

Wacław GÓRNY, Czesław MIRKOWSKI

PWP „WILPO” Sp. z o. o.

LABORATORYJNE ANALIZATORY WĘGLA WILPO L 131/L132/L142

Streszczenie. Sterowanie „on line” jest podstawą sterowania procesu technologicznego w zakładzie przeróbczym węgla. W artykule przedstawiono konstrukcję i warunki eksploatacji analizatorów.

THE LABORATORY COAL ANALIZERS WILPO L 131/L132/L142

Summary. The „on line” control is the base of steering of technological processes in coal preparation plants. In the article, the construction and exploitation of analyzers is prosecuted.

1. Wstęp

Sterowanie procesami technologicznymi w zakładach przeróbczych kopalń, elektrowniach i ciepłownictwie wymaga stosowania szybkich metod i urządzeń pomiarowych do pomiaru i kontroli parametrów jakościowych węgla, takich jak: zawartość popiołu A^r , zawartość wilgoci W_t^r , wartość opałowa Q_t^r i zawartość siarki S_t^r . Potrzeba takich urządzeń występuje także w praktycznej realizacji handlu węglem. Tu szybka ocena parametrów jakościowych węgla decyduje o uzyskaniu optymalnej ceny zbytu, dostarczeniu odbiorcy węgla o wymaganej jakości oraz szybkiej realizacji załadunku, ukierunkowanego transportu i rozładunku węgla. Temu zapotrzebowaniu na wyżej wymienione urządzenia wyszło naprzeciw Przedsiębiorstwo Wdrożeń Przemysłowych „WILPO” w Katowicach, które opracowało i wdrożyło do produkcji urządzenia kontrolno-pomiarowe zwane analizatorami WILPO L 131, WILPO L 132 i WILPO L 142. Pierwsze dwa z wymienionych typów analizatorów pozwalają oznaczać zawartość popiołu i wilgoci w węglu oraz obliczać jego wartość opałową. Natomiast analizator WILPO L 142 umożliwia dodatkowo wykonywanie zgrubnej oceny zawartości siarki w węglu. Do chwili obecnej wyprodukowano i wprowadzono do eksploatacji przemysłowej ponad pięćdziesiąt ana-

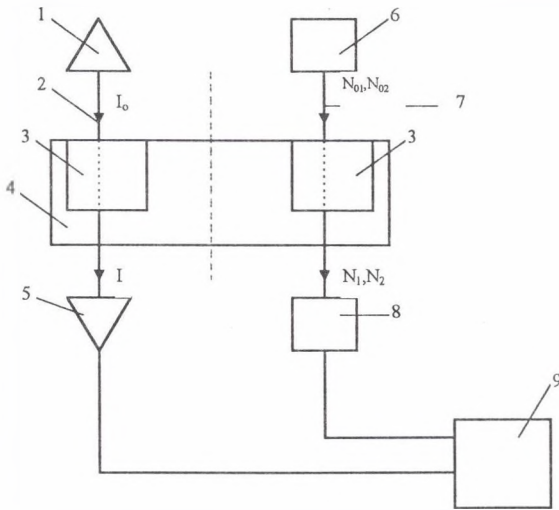
lizatorów. Pracują one w większości kopalń węgla kamiennego w Polsce, a ponadto w jednej z kopalń węgla brunatnego i niektórych elektrowniach. Jeden analizator został wyeksportowany do Republiki Południowej Afryki. Pięć analizatorów pracuje w Republice Czech. Aktualnie jeden analizator jest instalowany w Hiszpanii. Jeśli dodać do tego zainteresowanie analizatorami kontrahentów z Chin i Ukrainy, to można założyć, że analizatory produkcji PWP WILPO mogą stać się w niedługim okresie czasu powszechnie stosowanymi w laboratoriach kontroli jakości węgla.

2. Budowa analizatora - metody pomiaru

Budowa i zasada działania analizatora opiera się na zastosowaniu dwóch transmisyjnych metod pomiarowych: radiometrycznej i mikrofalowej. W związku z tym analizator zawiera dwa tory pomiarowe, operujące na tej samej próbce węgla i w tym samym czasie (cyklu pomiarowym) :

- tor radiometryczny pomiaru zawartości popiołu, masy próbki i zawartości siarki (tylko WILPO L 142),
 - tor mikrofalowy pomiaru masy wody w próbce węgla decydującej o zawartości wilgoci.
- Tory te są sprzężone układem elektroniczno-komputerowym, który realizuje pomiary i przetwarza dane. W torze radiometrycznym zasadniczymi elementami są:
- źródło przetwornikowe promieniowania jonizującego oparte na izotopie Am-241 (jako źródło promieniowania pierwotnego gamma) i zawiera target dający dwie składowe promieniowania wtórne o energiach kwantów około 25 keV (promieniowanie X) i około 52 keV (promieniowanie γ rozproszone),
 - detektor promieniowania w postaci spektrometrycznej sondy scyntylicyjnej z kryształem NaI(Tl) i specjalnie dobranym fotopowielaczem EMI.

W torze mikrofalowym zastosowano przetwornik mikrofalowy wyposażony w głowicę generacyjną, emitującą promieniowanie mikrofalowe o częstotliwości $f = 9,35$ GHz i mocy około $P = 200$ mW, układ falowodów i anten nadawczo-odbiorczych oraz głowicę detekcyjną z diodą Schottkiego. Uproszczony schemat analizatora pokazano na rys. 1.



Rys. 1. Uproszczony schemat analizatora

- 1 i 5 - anteny - nadawcza i odbiorcza promieniowania mikrofalowego.
- 2 - wiązka promieniowania mikrofalowego.
- 3 - próbka węgla.
- 4 - obrotowe naczynie pomiarowe (cylindryczne).
- 6 - źródło przetwornikowe promieniowania X i γ .
- 7 - wiązka promieniowania X i γ .
- 8 - detektor promieniowania jonizującego.
- 9 - blok elektroniczno-komputerowy.

Fig. 1. The simplified scheme of analyzer

Teoretyczne podstawy sposobu pomiaru zawartości popiołu, realizowanego w torze radiometrycznym, ujęte w sposób możliwie uproszczony, przedstawiają się następująco; Próbkę węgla prześwietla się wiązką promieniowania jonizującego, zawierającą dwie składowe o różnych energiach kwantów, i w ustalonym czasie wykonuje się spektrometryczny pomiar osłabienia tej wiązki. Osłabienie poszczególnych składowych promieniowania jonizującego można opisać równaniami :

$$N_1 = N_{01} e^{-\mu_1 \rho d} \quad (1)$$

$$N_2 = N_{02} e^{-\mu_2 \rho d} \quad (2)$$

gdzie :

N_1, N_2 - liczby zliczeń impulsów dla składowych o niższej i wyższej energii kwantów po osłabieniu wiązki,

N_{01}, N_{02} - liczby zliczeń impulsów bez obecności próbki węgla,

μ_1, μ_2 - masowe współczynniki osłabienia promieniowania w węglu dla promieniowania o niższej i wyższej energii kwantów,
 ρ, d - gęstość i grubość próbki węgla.

Z równań (1) i (2) otrzymujemy :

$$\mu_1 = \frac{\ln \frac{N_{01}}{N_1}}{\rho d} \quad (3)$$

$$\mu_2 = \frac{\ln \frac{N_{02}}{N_2}}{\rho d} \quad (4)$$

W przypadku pomiarów węgla zawilgoconego każdy ze współczynników osłabienia promieniowania można wyrazić w postaci wzorów :

$$\mu_1 = 0,01A^r(\mu_{p1}-\mu_{01}) + 0,01 W_t^r (\mu_{w1}-\mu_{01}) + \mu_{01} \quad (5)$$

$$\mu_2 = 0,01A^r(\mu_{p2}-\mu_{02}) + 0,01 W_t^r (\mu_{w2}-\mu_{02}) + \mu_{02} \quad (6)$$

gdzie :

A^r - zawartość popiołu w stanie roboczym,

W_t^r - zawartość wilgoci całkowitej w stanie roboczym,

$\mu_{p1}, \mu_{01}, \mu_{w1}$ - masowe współczynniki osłabienia promieniowania w popiele, w substancji organicznej i w wodzie dla składowej promieniowania o niższej energii kwantów ($E_1 = 25\text{keV}$).

$\mu_{p2}, \mu_{02}, \mu_{w2}$ - masowe współczynniki osłabienia promieniowania w popiele, w substancji organicznej i w wodzie dla składowej promieniowania o wyższej energii kwantów ($E_2 = 52\text{keV}$).

Ponieważ wartości μ_{w1} i μ_{w2} są praktycznie tylko nieznacznie większe od wartości μ_{01} i μ_{02} , zatem wyrażenia (5) i (6) można zapisać następująco :

$$\mu_1 \approx 0,01A^r(\mu_{p1} - \mu_{01}) + \mu_{01} \quad (7)$$

$$\mu_2 \approx 0,01A^r(\mu_{p2} - \mu_{02}) + \mu_{02} \quad (8)$$

Dzieląc stronami wyrażenie (3) i (4), otrzymuje się wielkość K niezależną od gęstości powierzchniowej $q = \rho d$:

$$K = \frac{\ln \frac{N_{01}}{N_1}}{\ln \frac{N_{02}}{N_1}} = \frac{\mu_1}{\mu_2} \quad (9)$$

Po podstawieniu w miejsce μ_1 i μ_2 wzorów (7) i (8) oraz odpowiednich przekształceniach otrzymamy :

$$A' = \frac{\mu_{01}}{K(\mu_{p2} - \mu_{02}) - (\mu_{p1} - \mu_{01})} - K \frac{\mu_{02}}{K(\mu_{p2} - \mu_{02}) - (\mu_{p1} - \mu_{01})} \quad (10)$$

Dla węgla o określonym składzie chemicznym popiołu można przyjąć w pewnym przybliżeniu, że wartości μ_{p1} , μ_{p2} , μ_{01} i μ_{02} są stałe. Tak więc ze wzoru (10) wynika, że na podstawie wielkości $K = \ln \frac{N_{01}}{N_1} / \ln \frac{N_{02}}{N_2}$ stanowiącej iloraz logarytmów wielkości mierzonych w radiometrycznym torze pomiarowym (N_{01} , N_1 , N_{02} , N_2) można określać zawartość popiołu w próbce węgla.

W analizatorze nie korzysta się wprost ze wzoru (10) ze względu na nieznanne wartości μ_{p1} , μ_{p2} , μ_{01} i μ_{02} . Zawartość popiołu jest określana na podstawie równania kalibracji (równania regresji) opisującego związek korelacyjny między zawartością popiołu A' i wielkością K zdefiniowaną powyżej. Równanie to oblicza się metodami statystyki matematycznej. Dopuszcza się również obliczanie wielkości K ze wzorów :

$$K = \frac{\ln \frac{N_{01}}{N_1}}{\ln \frac{N_{01} + N_{02}}{N_1 + N_2}} \quad (11)$$

lub

$$K = \frac{\ln \frac{N_{01}}{N_1 - CN_{02}N_2 / N_1}}{\ln \frac{N_{02}}{N_2}} \quad (12)$$

gdzie C - stała, której wartość dobiera się w trakcie kalibracji analizatora.

Wzory (11) lub (12) są stosowane w przypadku dużych zawartości popiołu i dużych mas próbek węgla ($m > 600\text{g}$) oraz w przypadku nietypowego składu chemicznego popiołu (substancji mineralnej) w próbkach węgla.

Wyniki pomiarów masy próbki, uzyskiwane w radiometrycznym torze pomiarowym, są wykorzystywane do obliczania zawartości wilgoci mierzonej w torze mikrofalowym.

Masę określa się przede wszystkim na podstawie wyników pomiaru osłabienia promieniowania γ o energii kwantów $E_2 \approx 52 \text{ keV}$. Z równania (2) wynika, że w przypadku cylindrycznego naczynia pomiarowego można zapisać :

$$m = \frac{s \ln \frac{N_{02}}{N_2}}{\mu_2} \quad (13)$$

gdzie : m - masa próbki węgla,

s - pole podstawy naczynia pomiarowego.

Ze wzoru (13) wynika, że masę próbki można określać na podstawie liczby zliczeń impulsów N_2 oraz masowego współczynnika osłabienia μ_2 , który to współczynnik zależy przede wszystkim od zawartości popiołu A' . W analizatorze masa m nie jest określana wprost na podstawie wzoru (13), gdyż nie jest znana na ogół wartość μ_2 . Masę określa się na podstawie równania kalibracyjnego, opisującego związek korelacyjny (korelację wieloraką) między masą m , liczbą zliczeń N_2 i zawartością popiołu A' (wyznaczoną w sposób opisany powyżej) lub też opierając się na równaniu kalibracyjnym opisującym związek korelacyjny między m , N_2 i wielkością K . Tak wyznaczana masa jest wystarczająco dokładna dla celów obliczania zawartości wilgoci.

Zgrubny pomiar zawartości siarki przewidziany jest w radiometrycznym torze pomiarowym analizatora WILPO L 142, który to analizator wyposażony jest dodatkowo w wagę elektroniczną do pomiaru masy próbki. Zawartość siarki jest określana w zasadzie na podstawie pomiaru zawartości związków żelaza w próbce węgla, tj. pirytu FeS_2 i innych. Dla oznaczenia zawartości związków żelaza niezbędna jest znajomość stopnia osłabienia obydwu składowych energii promieniowania jonizującego, a zależność zawartości związków żelaza od masowych współczynników osłabienia można opisać wielomianem :

$$\text{Fe} = a_1 \mu_1 + a_2 \mu_2 + a_0 \quad (14)$$

gdzie :

a_1, a_2, a_0 - w przybliżeniu stałe wielkości, których wartości zależą od składu chemicznego reszty substancji mineralnej węgla oraz składu chemicznego substancji organicznej węgla,

przy czym masowe współczynniki osłabienia obliczane są ze wzorów :

$$\mu_1 = \frac{s \ln \frac{N_{01}}{N_1}}{m} \quad (15)$$

$$\mu_2 = \frac{s \ln \frac{N_{02}}{N_2}}{m} \quad (16)$$

Jako że zawartość siarki (siarki pirytovej) dobrze koreluje z zawartością związków żelaza w węglu (głównie pirytu), stąd można przyjąć, że zawartość siarki można oceniać zgrubnie nie za pośrednictwem Fe, ale na podstawie bezpośredniego równania kalibracyjnego podobnego do wzoru (14) :

$$S_t^r = b_1 \mu_1 + b_2 \mu_2 + b_0 \quad (17)$$

gdzie :

b_1, b_2, b_0 - stałe obliczone na podstawie wyników kalibracji.

Okazało się w praktyce, że można osiągnąć dobre rezultaty zgrubnej oceny zawartości siarki, korzystając z równania kalibracyjnego w postaci innej aniżeli wzór (17). A mianowicie można stosować równanie kalibracyjne w postaci :

$$S_t^r = C_1 N_1 + C_2 N_2 + C_3 K + C_4 \cdot m + C_0 \quad (18)$$

gdzie :

C_1, C_2, C_3, C_4, C_0 - stałe wyznaczone podczas kalibracji.

W analizatorze WILPO L 142 istnieją wielowariantowe możliwości doboru równania kalibracyjnego, zależnie od tego, czy zawartość siarki chcemy oceniać wprost na podstawie μ_1 i μ_2 czy też innych, bezpośrednich i pośrednich wyników pomiarów.

W omawianych analizatorach zawartość wilgoci w próbce węgla określana jest na podstawie wyników pomiaru masy wody w torze mikrofalowym oraz masy próbki zmierzonej w torze radiometrycznym, bądź na wadze elektronicznej. Możliwość pomiaru w torze mikrofalowym „ukrytej” w próbce masy wody wynika z występowania następującego zjawiska; Wiązka promieniowania mikrofalowego przechodząc przez warstwę węgla ulega w niej pochłanianiu. Można przyjąć z dopuszczalnym uproszczeniem, że jej natężenie maleje zgodnie ze wzorem :

$$I = I_0 e^{-\alpha L_w} \quad (19)$$

gdzie :

I_0, I - natężenie wiązki padającej i wychodzącej,

α - współczynnik pochłaniania (tłumienia),

L_w - droga wiązki w wodzie.

Ze wzoru (19) mamy :

$$L_w = \frac{1}{\alpha} \ln \frac{I_0}{I} \quad (20)$$

Można łatwo stwierdzić, że L_w jest proporcjonalne do masy wody m_w w próbce węgla. W torze mikrofalowym analizatora uzyskuje się analogowy napięciowy sygnał Z proporcjonalny do logarytmu $\ln \frac{I_0}{I}$, a więc i proporcjonalny do masy m_w wody w próbce. Zatem w oparciu o sygnał Z , korzystając z równania kalibracyjnego, określana jest masa wody w próbce węgla. Równanie kalibracyjne w najprostszym przypadku ma postać :

$$m_w = d_1 Z + d_0 \quad (21)$$

Zawartość wilgoci w próbce obliczana jest za pomocą wzoru :

$$W_i = \frac{m_w}{m} \cdot 100\% \quad (22)$$

gdzie : m_w, m - masa wody w próbce i masa próbki, wyznaczone w torze mikrofalowym i radiometrycznym.

W omawianych analizatorach wartość opałowa Q_i^r jest obliczana na podstawie wyznaczonej wcześniej zawartości popiołu A^r i wilgoci W_1^r . Korzysta się przy tym z odpowiedniego wzoru kalibracyjnego, opisującego związek korelacyjny pomiędzy wartością opałową Q_i^r oraz zawartością popiołu A^r i wilgoci W_1^r :

$$Q_i^r = e_1 A^r + e_2 W_1^r + e_0 \quad (23)$$

gdzie: e_1 , e_2 , e_0 - stałe określane w czasie kalibracji.

Wszystkie wyżej opisane pomiary mogą być realizowane na próbce o poniższej charakterystyce:

- uziarnienie próbki węgla - $0 \div 6$ mm,
- masa próbki - od 400 do 800 g w zależności od zawartości popiołu i wilgoci,
- stan próbki - roboczy (zawartość wilgoci w stanie roboczym).

Czas pomiaru 3 lub 4 parametrów (A^r , W_1^r , S_1^r , Q_i^r) wynosi 200s, a łączny czas przygotowania i pomiaru próbki nie przekracza 5 minut.

Realizacja techniczna tak niewątpliwie skomplikowanego algorytmu oznaczania czterech podstawowych parametrów jakościowych węgla jest możliwa, tylko i wyłącznie, dzięki zastosowaniu w analizatorze najnowszej generacji elementów elektronicznych i techniki komputerowej. Wszystkie podzespoły elektroniczne analizatora zostały specjalnie zaprojektowane i skonstruowane pod kątem realizacji funkcji wynikających z zastosowanych metod pomiaru. Oryginalne oprogramowanie zapewnia nie tylko realizację przedstawionego wyżej algorytmu, lecz także stwarza użytkownikowi wiele nowych możliwości operacyjnych w zakresie obsługi analizatora, korzystania z baz danych oraz współpracy analizatora z siecią komputerową.

3. Wyniki pomiarów eksploatacyjnych - błędy pomiarów

Przedstawienie wyników pomiarów dotyczących wszystkich eksploatowanych dotąd analizatorów przekracza ramy niniejszego artykułu. Stąd też ograniczono się do zaprezentowania tylko przykładu wyników pomiarów. W tabelicy 1 zamieszczono rezultaty skalowania dwóch analizatorów, a mianowicie WILPO L 132 i WILPO L 142. W przypadku drugiego z wymienionych analizatorów ograniczono się do fragmentarycznego pokazania tylko wyników skalo-

wania i pomiarów zawartości siarki. Nie wniano także w problem obliczania wartości opałowej jako pochodnej zawartości popiołu i wilgoci.

Tablica 1

Równania kalibracyjne analizatora WILPO L 132 i WILPO L 142

WIELKOŚĆ POMIAR.	RÓWNANIE KALIBRACJI	WSPÓŁCZYNNIK KORELACJI	BŁĄD OCENY NA PODST RÓWNAN. (ODCHYLENIE STAND.SKŁADNIKA RESZTOWEGO)
		STOSUNEK KORELACYJNY.	
Zawartość popiołu A^r	$A^r=14,296 K^2-33,656 K+ +15,714$	$\eta=0,987$	$\sigma_{A^r}=1,17\% A^r$
Masa próbki m	$m=-0,2398N_2-125,086K+$ $+1769,205$	$R=0,993$	$\sigma_m=3,89 \text{ g}$
Masa wody w próbce m_w	$m_w=-17,4899 Z+82,914$	$R=-0,881$	$\sigma_{m_w}=3,8 \text{ g}$
Zawartość siarki S_i^r	$S_i^r=0,000918 N_1+0,002008 N_2 +$ $10,0624 K+0,008453 m-27,3557$	$R=0,940$	$\sigma_{s_i^r} = 0,044\% S_i^r$

Celem dokonania wrywkowej oceny pracy analizatora WILPO L 132 zmierzono w nim 87 próbek kontrolnych węgla, które wcześniej oznaczono metodami klasycznymi na zawartość popiołu A^r i zawartość wilgoci W_i^r . Ocenę pomiaru zawartości siarki S_i^r wykonano na analizatorze WILPO L 142 opierając się na 16 próbkach kontrolnych z oznaczonymi klasycznie wartościami siarki.

Wyniki oznaczeń klasycznych oraz wyniki pomiarów otrzymane z analizatorów zamieszczono w tablicy 2 i tablicy 3. Wynikom oznaczeń klasycznych przypisano znaczek „kl”, a otrzymanym z analizatorów znaczek „an”.

Tablica 2

Wyniki oznaczeń zawartości popiołu i wilgoci (porównanie)

Row 1	Akl	Aan	dA = $A_{KL} - A_{an}$	Wkl	Wan	dW = $W_{KL} - W$
1	39.2	36.46	2.74	7.3	7.11	0.19
2	36.0	38.98	-2.98	7.8	7.42	0.38
3	30.3	30.99	-0.69	7.5	7.73	-0.23
4	30.9	32.34	-1.44	7.5	9.40	-1.90
5	35.6	34.32	1.28	9.0	9.00	0.00
6	34.0	34.12	-0.12	9.2	9.06	0.14
7	30.3	31.34	-1.04	10.4	7.75	2.65
8	30.6	29.16	1.44	8.2	7.74	0.46
9	33.8	33.63	0.17	7.6	8.59	-0.99
10	35.1	34.55	0.55	7.4	8.82	-1.42
11	33.2	33.67	-0.47	9.9	7.99	1.91
12	34.3	37.08	-2.78	8.0	7.99	0.01
13	35.7	35.96	-0.26	9.9	8.13	1.77
14	37.9	37.31	0.59	7.3	7.55	-0.25
15	35.9	35.25	0.65	8.0	7.48	0.52
16	31.8	32.84	-1.04	8.4	7.82	0.58
17	20.1	20.13	-0.03	10.0	9.76	0.24
18	14.0	14.26	-0.26	9.8	10.45	-0.65
19	18.2	18.45	-0.25	8.6	8.64	-0.04
20	16.9	16.19	0.71	8.7	9.00	-0.30
21	17.3	17.22	0.08	9.1	10.06	-0.96
22	17.4	16.57	0.83	8.7	8.79	-0.09
23	15.6	15.81	-0.21	11.2	11.72	-0.52
24	20.0	19.65	0.35	9.2	9.39	-0.19
25	19.9	20.70	-0.80	10.2	10.15	0.05
26	18.5	18.16	0.34	9.2	9.33	-0.13
27	18.0	19.68	-1.68	12.9	12.18	0.72
28	19.6	19.98	-0.38	8.3	7.82	0.48
29	21.8	22.40	-0.60	9.3	9.38	-0.08
30	22.0	21.27	0.73	8.6	8.84	-0.24
31	24.3	22.87	1.43	8.2	8.24	-0.04
32	23.0	21.00	2.00	8.7	9.05	-0.35
33	30.2	27.38	2.82	14.2	13.46	0.74
34	23.7	24.48	-0.78	10.9	11.27	-0.37
35	18.4	17.37	1.03	8.3	8.85	-0.55
36	27.3	24.49	2.81	7.1	7.79	-0.69
37	20.4	22.48	-2.08	6.1	6.33	-0.23
38	16.3	17.51	-1.21	6.7	7.29	-0.59
39	13.6	13.43	0.17	6.1	6.86	-0.76
40	19.7	20.30	-0.60	6.6	7.50	-0.90
41	14.5	15.53	-1.03	6.8	7.13	-0.33
42	15.7	16.26	-0.56	7.4	6.86	0.54
43	14.8	15.21	-0.41	8.4	6.98	1.42
44	15.6	15.89	-0.29	7.3	7.35	-0.05
45	15.2	14.83	0.37	8.0	6.95	1.05
46	16.7	15.98	0.72	6.6	7.25	-0.65
47	19.6	20.24	-0.64	6.5	7.50	-1.00
48	15.2	14.74	0.46	8.4	7.53	0.87
49	20.9	23.09	-2.19	9.4	7.95	1.45
50	18.3	18.21	0.09	6.7	7.20	-0.50
51	17.2	18.00	-0.80	6.0	6.79	-0.79
52	15.5	16.42	-0.92	5.7	7.41	-1.71
53	18.2	17.53	0.67	7.1	6.78	0.32
54	19.0	20.65	-1.65	8.9	7.32	1.58
55	19.1	19.73	-0.63	6.3	6.36	-0.06
56	19.6	19.71	-0.11	5.6	6.05	-0.45

cd. tablicy 2

57	19.4	21.02	-1.62	7.6	6.58	1.02
58	16.1	16.94	-0.84	5.8	6.14	-0.34
59	17.0	17.68	-0.68	6.5	6.23	0.27
60	16.4	16.28	0.12	7.3	6.64	0.66
61	22.1	22.22	-0.12	6.2	6.18	0.02
62	16.5	17.18	-0.68	6.6	6.11	0.49
63	18.6	18.46	0.14	5.8	6.14	-0.34
64	17.3	16.85	0.45	5.8	6.31	-0.51
65	17.2	17.38	-0.18	6.0	6.12	-0.12
66	17.0	17.86	-0.86	6.5	6.50	0.00
67	15.0	14.75	0.25	4.7	5.96	-1.26
68	17.5	15.14	2.36	5.6	5.97	-0.37
69	16.3	16.46	-0.16	6.9	5.77	1.13
70	16.4	15.94	0.46	5.0	6.04	-1.04
71	17.7	17.35	0.35	6.3	5.96	0.34
72	18.1	16.74	1.36	6.1	6.69	-0.59
73	23.6	22.85	0.75	6.9	6.36	0.54
74	20.3	20.73	-0.43	7.3	6.38	-0.92
75	18.8	19.29	-0.49	5.9	7.22	-1.32
76	17.6	16.93	0.67	6.1	6.39	-0.29
77	20.8	21.76	-0.96	7.6	6.39	1.21
78	18.4	18.76	-0.36	7.8	6.22	1.58
79	19.2	19.05	0.15	4.8	7.44	-2.64
80	17.0	16.38	0.62	4.5	6.45	-1.95
81	17.9	17.96	-0.06	6.5	6.31	0.19
82	19.6	18.65	0.95	6.6	6.22	0.38
83	23.5	22.72	0.78	7.9	6.54	1.36
84	19.0	18.78	0.22	7.9	6.21	1.69
85	18.4	18.91	-0.51	5.1	5.59	-0.49
86	33.6	29.79	3.81	5.0	5.98	-0.98
87	41.7	40.88	0.82	6.4	6.69	-0.29

Wyniki oznaczeń zawartości siarki (porównanie)

Tablica 3

Row i	Sk1	San	dS
1	0.67	0.727	-0.057
2	0.59	0.533	0.057
3	0.92	0.939	-0.019
4	0.76	0.756	0.004
5	0.67	0.667	0.003
6	0.63	0.623	0.007
7	0.85	0.839	0.011
8	0.81	0.826	-0.016
9	0.74	0.686	0.054
10	0.84	0.830	0.010
11	0.70	0.708	-0.008
12	0.63	0.683	-0.053
13	0.66	0.699	-0.039
14	0.96	0.889	0.071
15	0.67	0.711	-0.041
16	0.84	0.823	0.017

Regression Analysis - Linear model: $Y = a + bX$

Dependent variable: B.Aan

Independent variable: B.AK1

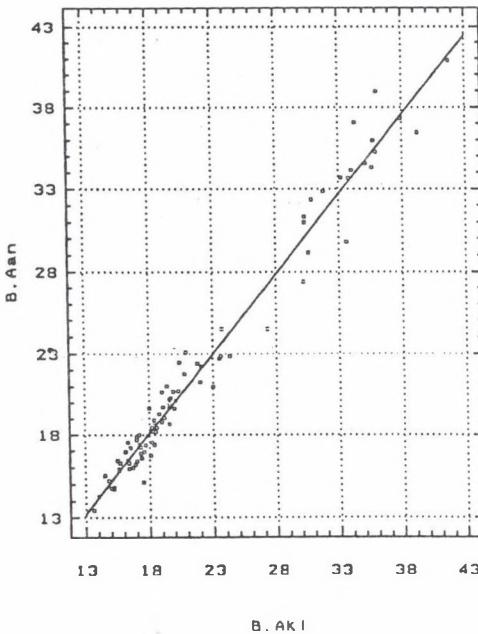
Parameter	Estimate	Standard Error	T Value	Prob. Level
Intercept	0.576932	0.401101	1.43837	0.15400
Slope	0.973421	0.0174403	55.8145	0.00000

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	Prob. Level
Model	4123.9968	1	4123.9968	3115.260	0.00000
Residual	112.52342	85	1.32380		

Total (Corr.) 4236.5202 86
 Correlation Coefficient = 0.98663 R-squared = 97.34 percent
 Std. Error of Est. = 1.15057

Regression of B.Aan on B.AK1



rys.2. Zależność między oznaczeniem zawartości popiołu z analizatora A_{an} i oznaczeniem klasycznym A_{kl} .

Fig.2. The relationship between determining of ash content by analyzer and classic method

Regression Analysis - Linear model: $Y = a + bX$

Dependent variable: B.Wan

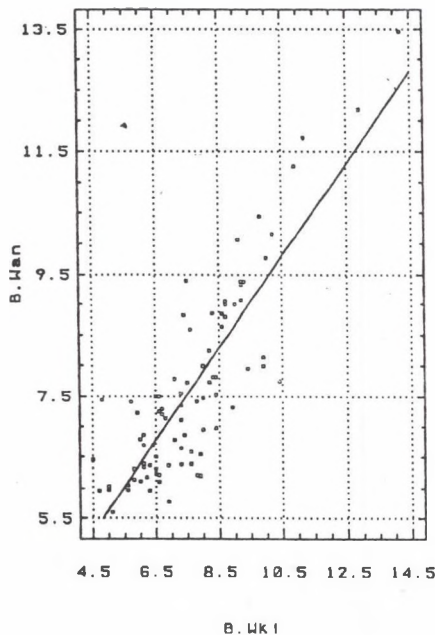
Independent variable: B.Wk1

Parameter	Estimate	Standard Error	T Value	Prob. Level
Intercept	1.86288	0.390081	4.82691	0.00001
Slope	0.752892	0.0500971	15.0287	0.00000

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	Prob. Level
Model	150.12824	1	150.12824	225.8606	0.00000
Residual	56.499008	85	0.664694		
Total (Corr.)	-206.62725	86			
Correlation Coefficient = 0.852388			R-squared = 72.66 percent		
Std. Error of Est. = 0.815288					

Regression of B.Wan on B.Wk1



Rys.3. Zależność między oznaczeniem zawartości wilgoci z analizatora W_{an} i oznaczeniem klasycznym W_{kl} .

Fig.3. The relationship between determining of wetness by analyzer and classic method

Regression Analysis - Linear model: $Y = a + bX$

Dependent variable: M.San

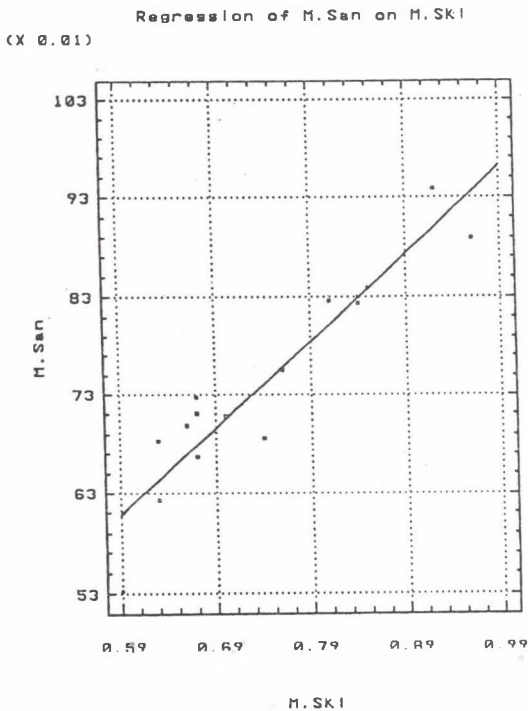
Independent variable: M.SKl

Parameter	Estimate	Standard Error	T Value	Prob. Level
Intercept	0.0864013	0.0646137	1.3372	0.20248
Slope	0.884136	0.0856901	10.3178	0.00000

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	Prob. Level
Model	0.14616	1	0.14616	106.4574	0.00000
Residual	0.019221	14	0.001373		
Total (Corr.)	0.165378	15			

Correlation Coefficient = 0.940094
 Std. Error of Est. = 0.0370529
 R-squared = 88.38 percent



Rys.4. Zależność między oznaczeniem zawartości siarki z analizatora S_{an} i oznaczeniem klasycznym S_{kl} .

Fig.4. The relationship between determining of sulphur content by analyzer and classic method

Na rys. 2, 3 i 4 pokazano przebiegi zależności pomiędzy wynikami pomiarów parametrów jakościowych węgla, uzyskanymi za pomocą analizatorów i wynikami oznaczeń uzyskanymi metodami klasycznymi (standardowymi).

Nad tymi zależnościami zamieszczono wyniki komputerowej, statystycznej analizy regresji, ujmującej te zależności od strony jakościowej i ilościowej.

Z przedstawionych rysunków i analiz statystycznych wynika, że jakkolwiek istnieje wystarczająco dobra korelacja pomiędzy wynikami oznaczeń parametrów jakościowych węgla uzyskanymi w analizatorze i wynikami oznaczeń klasycznych, to jednak istnieją określone różnice pomiędzy nimi. Nasuwa się zatem pytanie, czym to jest powodowane? Za występowanie owych różnic odpowiedzialne są zarówno błędy metod pomiarowych stosowanych w analizatorze, jak i błędy klasycznych (standardowych) metod oznaczania parametrów jakościowych węgla. Te ostatnie błędy są często w praktyce bardzo znaczne. Dla przybliżenia problemu błędów, mając na względzie przejrzystość rozważań, skoncentrujemy się tylko na pomiarze zawartości popiołu. Z tablicy 2, po prostych obliczeniach, wynika, że odchylenie standardowe między wynikami oznaczeń zawartości popiołu A_{KL} i A_m wynosi $\sigma = 1,17\%$ zawartości popiołu. Jeżeli odchylenie standardowe σ przyjmiemy za miarę rozrzutu (różnic) między wynikami oznaczeń, to możemy zapisać;

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{rad}^2 + \sigma_{KL}^2} \quad (24)$$

gdzie:

σ_{rad} - standardowy błąd metody radiometrycznej pomiaru zawartości popiołu, stosowanej w analizatorze,

σ_{KL} - standardowy błąd metody klasycznej oznaczenia zawartości popiołu.

Za wartość błędu standardowego metody klasycznej, w przypadku rozważanego zakresu zawartości popiołu, można przyjąć $\sigma_{KL} \approx 1,0\%$ zawartości popiołu. Jest to wartość oszacowana na podstawie wielokrotnych oznaczeń klasycznych dla potrzeb kalibracji analizatorów. W niektórych przypadkach wartość błędu σ_{KL} jest znacznie większa od wyżej podanej (rzędu kilku procent zawartości popiołu).

Ze wzoru (24) wynika, że:

$$\sigma_{rad} = \sqrt{\sigma^2 - \sigma_{KL}^2} \quad (25)$$

Po podstawieniu w miejsce σ i σ_{KL} ich wartości liczbowych otrzymamy :

$$\sigma_{rad} = 0,61\% \text{ zawartości popiołu}$$

Jest to wartość błędu standardowego metody radiometrycznej, stosowanej w analizatorze. Ocena tych błędów - klasycznego i radiometrycznego - prowadzi do wniosku, że błędy te są porównywalne. Podobne rozważania można by przeprowadzić analizując błędy oznaczeń zawartości wilgoci i siarki, by dojść również do konkluzji, że i w tym przypadku błędy oznaczeń klasycznych są porównywalne z błędami metod oznaczania stosowanych w analizatorze. Jeżeli więc porównujemy wyniki oznaczeń uzyskane za pomocą analizatora z wynikami uzyskanymi na podstawie metod chemicznych (klasycznych), przyjmując je jako poziom odniesienia, to bezwzględnie musimy pamiętać o tym, że te ostatnie są często obciążone znacznymi błędami.

W praktyce bardzo często przyczyna rozbieżności pomiędzy wynikami oznaczeń wykonanych obu metodami leży głównie po stronie wspomnianych znacznych błędów oznaczeń chemicznych, wynikających z coraz większej niejednorodności węgla, coraz większej zawartości popiołu w węglu i małej reprezentatywności tej metody w stosunku do opróbowywanych i oznaczanych partii węgla.

Jeśli generalnie przyjmiemy, że błędy oznaczeń analizatora są porównywalne z błędami oznaczeń chemicznych (standardowych), to przewaga analizatora leży głównie po stronie szybkości i reprezentatywności wykonywanych pomiarów parametrów jakościowych węgla.

Biorąc pod uwagę wszystkie dotychczasowe instalacje analizatorów WILPO L 131, WILPO L 132 i WILPO L 142 przeprowadzono generalną analizę ich błędów pomiarowych. Ze względu na obszerność tych analiz przedstawiono tu jedynie końcowe rezultaty analiz. Zamieszczono je w tablicy 4.

Tablica 4

Wartości błędów pomiaru parametrów jakościowych węgla za pomocą analizatorów

WIELKOŚĆ MIERZONA	RODZAJ WĘGLA ZAKRES ZMIAN MIERZONEJ WIELKOŚCI	BŁĄD POMIARU σ
Zawartość popiołu A'	Sortymenty grube i niektóre sortymenty płukane 2+10% zaw. popiołu	0,5±0,7% A'
	Niektóre sortymenty płukane i miały surowe 10±25% zaw. popiołu	0,5±1,0% A'
	Miały surowe - 15±35% zaw. popiołu	1,0±2,0% A'
	Przerosty i odpady - 25%±50% zaw. popiołu	1,5±2,5% A'
	Odpady i kamieci - 50%±85% zaw. popiołu	2,5±3,5% A'

cd. tablicy 4

Zawartość wilgoci W_t^f	Zakres 2÷10% zaw. wilgoci	$0,5\pm 0,7\% W_t^f$
	Zakres 10÷25% zaw. wilgoci	$0,7\pm 1,5\% W_t^f$
Zawartość siarki S_t^f	Zakres 0,2%÷1,0% zaw. siarki	$0,05\pm 0,15\% S_t^f$
	Zakres 0,5%÷1,5% zaw. siarki	$0,1\pm 0,2\% S_t^f$
	Zakres 1,0%÷3,0% zaw. siarki	$0,1\pm 0,3\% S_t^f$
Wartość opalowa Q_i^f	Cały zakres występowania	$100\pm 500 \text{ kJ/kg}$

4. Podsumowanie i wnioski

1. Zakres i coraz większa powszechność zastosowań analizatorów WILPO L 131/L142 świadczy o zapotrzebowaniu przemysłu na tego typu rozwiązania oraz o rosnącym zaufaniu działów kontroli jakości górnictwa, energetyki i ciepłownictwa do zastosowanego w analizatorach sposobu pomiarów parametrów fizykochemicznych kopaliny.
Aktualne znaczne możliwości pomiarowe analizatorów sprawiają, że są one wykorzystywane do kontroli pracy maszyn wzbogacających w celu szybkiego określania zawartości popiołu i wilgoci zarówno w produktach wyjściowych, półproduktach, jak i w odpadach; do wrywkowej, szybkiej kontroli nadawy podawanej do zakładu przerobczego oraz do szybkich i precyzyjnych (dzięki możliwości pomiaru wielu próbek i ich uśredniania) oznaczeń parametrów jakości węgla w załadowanych, handlowych partiach węgla.
2. Dokładność pomiarów określonych parametrów jakościowych węgla za pomocą analizatorów jest porównywalna z dokładnością metod klasycznych (standardowych), zwłaszcza w kontekście znacznie większej reprezentatywności tych pomiarów w odniesieniu do coraz bardziej niejednorodnych partii węgla.
3. Oznaczenia klasyczne parametrów jakościowych w próbkach węgla o masie ok. 1 kg i granulacji 0÷6 mm są często w praktyce obarczone znacznymi błędami przekraczającymi $\pm 1,0\%$ zawartości popiołu i wilgoci oraz $\pm 0,1\%$ zawartości siarki. Główną składową błędów metod standardowych jest błąd popełniany przy opróbowaniu oznaczanego węgla. Ma-

jąc powyższe na uwadze, należy przeprowadzać skalowanie i kontrolę pracy analizatorów tylko opierając się na takich próbkach węgla, których oznaczenia metodami klasycznymi są wykonywane szczególnie precyzyjnie i obciążone są minimalnymi błędami.

4. Oryginalność metody pomiaru, szybkość i dokładność pracy analizatorów, bezpośredni dostęp do wyników pomiarów, możliwość przechowywania wyników w bazie danych, możliwość współpracy analizatora z określoną siecią komputerową; wszystko to rokuje nadzieje na dalsze rozpowszechnianie analizatorów zarówno w kraju, jak i poza jego granicami.

Recenzent: Dr inż. Jerzy Białas

Wpłynęło do Redakcji 25.09.1996 r.

Abstract

The „on line” control is the base of steering of technological processes in coal preparation plants. Some parameters as A_f , W_{f_t} , Q_{f_1} , S_{f_t} let us correct and improve an operation of classifiers and separators. This control is also necessary in trade conditions. In the article, the construction and exploitation of analyzers is prosecuted.