa pomiaru wagowego masy B,
- l - liczba porządkowa pomiaru wagowego masy m_0 , tj. masy porcji badanego węgla o zawartości piasku z_0 .

Prawdopodobieństwo realizacji pojedynczej wartości $(z_{jkl})_0$ wynosi

$$P/(z_{jkl})_0/ = \frac{1}{n_1 n_2 n_3}, \quad (3)$$

gdzie:

- n_1 - liczba pomiarów wagowych masy A,
- n_2 - liczba pomiarów wagowych masy B,
- n_3 - liczba pomiarów wagowych masy m_0 .

Jeżeli ciągi pomiarów obejmujące

- n_1 pomiarów masy A,
- n_2 pomiarów masy B,
- n_3 pomiarów masy m_0 ,

dają odpowiednio

- q_1 ($q_1 \leq n_1$) różnych mas w zbiorze A_j ,
- q_2 ($q_2 \leq n_2$) różnych mas w zbiorze B_k ,
- q_3 ($q_3 \leq n_3$) różnych mas w zbiorze $(m_1)_0$,

wygodniej jest obliczać wartości

$$(z_{tuvw})_0 = \frac{/(m_w)_0 - A_t/B_u}{(m_w)_0 (B_u - A_t)}, \quad (4)$$

przy czym:

- t - liczba porządkowa kolejnych różniących się od siebie mas A_j ,
- u - liczba porządkowa kolejnych różniących się od siebie mas B_k ,
- w - liczba porządkowa kolejnych różniących się od siebie mas $(m_1)_0$.

Liczba wszystkich wartości $(z_{tuvw})_0$ jest równa iloczynowi q_1, q_2, q_3 , a więc mniejsza lub co najwyżej równa liczbie wartości $(z_{jki})_0$. Prawdopodobieństwo realizacji wartości $(z_{tuvw})_0$ wyraża następujący wzór:

$$P/(z_{tuvw})_0/ = \frac{n_t n_u n_w}{n_1 n_2 n_3}, \quad (5)$$

w którym:

- n_t - liczba pomiarów dających kolejną różniącą się od innych wartość $(A_j)_t$,
- n_u - liczba pomiarów dających kolejną różniącą się od innych wartość $(B_k)_u$,
- n_w - liczba pomiarów dających kolejną różniącą się od innych wartość $(m_1)_0/w$.

Przypadkowe odchylenia zmiennej z można też oceniać na innej drodze, posługując się teorią błędów. Wyznacza się wówczas tzw. "średni kwadratowy błąd przypadkowy", który jest odpowiednikiem odchylenia średniego - zdefiniowanego w teorii zmiennych losowych. Jeżeli znajduje się średni błąd s_z wielkości, będącej funkcją m wartości liczbowych x_i , obciążonych średnimi błędami $s_1 \dots s_m$, należy posłużyć się przybliżonym wzorem

$$s_z = \sqrt{\sum_i \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 s_i^2}, \quad (6)$$

który np. podają R.S. Guter, B.W. Owożyński [1] (s. 120) lub H. Hansel [2] (s. 33). Przy jego zastosowaniu powinno być spełnione założenie, że zmienne losowe X_i mają rozkłady zbliżone do normalnego.

Gdy rozważa się teoretyczną funkcję (1), biorąc pod uwagę obliczenia na podstawie pojedynczych pomiarów wagowych, występujących w niej wielkości, wzór wyrażający średni błąd $(s_z)_0$ w punkcie z_0 przybiera następującą konkretną postać

$$(s_z)_0 = 100 \cdot \frac{\sqrt{B^2 A^2 (B-A)^2 (s_m)_0^2 + B^2 m_0^2 (m_0 - B)^2 s_A^2 + A^2 m_0^2 (m_0 - A)^2 s_B^2}}{m_0^2 (B-A)^2}, \quad (7)$$

gdzie:

- A - średnia masa obliczona ze zbioru pomiarów A_j ,
- B - średnia masa obliczona ze zbioru pomiarów B_k ,
- m_0 - średnia masa obliczona ze zbioru pomiarów $(m_1)_0$,
- s_A^2 - wariancja pojedynczych pomiarów ze zbioru A_j ,
- s_B^2 - wariancja pojedynczych pomiarów ze zbioru B_k ,
- $(s_m)_0$ - wariancja pojedynczych pomiarów ze zbioru $(m_1)_0$.

Ocena przypadkowych niedokładności, obciążających wartości z , czy to według teorii zmiennych losowych, czy to w oparciu o teorię błędów, wyma-

ga zatem wykonania serii pomiarów następujących mas: A, B i m_0 , przy czym w drugim przypadku wystarczy tylko oszacowanie wariancji, odpowiadających poszczególnym seriom pomiarowym.

3. Badania warunków dokonywania pomiarów wagowych

Badania wstępne miały na celu określenie:

- odpowiedniej masy próbki (porcji) do jednorazowego ważenia,
- należytego sposobu przygotowania próbki przed ważeniem,

Dla rozwiązania tych zagadnień przyjąłem metodykę badań, która polegała na:

- a) przygotowaniu trzech produktów w stanie powietrzno-suchym, a mianowicie
 - surowego węgla o uziarnieniu 3 - 0 mm, wydzielonego z urobku kopalnianego,
 - mieszaniny tego węgla z piaskiem, którego zawartość wynosiła 1%,
 - analogicznej mieszaniny, przy czym zawartość piasku wynosiła 3%,
- b) przygotowaniu szklanych cylindrów miarowych o pojemnościach 500, 750, 1000, 1500 i 2000 ml przez obcięcie ich górnych części na wysokości kołca podziałki mierniczej,
- c) wykonaniu w różnych dniach o odmiennych warunkach atmosferycznych w każdym z cylindrów 10-pomiarowych serii mas porcji pochodzących z poszczególnych produktów.

Stanowisko badawcze było wyposażone w wagę techniczną o dokładności ważenia $\pm 0,1$ g oraz szeroki lejek osadzony na statywie.

Próbki umieszczano w cylindrach porcjami nasypywanymi przez lejek. Pobierano je z różnych miejsc badanego produktu. Wielkość porcji była tak dobrana, aby 10 porcji napełniło naczynie pomiarowe z niewielkim nadmiarem. Nadmiar ten usuwano, zgarniając go równo z górną krawędzią naczynia.

Wyniki wyjściowych badań są zamieszczone w tablicach 1, 2 i 3.

Tablica 1

Wpływ pojemności naczynia pomiarowego na statystyczne parametry serii pomiarowych mas węgla w stanie powietrzno-suchym bez piasku podsadzkowego

Pojemność naczynia pomiarowego ml	Średnia masa próbki g	Wariancja masy próbki	Odchylenie średnie masy próbki g
500	419,15	0,56	0,75
750	679,45	1,025	1,00
1000	823,15	0,89	0,94
1500	1277,5	2,44	1,56
2000	1696,8	2,62	1,62

Tablica 2

Wpływ pojemności naczynia pomiarowego na statystyczne parametry serii pomiarowych mas węgla w stanie powietrzno-suchym z dodatkiem 1% piasku podszadzkowego

Pojemność naczynia pomiarowego ml	Średnia masa próbki g	Wariancja masy próbki	Odchylenie średnie masy próbki g
500	422,40	11,16	3,34
750	682,40	17,38	4,17
1000	838,00	94,89	9,74
1500	1291,1	45,66	6,76
2000	1673,9	41,88	6,47

Tablica 3

Wpływ pojemności naczynia pomiarowego na statystyczne parametry serii pomiarowych mas węgla w stanie powietrzno-suchym z dodatkiem 2% piasku podszadzkowego

Pojemność naczynia pomiarowego ml	Średnia masa próbki g	Wariancja masy próbki	Odchylenie średnie masy próbki g
500	418,80	57,29	7,57
750	673,50	1,61	1,27
1000	826,70	9,79	3,13
1500	1267,8	36,00	6,00
2000	1681,8	24,84	4,98

Na podstawie tablicy 1, 2 i 3 sporządzono zestawienia:

- średnich wartości odchyleń średnich dla poszczególnych mieszanek oraz różnych pojemności naczyń pomiarowych - w tablicy 4,
- średnich mas porcji przygotowanych mieszanek w zależności od różnych pojemności naczyń pomiarowych - w tablicy 5.

Tablica 4

Wpływ pojemności naczynia pomiarowego na odchylenia średnie pomiarów wagowych z uwzględnieniem rezultatów otrzymanych przy różnych zawartościach piasku podszadzkowego w węglu

Pojemność naczynia pomiarowego ml	500	750	1000	1500	2000
Średnia wartość odchylenia średniego z odchyleń przy różnych zawartościach piasku, g	3,89	2,15	4,60	4,77	4,36

Tablica 5

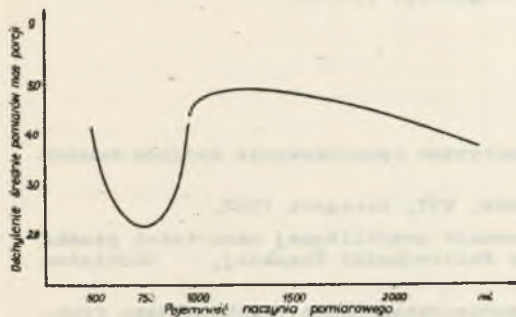
Zależność średnich mas porcji węgla w stanie powietrzno-suchym od zawartości piasku podsadzkowego i pojemności naczyń pomiarowych

Zawartość piasku w węglu %	Średnie masy porcji (g) w naczyniach pomiarowych o pojemnościach				
	500	750	1000	1500	2000
0	419,15	679,45	823,15	1277,5	1696,8
1	422,40	682,40	838,00	1291,1	1673,9
2	418,80	673,50	826,70	1267,8	1681,8

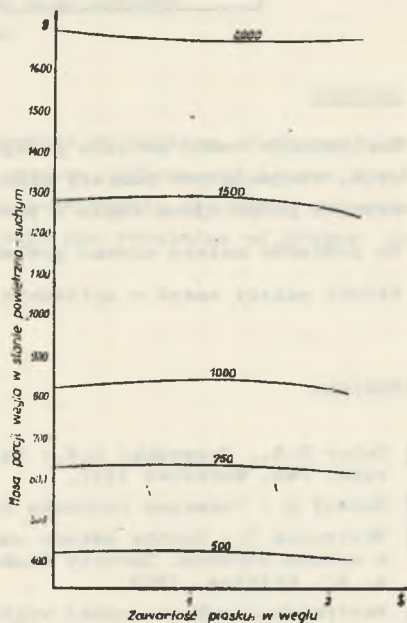
Dane te zilustrowano rysunkami 1 i 2. Uzyskane rezultaty skłaniają do wyciągnięcia następujących wniosków:

1^o odchylenie średnie mas porcji wykazuje zależność od pojemności naczynia pomiarowego i jest najmniejsze przy pojemności 750 ml,

2^o stan powietrzno-suchy próbek nie gwarantuje uzyskania wystarczającej powtarzalności pomiarów.



Rys. 1. Zależność odchylenia średniego pomiarów mas porcji umieszczonych w naczyniu pomiarowym od jego pojemności



Rys. 2. Zależność masy porcji węgla zmieszanego z piaskiem będących w stanie powietrzno-suchym od zawartości piasku

Pierwszy z nich jest dość nieoczekiwany, lecz wyjaśnienie tej kwestii wymaga specjalnych badań. Okazuje się, że w przypadku zastosowanej metody nasypywania węgla do naczyń najlepszą powtarzalność pomiarów wagowych, czyli najkorzystniejsze warunki, daje naczynie o pojemności 750 ml.

W następnym etapie badań do pomiarów używano tylko takiego naczynia, a próbki materiałów wzorcowych suszono przed pomiarami do stanu suchego. Pozostałe czynności były analogiczne jak poprzednio. Średnie masy porcji poszczególnych mieszanek węgla z piaskiem oraz samego węgla zawiera tablica 6. Wykazuje ona możliwość kontynuacji badań, jeżeli przed pomiarami wagowymi węgiel będzie suszony do stanu suchego.

Tablica 6

Zależność średnich mas porcji węgla w stanie suchym od zawartości piasku podsadzkowego przy pojemności naczynia pomiarowego równej 750 ml

Zawartość piasku w węglu %	Średnie masy porcji g
0	668,1
1	671,9
2	674,5

4. Wnioski

1. Kontynuacja badań powinna polegać na wykonaniu szeregu serii pomiarowych, obejmujących pomiary stałych A i B funkcji (1) oraz mas m_0 przy różnych proporcjach węgla i piasku.
2. Do pomiarów należy używać próbek w stanie suchym.
3. Próbkę należy ważyć w cylindrze o objętości 750 ml.

LITERATURA

- [1] Guter R.S., Owczyński B.W.: Matematyczne opracowywanie wyników doświadczeń, PWN, Warszawa 1967.
- [2] Hansel H.: Podstawy rachunku błędów, WNT, Warszawa 1968.
- [3] Martyniak J.: Szybka metoda oznaczania przybliżonej zawartości piasku w urobku surowym, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Górnictwo z. 41, Gliwice, 1969.
- [4] Martyniak J.: Masa próbki węgla zanieczyszczonego piaskiem jako funkcja procentowej ilości piasku, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Górnictwo z. 52, Gliwice 1972.

ВОЗМОЖНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОЧНОСТИ МЕТОДА ОБОЗНАЧЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ПЕСКА
В УГЛЕ ПРИ ПОМОЩИ ВЕСОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ И УСЛОВИЯ ИХ ПРОИЗВЕДЕНИЯ

Р е з ю м е

Точность результата определения содержания песка в угле при помощи взвешивания дозы угля с песком, имеющую определённый объём, зависит от ряда факторов. Одни могут компенсироваться исключительно увеличением числа измерений, другие можно ограничивать и пренебрегать, вводя самые выгодные условия произведения измерений. Рассматриваются возможности определения точности, которая обеспечивает применение метода весовых измерений при сохранении свойственных условий их проведения.

POSSIBILITIES OF DETERMINING ACCURACY OF SAND CONTENT
DETERMINATION METHOD IN COAL BY WEIGHING

S u m m a r y

Accuracy of the method depends on a number of factors. Some may be compensated by increasing the measurements number, others may become limited by introducing more favourable measuring conditions. Accuracy determination possibilities have been presented with the retaining of proper procedure conditions.