



Otrzymywanie i właściwości pyłu magnetytowego z ubocznych produktów spalania węgla

Manufacture and Properties of Magnetite Dust from By-products of Carbon Combustion

Jan J. HYCNAR ¹⁾, Bogusław KOCHAŃSKI ²⁾, Barbara TORA ³⁾

¹⁾ dr inż.; ECOCOAL Consulting Center; ul. Mieleckiego 10, 40-013 Katowice, Polska; tel. 0 691 524 632; e-mail: ecocoal@neostrada.pl

²⁾ dr; Wyższa Szkoła Zarządzania Marketingowego i Języków Obcych; ul. Gallusa 2, 40-594 Katowice, Polska

³⁾ dr hab. inż., prof. AGH; Katedra Inżynierii Środowiska i Przeróbki Surowców, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, AGH – Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Polska; e-mail: tora@agh.edu.pl, tel.: (+48) 12 617 21 89

Streszczenie

Spalaniu węgla kamiennego i brunatnego w kotłach z paleniskami pyłowymi towarzyszy powstawanie związków ferromagnetycznych zawartych w popiołach lotnych i żużlach. Najwyższe ilości magnetycznych związków żelaza zawierają popioły rodzaju krzemianowego, mniejsze ilości popioły rodzaju glinowego a najmniejsze popioły rodzaju wapniowego. Na podstawie przeprowadzonych badań zawartości związków magnetycznych oraz zawartości całkowitej związków żelaza i dwuwartościowego opracowano kryteria techniczno-ekonomiczne wydzielania pyłu magnetytowego z popiołów lotnych. Dla przemysłowego wydzielania pyłu magnetytowego z suchych popiołów lotnych zastosowano oryginalne separatory typu BWP z wędrującym polem magnetycznym a dla wydzielania pyłu magnetytowego z mieszaniny wodno-popiołowej separator ze stałymi magnesami typu ZUO/SM-500/I. Wydzielany w elektrowniach pył magnetytowy (maksymalnie 20.000 t/a) charakteryzował się zawartością frakcji magnetycznej powyżej 85% i całkowitej zawartości związków żelaza powyżej 45%. Produkowany pył magnetytowy pomimo wielu możliwości zastosowania był w największych ilościach stosowany w górnictwie do sporządzania cieczy ciężkiej i wytwarzania zasypek hutniczych oraz do sporządzania betonów o dużej przewodności cieplnej stosowanych w budowie szybu górniczego w kurzwawce.

Summary

Hard and brown coal combustion in a pulverized-fuel boiler is accompanied by forming ferromagnetic compounds contained in fly ash and slag. The ferromagnetic compounds can be found as follows: the highest quantity in the ash of silicate kind, lower quantity in the ash of aluminum kind, and the lowest quantity in the calcium kind of ash. On the basis of test results on the content of magnetic compounds and total content of iron compounds and two-valued iron there were prepared technical and economic criteria regarding the separation of magnetite dust from fly ash. For industrial separation of magnetite dust from dry fly ash there were used original separators of the BWP type with a traveling magnetic field, whereas for magnetite dust separation from water-ash mixture, a separator with permanent magnets of the ZUO/SM-500/I type was employed. Magnetite dust separated in power plants (max. 20 000 t/a), could be characterized by a magnetic fraction of over 85% and total content of iron compounds exceeding 45%. The produced magnetite dust, despite many possibilities of use, was mainly applied in mining industry for making heavy liquid (to reduce imports), and manufacturing casting powder, as well as for building a mining shaft in quicksand.

Słowa kluczowe: ferromagnetyczne składniki popiołów ze spalania węgla, wydzielanie pyłu magnetytowego z ubocznych produktów spalania węgla, zastosowanie pyłu magnetytowego

Keywords: ferromagnetic components of coal combustion ash, magnetite dust separation from coal combustion by-products, utilization of magnetite dust

1. Wprowadzenie

W zależności od rodzaju i miejsca pochodzenia paliwa oraz technologii jego spalania, jak również zastosowanej metody odsiarczania i wydzielania zanieczyszczeń stałych ze spalin, uboczne produkty spalania wykazują bardzo duże zróżnicowanie ich ilości i składu chemicznego. Jeżeli uwzględnimy, że proces spalania jest jedną z form wzbogacania części mineralnej zawartej w spalonym paliwie, to szereg popiołów może się charakteryzować podwyższoną ilością danego lub danych składników.

Zainteresowanie występowaniem i zachowaniem się niektórych składników w węglu i produktach ich spala-

1. Introduction

Depending on the nature and origin of fuel and its combustion technologies, as well as the method of desulfurization and extraction of solid pollutant from the exhaust, combustion adventive products have a very large diversity of their quantity and chemical composition. If we take into consideration, that the combustion process is one of the forms of enrichment of mineral contained in combusted fuel, the series of ash may have increased the quantity of component or components.

Interest in the presence and behaviour of certain elements in coal and products of their combustion is

nia wynika z wielu przyczyn. Szereg z nich wpływa na warunki pracy komór paleniskowych kotłów (zażużanie t.zw. szlakowanie i na korozję rur ekranowych, przegrzewaczy pary i podgrzewaczy powietrza) i skuteczność odpylania spalin w elektrofiltrach oraz na jakość powstających ubocznych produktów spalania węgla. Na możliwość wydzielania koncentratów wybranych metali z popiołów lotnych i żużli zwrócono uwagę już dawno w bardzo wielu zagranicznych publikacjach [1–14] z tym jednak, że informacje o przemysłowej produkcji koncentratów metali z popiołów ze spalania węgla są niestety ograniczone [11–14]. W tym zakresie, obserwuje się większe sukcesy w zagospodarowaniu odpadów hutniczych, między innymi do wytwarzania obciążników do sporządzania cieczy ciężkich dla górnictwa i pigmentów [15–17].

Prowadzone w Polsce badania natomiast pozwoliły na wdrożenie technologii produkcji koncentratów metali [18], m.in.:

- **koncentratu tlenku wapnia**, jako samodzielnego nawozu mineralnych (wapniowo-magnezowego) i materiału do wapniowania kwaśnych gleb [19, 20] którego źródłem były wyselekcjonowane popioły lotne ze spalania węgla brunatnego z rejonu Konina i Bełchatowa;
- **tlenku glinu** (instalacja doświadczalna IMMB wydajności 6000 t/a, inwestycja przemysłowa w Cementowni Nowiny przerwana). Technologia opracowana przez Prof. J. Grzymka i jego zespół pozwalała z popiołów lotnych z El. Turów i iłów KWB Turów produkować metodą spiekowo-rozpadową tlenek glinu i cement [20–22];
- **koncentratu tlenku germanu i galu**, poprzez dobór węgla wysokogermanowych spalanych w paleniskach cyklonowych i wydzielania najdrobniejszych frakcji popiołów lotnych [23]. Według wdrożonej technologii energetyka przekazała hutnictwu metali kolorowych kilka tysięcy ton popiołowego koncentratu germanu;
- **koncentratu tlenków żelaza**. Poprzez selekcję węgla, procesu spalania i segregację popiołów lotnych opracowano metodę wydzielania frakcji ferromagnetycznej z popiołów lotnych [23–25]. Wyniki badań i uzyskane wdrożenie w zakresie wydzielania i zastosowania pyłu magnetytowego [26] są przedmiotem niniejszego referatu.

2. Ocena przydatności popiołów do wydzielania pyłu magnetytowego

Podstawowym kryterium oceny przydatności popiołów lotnych do wydzielania pyłu magnetytowego jest ekonomia produkcji i sprzedaży pyłu magnetytowego. Ocena przydatności popiołów do odzysku pyłu magnetytowego polegała na:

1. poborze reprezentatywnych próbek popiołów

due to many reasons. A number of them affects the conditions of work of chambers boiler furnaces (slagging so-called routing and corrosion of tubes, steam superheater and air heater) and the effectiveness of exhaust dedusting in electrofilters and on the quality of obtaining by-products of combustion. The attention was brought to possibility on extracting concentrates of selected metals from volatile ashes and cinders in many foreign publications [1–14], however the information about industrial production of metal concentrates from carbon combustion is limited [11–14]. In this range the greater success is observed in waste materials managing, among other things to produce weight in order to obtain heavy liquid for mining and pigments [15–17].

The research carried out in Poland let the implementation of technology production of metal concentrates [18] like:

- **Concentrated calcium oxide**, as a separate mineral fertilizer (calcium-magnesium) and material to lime acid soils [19, 20] whose source were selected ash from the combustion of brown coal from the region of Konin and Bełchatow;
- **Alumina** (experimental installation IMMB capacity 6000 t/a, industrial investment in cement mill Nowiny interrupted). Technology developed by professor Grzymek J. and his team allowed to use volatile ashes from Turow power station and Turow Coal Mine clays to produce alumina and cement using sintering-decomposition method [20–22];
- **Concentrated germanium oxide and gallium**, through selection of a high-germanium coals combusted in a cyclone furnace and the emission of ultra fine ash volatile [23]. According to the implemented technology, power industry transmitted a several thousand tonnes of ash germanium concentrate to non-ferrous metallurgy;
- **Concentrated iron oxides**. Through coals selection, combustion process and ashes segregations the method of ferromagnetic fraction extraction from the volatile ashes was developed [23–25]. The results of the research and implementation on the evolution and application of magnetite dust [26] are the subjects of this paper.

2. Assessment of the relevance of ashes to the emission of magnetite dust

The basic criterion for assessing the suitability of the volatile ashes to obtain magnetite dust is the economics of production and sales of magnetite dust. The evaluation of suitability of ashes to the magnetite dust recovery depended on:

6. Uptake of representative samples of ash samples

- z poszczególnych stref elektrofiltrów;
2. badaniu poszczególnych próbek popiołów lotnych na zawartość frakcji magnetycznej oraz całkowitej zawartości związków żelaza i związków żelaza dwuwartościowego;
 3. separacji poszczególnych próbek popiołów lotnych na stanowisku doświadczalnym z przemysłową płytą typu BWP ze szczeliną części aktywnej 8, 10 i 15 mm, przy stałej wielkości nadawy. Ponadto, wykonywano dodatkowe separacje popiołów na szczelinie 10 mm, przy trzech wielkościach nadawy. W rezultacie otrzymywano dwie frakcje – pył magnetytowy i popiół lotny zubożały w związki ferromagnetyczne, masę których bilansowano;
 4. badaniu produktów separacji magnetycznej popiołów lotnych. W pyłe magnetycznym oznaczano zawartość frakcji ferromagnetycznej, związków żelaza $\text{Fe}^{3+} + \text{Fe}^{2+}$ i Fe^{2+} oraz zawartość związków krzemu i gęstość. W zubożonym popiele oznaczano zawartość frakcji magnetycznej i zawartość całkowitą związków żelaza;
 5. określeniu zastosowania wydzielanego pyłu magnetytowego.

Według opisanego schematu oceny przydatności do produkcji pyłu magnetytowego metodą suchą przebadano popioły lotne i częściowo żużle z 20 elektrowni i elektrociepłowni, w tym z dwóch opalanych węglem brunatnym i osiemnastu opalanych węglem kamiennym. Uzyskane wyniki badań i charakterystykę pyłów magnetycznych z instalacji doświadczalnej i przemysłowej częściowo przedstawiono w tabeli 1.

Analiza wyników wykazuje bardzo duży rozrzut zawartości związków żelaza i frakcji magnetycznej w popiołach, co ilustrują poniższe dane:

- związki żelaza dwuwartościowego (Fe^{+2})
od 0,15% do 2,37%,
- całkowita zawartość związków żelaza (Fe_c)
od 1,06% do 12,00%,
- frakcji magnetycznej (D_p)
od 0,86% do 10,10%.

Ponadto, obserwuje się wpływ miejsca poboru popiołu lotnego z elektrofiltra na zawartość wymienionych składników i wielkość odzysku pyłu magnetytowego, popioły z I strefy wykazują najwyższe zawartości frakcji ferromagnetycznej i związków żelaza, a najniższe popioły pobrane z III strefy.

Badania statystyczne całego zbioru wyników badanych popiołów lotnych pozwoliły ustalić zależności pomiędzy zawartością frakcji magnetycznej a zawartością związków żelaza, w postaci następujących wzorów:

- zależność pomiędzy zawartością frakcji magnetycznej od zawartości związków żelaza dwuwartościowego:

from each electrofilters zone;

7. The examination of samples of ash content on magnetic fraction content and total content of iron and divalent iron compounds;
8. Separation of individual samples of volatile ash on experimental station with industrial plate type BWP with slit active part 8, 10 and 15 mm at a constant portion volume. In addition there has been additional separation of ashes on the 10 mm-slit with three levels of portions. As a result two fractions were obtained – magnetite dust and volatile ash impoverished in ferromagnetic compounds, which weight was balanced;
9. The examination of magnetic separation of volatile ashes. In magnetic dust the ferromagnetic fraction content, $\text{Fe}^{3+} + \text{Fe}^{2+}$, Fe^{2+} , contents of silicon and density were determined. In thin ash the content of magnetic fraction and total content of iron compounds was determined;
10. Determination of application of the released magnetite dust.

According to the described scheme assessment of suitability for production of magnetite dust using dry method, the volatile ashes and cinders from 20 electric power stations and thermal-electric power stations, two of them are fired with lignite and eighteen with hard coal, were examined. Results of research and characteristic of magnetite dusts from experimental and industrial installation are shown in table 1.

Analysis of the results shows a very large spread of iron compounds and magnetic fraction content in ashes, which is illustrated on the following data:

- Compounds of divalent iron (Fe^{2+})
from 0.15% to 2.37%,
- Total content of iron compounds (Fe_c)
from 1.06% to 12.00%,
- Magnetic fraction (D_p)
from 0.86% to 10.10%.

Moreover, there is the impact of collection spot of ash from electrofilters on the content of these components and the size of the recovery of magnetite dust, ashes from the I zone have the highest contents of ferromagnetic fraction and iron compound and the ashes from the III zone the lowest.

Statistic surveys of the entire results data of examined volatile ashes let to establish the relationship between a content of magnetic fraction and content of an iron compounds as a following formulas show:

- Relationship between the contents of the magnetic fraction and total content of divalent iron compounds:

Tabela 1

Właściwości pyłów magnetycznych wydzielanych na sucho z popiołów lotnych

Table 1

Properties of magnetic dust dry-separated from fly ash

Lp. Nr	Elektrownia elektrofiltr Power plant electro-filter	Popiół lotny Flying ash		Pył magnetytowy Magnetics dust				Uzysk, [%] Yield, [%]
		Zawartość, [%] Contain, [%]		Zawartość, [%] Contain, [%]				
		Frakcja magnetyczna Magnetic fraction	Żelazo całkowite Fe ^c Iron total Fe ^c	Frakcja magnetyczna Magnetic fraction	Żelazo całkowite Fe ^c Iron total Fe ^c	Krzem SiO ₂ Silikon SiO ₂	Gęstość, [g/cm ³] Density [g/cm ³]	
1.	Wyniki badań na stanowisku doświadczalnym Investigation in laboratory scale							
1.1.	Elektrownia Se Power plant Se							
	I strefa I sphere	6,87	10,52	92,61	62,33	9,05	4,23	3,53
	II strefa II sphere	6,73	10,30	91,43	61,12	9,93	4,12	0,96
	III strefa III sphere	3,21	6,69	80,74	57,63	11,43	4,17	0,40
1.2.	Elektrownia Rb Power plant Rb							
	I strefa I sphere	6,55	7,49	95,06	51,72	11,69	3,82	2,89
	II strefa II sphere	1,99	7,28	94,53	53,42	11,66	3,89	0,19
	III strefa III sphere	0,76	5,30	91,44	53,42	12,83	3,68	0,19
2.	Wyniki badań pyłu magnetytowego z instalacji przemysłowych z płytami BWP Investigations in industrial scale with BWP plate							
2.1.	EC Bd	3,55	4,59	85,82	57,33	–	–	0,5
2.2.	El Co	3,90	5,99	55,12	55,12	10,34	–	1,27
2.3.	El Hl	3,09	4,37	94,48	59,34	9,79	–	4,47
2.4.	El. Jw. II	8,30	8,62	57,97	47,88	14,55	3,54	6,08
2.5.	El. Łg	5,08	6,02	55,21	55,14	11,68	–	2,00
2.6.	El. Łz	3,33	5,25	94,31	57,16	9,64	–	1,08
2.7.	El. Ot	9,87	7,23	91,96	57,66	8,01	–	4,81
2.8.	El. Rb	6,28	4,17	94,47	51,04	10,26	3,46	1,50
2.9.	El. Se	10,10	8,88	88,22	50,96	9,50	3,97	3,25
2.10.	EC Żr	9,51	11,02	98,16	55,01	9,70	–	2,94
2.11.	EC Wo	2,99	12,00	94,48	57,83	12,31	–	0,71
2.12.	EC Ga	6,07	–	88,10	60,77	7,19	–	1,01

$$D_p = 0,93 + 3,05 \times Fe^{+2}$$

– zależność pomiędzy zawartością frakcji magnetycznej a zawartością całkowitą związków żelaza:

$$D_p = 2,82 + 0,25 \times Fe_c$$

Uwzględniając ilości wydzielanego pyłu magnetytowego na stanowisku doświadczalnym z płytą BWP, opracowano zależność wielkości odzysku pyłu magnetytowego „U” od zawartości frakcji magnetycznej w popiele lotnym w następującej formie:

$$U = -0,16 + 0,41 \times D_p$$

$$D_p = 0,93 + 3,05 \times Fe^{+2}$$

– Relationship between the contents of the magnetic fraction and total content of iron compounds:

$$D_p = 2,82 + 0,25 \times Fe_c$$

Taking into consideration the quantity of emitted magnetite dust on experimental station with plate type BWP, the dependence between the recovery of magnetite dust “U” and content of magnetic fraction in volatile ash was elaborated as follows:

$$U = -0,16 + 0,41 \times D_p$$

Dla ówczesnych warunków ekonomicznych proces separacji popiołu lotnego był uzasadniony w przypadku wydzielania minimum 1% pyłu magnetytowego, co osiągnano gdy popioły lotne zawierały:

- frakcji magnetycznej – minimum 5,03%;
- związków żelaza dwuwartościowego – minimum 0,88%;
- całkowitą ilość związków żelaza – minimum 3,60%.

Stwierdzenie znacznych różnic właściwości pyłu magnetytowego z poszczególnych popiołów lotnych i miejsca ich odzysku w zasadniczy sposób wpływa na decyzję o odzysku i miejscu separacji popiołu. Tym bardziej, że około 80% popiołu wydzielane jest w I-szej strefie elektrofiltra, a w II około 15% i około 5% w III strefie.

Badano także możliwości odzysku pyłu magnetytowego z domielonych żużli. Najbardziej interesujące wyniki uzyskano separując w polu magnetycznym (płyta BWP) żużel rodzaju wapniowego ze spalania węgla brunatnego (Fe_t 54,27–55,68%; SiO_2 8,50–13,55%; gęstość 4,08–4,23 g/cm³; uzysk 0,31–0,54%).

Uwzględniając, że w szeregu elektrowni i elektrociepłowni hydraulicznie odprowadzano produkty spalania na składowiska, przeprowadzono badania odzysku frakcji ferromagnetycznej z zawiesin wodno-popiołowych, według opisanego schematu badania suchych popiołów. Zestawienie uzyskanych wyników badania popiołów i pyłów magnetytowych podano w tabeli 2.

Porównując rezultaty odzysku pyłu magnetytowego z popiołów na sucho na płytach BWP i na mokro na separatorach ze stałymi magnesami, nasuwa się następujące wnioski:

- pył magnetytowy wydzielony z popiołu na sucho charakteryzuje się lepszymi parametrami niż wydzielony z zawiesiny wodno-popiołowej na stanowiskach doświadczalnych;
- pył magnetytowy wydzielony natomiast w instalacjach przemysłowych wykazuje także znaczne różnice z tym, że najwyższą jakość prezentuje pył odyskiwany na mokro.

3. Metody wydzielania pyłu magnetytowego

Wybór metody wydzielania pyłu magnetytowego z popiołów lotnych uzależniony jest od rozwiązania układu odpielania kotła (kotłów). Uwzględniając te uwarunkowania opracowano technologię i urządzenia do wydzielania pyłu magnetytowego z suchego gorącego popiołu oraz z zawiesiny wodno-popiołowej [27].

Wydzielanie pyłu magnetytowego na sucho. Zasadniczy postęp w wydzielaniu pyłu magnetytowego przyniosło uruchomienie produkcji separatorów magnetycznych typu BWP opartych o zasady działania

For contemporary economic conditions, the process of volatile ash separation was justified in case of 1% magnetite dust emission, which was reached when volatile ashes contained:

- Magnetic fraction minimum 5.03%,
- Divalent iron compounds minimum 0.88%,
- Total iron compounds minimum 3.60%.

Finding significant differences properties of magnetite dust from each volatile ashes and place of their recovery importantly influences on decision about recovery and place of ash separation. Furthermore, about 80% of ash is emitted in first zone of electrofilter, on second zone it is 15% and 5% in third zone.

The potential for recovery of magnetite dust from milled cinders was examined. The most interesting results were obtained by separation in magnetic field (BWP plate) the cinder from lignite combustion (Fe_t 54.27–55.68%; SiO_2 8.50–13.55%; density 4.08–4.23 g/cm³; yield 0.31–0.54%).

Considering that in the number of electric and thermal-electric power stations the combustion products were taken away hydraulically, the examination of recovery of ferromagnetic fraction from hydro-cinder suspension were carried through according to the described scheme of dry ashes research. Summary of the results obtained in tests of ashes and dust are given in table 2.

Comparing the results of recovery of magnetite dust from dry ashes on BWM ashes and wet on separators with stable magnets the following conclusion are reached:

- The magnetite dust extracted from dry ash has better parameters than the one extracted from hydro-ash on experimental stations;
- The magnetite dust extracted in industrial installations seems to have better quality in case of dust obtained in wet method.

3. Methods of extracting magnetite dust

Selecting the method of extraction of magnetite dust from volatile ashes depends on the solution of ash removal boilers. Having regard to the modalities, the technology and equipment to extract the magnetite dust from dry hot ash and from hydro-ash suspension were developed [27].

The secretion of dry magnetite dust. Essential progress in the production of magnetite dust was brought by starting the production of magnetic separators (type BWP) based on principles of linear

Tabela 2

Właściwości pyłów magnetycznych wydzielanych na mokro z popiołów lotnych

Table 2

Properties of magnetic dust wet-separated from fly-ash

Lp. Nr	Elektrownia elektrofiltr Power plant electro-filter	Popiół lotny Flying ash		Pył magnetytowy Magnetics dust				Uzysk, [%] Yield, [%]	
		Zawartość, [%] Contain, [%]		Zawartość, [%] Contain, [%]					
		Frakcja magnetyczna Magnetic fraction	Żelazo całkowite Fe ^c Iron total Fe ^c	Frakcja magnetyczna Magnetic fraction	Żelazo całkowite Fe ^c Iron total Fe ^c	Krzem SiO ₂ Silikon SiO ₂	Gęstość, [g/cm ³] Density [g/cm ³]		
1.	Wyniki badań na stanowisku doświadczalnym z separatorem FMA-63 (stosunek popiołu do wody 1 : 10) Laboratory tests with FMA-63 separator (ash:water proportion 1 : 10)								
1.1.	Elektrownia Se Power plant Se								
	I strefa I sphere	6,87	10,52	83,74	49,33	15,41	4,16	0,57	
	II strefa II sphere	6,73	10,30	80,90	47,54	16,15	4,42	1,06	
	III strefa III sphere	3,21	6,69	71,88	44,58	20,64	3,78	0,71	
1.2.	Elektrownia Rb Power plant Rb								
	I strefa I sphere	6,55	7,49	64,99	34,04	25,92	3,22	0,20	
	II strefa II sphere	1,99	7,28	69,18	35,00	22,73	3,31	0,02	
	III strefa III sphere	0,76	5,30	55,93	32,80	24,55	3,05	0,08	
2.	Wyniki badań pyłu magnetytowego z instalacji przemysłowej ZUO/SM-500/I (zawiesina popiołu lotnego w wodzie o zagęszczeniu ok. 50 g/dm ³ z bloków 2×125 MW _e) Industrial tests of magnetics dust - ZUO/SM-500/I instalation (fluing ash in water, density about 50 g/dm ³ , plants 2×125 MW _e)								
2.1	El Se	śr. av.	4,56	–	94,47 –96,91	54,90 – 57,28	7,69 – 11,78	4,47 – 4,78	–

liniowych silników elektrycznych. Charakterystykę techniczną separatora BWP podaje tabela 3 [25–27].

Płyta magnetyczna BWP z jednej strony wychwytuje cząsteczki magnetyczne z popiołu, a z drugiej strony transportuje je (pył magnetytowy) poza strefę separacji, bez dodatkowych urządzeń transportowych – rysunek 1 [26].

W tych elektrowniach gdzie nie było warunków do instalowania płyt BWP pod lejami elektrofiltrów i istniał hydrotransport popiołów lub/i z mieszaniną popiołów z żużlami opracowano **metodę wydzielania pyłu magnetytowego z zawiesiny wodnej popiołu – separator ZUO/SM-500/I**.

Separator bębnowy SM-500 wykonano w oparciu o magnesy proszkowe, co w ówczesnych warunkach zapewniło uzyskanie najwyższych natężeń pola magnetycznego. Charakterystykę techniczną separatora SM-500 podaje także tabela 3 [27].

electric engines. Technical characteristics of the BWP separator is shown in table 3 [25–27].

On the one hand, the magnetic plate BWP captures the magnetic particles in a dust but on the other hand it transports them (magnetite dust) beyond the zone of separation without additional machinery – Fig. 1 [26].

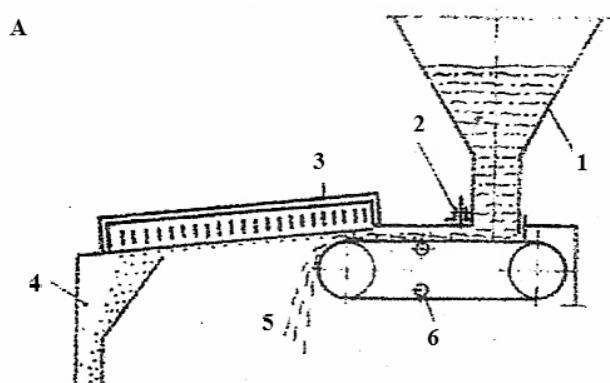
Where there were no conditions to install BWP plates under electrofilter's funnel in power plants and where hydraulic transport of ashes with composition of ashes and cinders was available, **the method of magnetite dust extraction from water suspension of ash – separator ZUO/SM-500/I**.

Drum separator SM-500 was made basing on powder magnets, which in contemporary conditions provided a maximum intensity of the magnetic field. The technical characteristics of separator SM-500 is shown in table 3 [27].

Tabela 3
Charakterystyka techniczna separatorów stosowanych do przemysłowego odzysku pyłu magnetytowego z popiołów lotnych

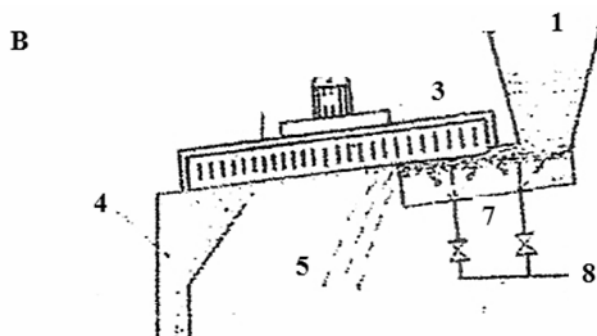
Table 3
Technical characteristics of separators used for industrial recovery of magnetite dust from fly

Lp. Nr	Separator magnetyczny Magnetic separator		Rodzaj pola Field	Indukcja magnetyczna, [Gs] Magnetic induction, [Gs]	Napięcie zasilające pole, [V] Voltaige, [V]	Przepustowość, t/h [m ³] Capacity, t/h [m ³]	Wymiary, [mm] Size [mm]	Masa, [kg] Mass, [kg]
	typ type	popiół ash						
1.	BWP	Suchy, Warstwa 3 mm, Temperatura do 100°C Dry, 3 mm lay, Temperature max. 100°C	wędrujące elektromagnetyczne electromagnetic	4000	380	10-20	część aktywna 300 × 1000 active zone 300 × 1000	
2.	SM-500	zawiesina wodna water slurry	stałe magnetyczne constant magnetic	3500	–	[500]	Bęben Ø 400 L= 6 × 700 2 obroty/min 2875 × 2590 × 1240 Drum Ø 400 L= 6 × 700 2 rot/min 2875 × 2590 × 1240	1700



- 1 – lej elektrofiltrowy / zbiornik popiołu;
- 2 – warstwownica;
- 3 – płyta separatora BWP;
- 4 – zsyp pyłu magnetytowego;
- 5 – zsyp popiołu lotnego po separacji magnetycznej;
- 6 – podajnik taśmowy;
- 7 – podajnik aeracyjny;
- 8 – sprężone powietrze;
- 9 – wentylator

Rys.1
Schemat instalacji z separatorem BWP z taśmowym (A) i aeracyjnym (B) podajnikami popiołu lotnego



- 1 – Fly ash bunker,
- 2 – Layer formation,
- 3 – Separator BWP board,
- 4 – Magnetite dust chute,
- 5 – Fly ash chute after magnetic separation,
- 6 – Belt feeder,
- 7 – Aeration feeder,
- 8 – Compressed air,
- 9 – Fan

Fig.1
Installation with a BWP separator – a diagram. Fly ash belt feeder (A), aeration feeder (B)

4. Produkcja pyłu magnetytowego

W latach 70/80-tych ubiegłego wieku pracowało około 90 separatorów BWP i jeden separator SM-500 (El. Siersza). Separatory BWP pracowały w elektrowniach i elektrociepłowniach m.in.: Chorzów, Halemba, Siersza, Jaworzno I, Jaworzno II, Rybnik, Łagisza,

4. Production of magnetite dust

In the years 70/80's last century there were about 90 separators BWP working and one separator SM-500 (Siersza power plant). Separators BWP worked in power plants and thermal-electric power plants in: Chorzow, Halemba, Siersza, Jaworzno I, Jaworzno II,

Łaziska, Skawina, Łódź II, Bydgoszcz, Gdańsk. Jakość produkowanego pyłu magnetytowego ilustrują dane z tabeli 1 i 2.

Produkcja pyłu magnetytowego osiągała wartości zbliżone do 20.000 t/a. W pięciu tylko elektrowniach wyposażonych w 35 separatorów produkowano 13.400 ton pyłu magnetytowego rocznie.

5. Zastosowanie pyłu magnetytowego otrzymywanego z popiołów lotnych

Największe ilości pyłu magnetytowego wykorzystywano w górnictwie węgla kamiennego do sporządzania cieczy ciężkiej dla wzbogacania urobku [27]. Należy jednak zaznaczyć, że występujące w pyłe magnetytowym zlepienie tlenków żelaza z glinokrzemianami znacznie obniżają gęstość pyłu magnetytowego i pył taki nie jest pełnym konkurentem do typowego obciążnika produkcji skandynawskiej (Fosdalen). Pozwalał jednak na zmniejszenie zużycia importowanego obciążnika. Najlepszymi parametrami cechował się pył magnetytowy z elektrowni Siersza, a następnie pyły magnetytowe uzyskiwane z popiołów elektrowni Jaworzno I i II oraz Skawina [28].

Znaczne ilości pyłu magnetytowego zastosowano w przemyśle cementowym do korekty modułu żelazowego klinkieru. Pył magnetytowy stosowano także w produkcji betonów osłonowych dla obiektów narażonych na promieniowanie radiacyjne.

Duże efekty ekonomiczne uzyskano stosując pył magnetytowy do produkcji smarujących i egzotermicznych zasypek hutniczych [29, 30]. Obecność zlepieńców tlenku żelaza z glinokrzemianami pozytywnie wpływa na przebieg reakcji Goldschmidta. Dostawami pyłu magnetytowego do produkcji zasypek hutniczych i odlewniczych zainteresowane były włoskie i niemieckie firmy.

Dużym sukcesem było opracowanie technologii i zastosowanie pyłu magnetytowego i mikrosfer do opowania kurzawki przy budowie szybu górniczego [31]. Szczególnym przypadkiem jest natomiast zastosowanie pyłu magnetytowego do odolejania zbiorników wodnych, poprzez ich wcześniejszą hydrofobizację [32].

Interesujące są także doświadczenia firmy Rock Tron produkującej kuliste magnetyty pod nazwą handlową MagTronTM przeznaczone nie tylko do sporządzania cieczy ciężkiej do wzbogacania węgla ale także do wytwarzania izolacji dźwiękowej.

6. Podsumowanie

Możliwość i celowość wydzielania pyłu magnetytowego z popiołów lotnych i żużli została pozytywnie zweryfikowana. Obecnie, kiedy dysponujemy dostępem do bardzo skutecznych separatorów magnetytowych (magnesy neodymowe) i istnieje duże zapotrzebowanie na żelazonośne materiały wysoko-

Rybnik, Lagisza, Łaziska, Skawina, Łódź II, Bydgoszcz, Gdańsk. The quality of the produced magnetite dust is illustrated by data in table 1 and 2.

The production of magnetite dust reached values close to 20.000 t/a. Only in five power plants equipped with 35 separators, 13.400 tonnes of magnetite dust a year were produced.

5. Application of magnetite dust derived from the volatile ashes

The biggest number of magnetite dust were used in the mining for the production of heavy liquid to enrich the output [27]. However it should be noted, that agglutinations of iron oxides with aluminosilicates occurring in magnetite dust reduce the magnetite dust's density and dust is not a competitor to the typical weight of production of Scandinavian (Fosdalen). However, it allowed to reduce consumption of imported sinker. The magnetite dust from Siersza power plant had the best parameters, then were magnetite dusts obtained from ashes in Jaworzno I, II and Skawina power plants [28].

Significant quantities of magnetite dust were applied in cement industry for adjustment of ferric clinker module. Magnetite dust was also used for production of shield concrete for objects exposed to radiation.

Large economic effects were obtained using magnetite dust for the production of lubricating and exothermic casting powder [29, 30]. The presence of agglutinations of iron oxide with aluminosilicates positively influences on the course of Goldschmidt's reaction. Supplies of magnetite dust to production of casting powder were the object of interest of Italian and German companies.

Great success was the development of technology and application of magnetite dust and microspheres to control quicksands in the construction of the mining shaft [31]. A special case is the usage of magnetite dust to deoil water tanks through their earlier hydrofobization [32].

Interesting are also the experiences of Rock Tron company which manufactures spherical magnetites called MagTronTM, which are assigned to not only to heavy liquid preparation but the production of insulation as well.

6. Summary

The possibility and desirability of extraction of magnetite dust from volatile ashes and cinders was positively verified. Now, when we have access to highly efficient magnetite separators (neodymium magnets) and there is strong demand for iron-bearing highly-desintegrated materials, there are conditions

rozdrobione, zachodzą warunki do szerokiego upowszechnienia procesu separacji popiołów dla:

- produkcji pyłu magnetytowego na potrzeby dotychczasowych i nowych kierunków jego zastosowania,
- produkcji mikrowypełniaczy popiołowych o podwyższonych własnościach termoizolacyjnych,
- racjonalizacji gospodarki surowcowej w przemyśle.

to the wide dissemination of the process of ash separation for:

- The Production of magnetite dust for existing and new directions of its application,
- The production of ash microfillers of the higher heat-insulating specification,
- Rationalizing the management of primary industry.

Literatura – References

1. Morton W.E.: *Direct reduction of fly ash into ferro-silicon*. Ash Utilization. Fourth International Ash Utilization Symposium, St. Louis, Mo.. March 24, 25, 1976
2. Noone J.M.: *Mineral Extraction from fly ash*. AshTech'84 Second International Conference on Ash Technology and Marketing. London September 16th-21st 1984
3. Harnby N., Burnet G., Kurtha M.: *Mineral recovery from coal conversion solid wastes*. AshTech'84 Second International Conference on Ash Technology and Marketing. London September 16th-21st 1984
4. Kruger R.A., Verbaan B., Cornell D.: *Economical utilisation of pulverized fuel ash – recovery of minerals*. AshTech'84 Second International Conference on Ash Technology and Marketing. London September 16th-21st 1984
5. Szpirt M.Ja., Żujkow B.E., Itkin Ju.W., Żurawlewa Je.T., Wołodariakin I.Ch.: *Koncentrowanie elementów w produktach szlifierki uglej*. *Chimija Twiordowo Topliwa* 1985, nr 3
6. Abisheva Z.S., Blaida I.A., Ponomareva E.I., Beisembaev B.B.: *Reclaiming of fly ash generated by energy-producing coal combustion resulting in rare metals production*. 12th International Coal Preparation Congress. Cracow, Poland, May 23-27, 1994
7. Ahn J-W., Um N-I., Han G-C., You K-S, Lee S-J., Cho H-C.: *Characteristic of Magnetic-Substance Classification from Coal Bottom Ash using Wet Magnetic Separator*. WOCA 09. The World of Coal Ash. May 4-7, 2009 Lexington, Kentucky, USA
8. Moutsatsou A., Itkos G., Koukoulas N., Vounatsos P.: *Synthesis of Aluminum-Based Metal Matrix Composites (MMCs) with Lignite Fly Ash as Reinforcement Material*. WOCA 09. The World of Coal Ash. May 4-7, 2009 Lexington, Kentucky, USA
9. Groppo J., Honaker R.: *Economical Recovery of Fly Ash-Derived Magnetics and Evaluation for Coal Cleaning*. WOCA 09. The World of Coal Ash. May 4-7, 2009 Lexington, Kentucky, USA
10. Zhou H., Luo Y., Yu J., Xiao X.: *Feasibility of Recovery Alumina from Coal Fly Ash*. WOCA 09. The World of Coal Ash. May 4-7, 2009 Lexington, Kentucky, USA
11. Arroyo F., Font Q., Fernandez-Pereira C., Querol X., Chimenos J., Zeegers : *Germanium and Gallium Extraction from Gasification Fly Ash: Optimisation for the Up-Scaling of a Recovery Process*. WOCA 09. The World of Coal Ash. May 4-7, 2009 Lexington, Kentucky, USA.
12. Arroyo F., Camacho N.P., Coca P., Fernández-Pereira C.: *Recovery of Germanium from Coal Fly Ash Leachate by Precipitation*. WOCA 09. The World of Coal Ash. May 4-7, 2009 Lexington, Kentucky, USA
13. Brennan P.: *Processing of fly ash – New developments*. Internatonial Conference EuroCoalAsh Copenhagen, Denmark – May 27-28, 2010
14. War Eagle Completes Successful First Phase Investigation Into The Recovery Of Germanium And Gallium From Coal Flyash In Spain. 2007

15. Tajchman Z., Tora B.: *Badania nad optymalnym wykorzystaniem odpadów przemysłu hutniczego. X Konferencja „Problemy Zagospodarowania Odpadów”*. Wisła 2004
16. Tora B., Kurzac M., Tejchman Z.: *Badania możliwości uzyskania pigmentów żelazowych z odpadów metalurgicznych. Rocznik Ochrona Środowiska 2009, tom 11, cz. 1*
17. Łędzki A., Sanak-Rydlowska S., Tora B., Mazurkiewicz M., Stachura R., Wcisło Z., Klimczyk A., Bernasowski M.: *Możliwości zastosowania zendry powalcowniczej jako obciążnika cieczy ciężkiej W: XIII międzynarodowa konferencja naukowa: Teoretyczne i praktyczne problemy zagospodarowania odpadów hutniczych i przemysłowych: Zakopane 2011 — ISBN 978-83-928069-8-1*
18. Hycnar J.: *Metody wydzielania koncentratów metali z popiołów elektrownianych. Fizykochemiczne Problemy Mineralurgii 1987, str 243-257*
19. Zięba St.: *Surowce wtórne do nawożenia gleb. PWRiL. Warszawa 1982*
20. Gibczyńska M., Meller E., Stankowski S., Wereszczaka J.: *Wpływ popiołu z węgla brunatnego na zawartość makroelementów w glebie i pobrane przez pszenżyto jare. Międzynarodowe Seminarium „Przetwarzanie i wykorzystanie popiołów wysokowapniowych”. Bełchatów, 22-24 lutego 2006*
21. Grzymek J.: *Metoda spiekowo-rozpadowa wytwarzania tlenku glinu i cementu portlandzkiego z łupków z Nowej Rudy i z pyłów dymnicowych względnie iłów turoszowskich. Ogólnokrajowa konferencja. Turoszów 1971*
22. Kosacka E., Rajczyk K.: *Metoda spiekowo-rozpadowa J. Grzymka wytwarzania tlenku glinu i cementu z surowców krajowych. Przegląd Geologiczny 1974, nr 5*
23. Hycnar J., Musialik H.: *Badania możliwości otrzymywania z odpadów paleniskowych koncentratów bogatych w pierwiastki rzadki. Prace FPTE nr 2.7.9.Cz. I i II. ZEOPd. Katowice 1968-1969*
24. Bartoszek B., Ptasiński Z., Wróblewski J., Brühl L.: *Urządzenia do separacji magnetycznej materiałów sypkich. Patent nr 48609.*
25. Ptasiński Z.: *Zasady działania oraz charakterystyka separatora płytowego. Biuletyn Postępu Techniczno-Ekonomicznego Zjednoczenia Energetyki. Seria Ciepła 1965, nr ¾*
26. Garczyński H.: *Separator tlenków żelaza z podajnikiem pneumatycznym. Energetyka 1970, nr 12*
27. Kochański B., Saratowicz A. i inni: *Badania i prace nad doskonaleniem metod i technologii separacji pyłu magnetytowego i innych surowców wtórnych z popiołów lotnych. Problem Resortowy Temat 154-01. ZDUOEI. Katowice 1971-1975*
28. Ambroży J. i inni: *Ocena przydatności pyłu magnetytowego z popiołów lotnych do przygotowania cieczy ciężkiej zawiesinowej dla wzbogacania węgla. Temat DNU – 283/75. GIG. Katowice 1975*
29. *Zasyпка smarująca wlewnice do syfonowego odlewania stali. Patent 132988, 1980*
30. Hycnar J.: *Zastosowanie popiołów elektrownianych do wytwarzania materiałów pomocniczych dla hutnictwa stali i odlewnictwa żeliwa i staliwa. Hutnik 1988, nr 5*
31. *Sposób odcinkowego izolowania termicznego i odcinkowego zwiększania przewodności cieplnej otworów wiertniczych. Patent 235294. 1988*
32. *Sposób usuwania zanieczyszczeń olejowych, tłuszczów, ropy naftowej oraz jej produktów z wód i ścieków. Patent 149243. 1982*