

Material flow model of electronic waste sampling and assaying

Model przepływów materiałowych w pobieraniu próbek i analizie odpadów elektronicznych

DOI: 10.15199/62.2016.7.23

Płytki z obwodami drukowanymi (2 kg) zostały wyjęte ze zużytych telefonów komórkowych (9,3 kg), rozdrobione i zmielone na 2 frakcje ziarnowe poniżej 1,25 mm (młyn wibracyjny, 8 próbek) oraz poniżej 1,00 mm (młyn młotkowy, 8 próbek). Reprezentatywne próbki obu tych frakcji poddano analizie chemicznej na zawartość Cu i Ni metodą spektrometrii absorpcji atomowej. Wyniki oceniono stosując metodę wykresu skrzynkowego (box plot), aby usunąć dane odbiegające. Zawartość Cu była większa w próbce o mniejszych ziarnach niż w próbce o ziarnach większych (odpowiednio 18,14% i 13,71%) a zawartość Ni, przeciwnie, była większa w próbce o ziarnach większych (odpowiednio 1,76% i 2,44%). Zaproponowano procedurę przygotowania reprezentatywnej próbki płytek z obwodami drukowanymi do ich analizy chemicznej.

Europejczycy "wytwarzają" rocznie *per capita* ok. 20 kg zużytych urządzeń elektrycznych i elektronicznych WEEE (waste electrical and electronic equipment) Ich masa wzrasta 3-krotnie szybciej niż całkowita

Printed circuit boards (2 kg) were recovered from waste mobile telephones (9.3 kg), disintegrated and grinded into 2 grain fractions up to 1.25 mm (vibration mill, 8 samples) and up to 1.00 mm (hammer mill, 8 samples). The representative samples of both fractions were analyzed for Cu and Ni contents by at. absorption spectroscopy. The results were assessed by box plot method to remove the deviated data. The Cu content was higher in the samples with smaller grains than that with coarser grains (18.14% and 13.71%, resp.) but the Ni content was higher in the samples with coarser grains than that with smaller grains (1.76% and 2.44%, resp.). A procedure for prepn. of a representative sample of the waste used for chem. anal. was proposed.

Europeans "produce" annually per capita approximately 20 kg of waste electric and electronic equipment (WEEE). This amount increases 3 times faster than the total quantity of waste. About 81% of WEEE is exported, although this could be recycled in the EU which is almost completely dependent on foreign supplies of metals. The recycling of WEEE is very demanding because of the complexity of the appliances and variability of material structures. Sampling for the WEEE composition analysis is difficult, due to the inhomogeneity and composite nature of the materials.

Large part of a small equipment is based on printed circuit boards (PCB). The materials are highly specific from the sampling point of view. The determination of the metal content in the supplied materials

Martina Laubertova is an Assistant Professor at the Institute of Recycling Technologies, Faculty of Metallurgy, Technical University of Kosice. She granted PhD in 2009. Her dissertation was focused on application of microwave energy in chalcopyrite leaching. Its research and development activities are focused on the processing and recycling of waste, mainly metals from electronic waste by hydrometallurgical methods and also on procedure of sampling solid materials.

Dr Martina Laubertova jest profesorem nadzwyczajnym w Instytucie Technologii Recyklingu na Wydziale Metalurgicznym Politechniki w Kosicach. Stopień doktora uzyskała w 2009 r. za pracę dotyczącą wykorzystania energii mikrofal do tógowania chalkopirytu. Jej działalność badawczo-rozwojowa dotyczy przerobu i recyklingu odpadów (głównie elektronicznych) metodami hydrometalurgicznymi a także sposobu pobierania próbek materiałów stałych.



Prof. Dr Marcela MALINDZAKOVA – for the information about Author see our No. 1/2016, page 38.

Prof. dr hab. Marcela MALINDZAKOVA – notkę bibliograficzną i fotografię Autorki wydrukowaliśmy w nr 1/2016, str. 38.

* Autor do korespondencji:

Faculty of Mining, Ecology, Process Control and Geotechnology, Technical University of Kosice, Letna 9, 042 00 Kosice, Slovak Republic, tel.: +421 (55) 602-31-44, e-mail: marcela.malindzakova@tuke.sk

Prof. Dr. Andrea ROSOVA – for the information about Author see our No. 1/2016, page 38.

Prof. dr hab. inż. Andrea ROSOVA – notkę bibliograficzną i fotografię Autorki wydrukowaliśmy w nr 1/2016, str. 38.

masa odpadów. Na eksport trafia prawie 81% masy WEEE, chociaż mogłyby one być poddawane recyklingowi w UE, która jest prawie całkowicie zależna od dostaw metali z zagranicy. Recykling WEEE jest trudny ze względu na złożoność urządzeń i różnorodność ich składu materiałowego. Trudne jest też pobieranie próbek WEEE do analizy ze względu na niehomogeniczny i złożony charakter tych materiałów.

Znaczna część małych urządzeń oparta jest na płytach z obwodami drukowanymi PCB (*printed circuit board*). Materiały te są bardzo specyficzne z punktu widzenia pobierania próbek. Oznaczanie zawartości metali w dostarczanych materiałach ma zasadnicze znaczenie jako podstawa dla późniejszych działań kontrolnych, badawczych i biznesowych. Światowi liderzy w zakresie recyklingu metali niezależnych to firmy Umicore Hoboken w Belgii, Aurubis w Niemczech i Boliden Rönnskär w Szwecji. Wszystkie te firmy przerabiają WEEE metodami pirometalurgicznymi¹⁻³. Zgodnie z klasyfikacją WEEE przyjętą w Dyrektywie UE⁴, telefony komórkowe MT (*mobile telephone*) należą do trzeciej generacji urządzeń z zakresu technologii informatycznych i telekomunikacji. Skład materiałowy MT podany jest w tabeli 1. Zgodnie z Dyrektywą UE⁶, płytki PCB ze zużytych MT (i innych urządzeń) powinny być oddzielane przed ich dalszym przerobem⁶, jeśli ich powierzchnia jest większa niż 10 cm².

Z chemicznego punktu widzenia MT są w pełni heterogeniczne pod względem składu materiałowego. Ich skuteczny przerób w kierunku odzysku metali (takich jak miedź lub metale szlachetne) zależy od sposobu pobierania ich próbek oraz jakości ich analizy. Aby przygotować reprezentatywną próbkę do analizy chemicznej trzeba dokonać najpierw wstępnej homogenizacji materiału, koniecznej dla określenia składu materiału oraz zawartości wartościowych metali w strumieniu odpadów a także zapewnienia optymalnego procesu ich odzysku. Procesy pobierania próbek i ich analizy są stale doskonalone w ścisłej współpracy z dostawcami tych odpadów. Stosowane technologie⁷ są zazwyczaj opracowywane lokalnie. Oparte na analizie chemicznej metody oceny jakości tego typu odpadów nie zostały jeszcze znormalizowane i procedury badania próbek nie zostały jednoznacznie ustalone. Prawdopodobną przyczyną takiego stanu rzeczy jest brak publikowanej wiedzy, jak rozdzielać i przerabiać takie odpady.

Przerób zużytych MT oparty jest na metodach hydrometalurgicznych. Dostępna literatura na temat analizy WEEE i ich dalszego przerobu jest bardzo skąpa. Autorzy wielu publikacji⁸⁻¹⁰ albo nie chcą ujawniać danych, albo przedstawiają je w sposób skrótowy i niejasny. Obecnie brak jest jednak zalecanej metody analitycznej do badania składu WEEE. Taka uznana norma powinna zawierać szczegółowy opis procedury analitycznej (jak prowadzić pomiary) oraz opis sposobu pobierania próbek i ich przygotowania. Norma powinna być jednoznaczna i kompletna a także zawierać sposób prowadzenia obliczeń i przedstawiania uzyskanych wyników.

Pierwszym wskazaniem, co do właściwego pobierania próbek jest rozdrobienie odpadu do końcowej wielkości ziaren w próbce do poniżej 1 mm^{11, 12}. Rosyjska norma¹³ zaleca, aby wielkość ziaren w pobieranej próbce WEEE była

is essential, as it is the basis of all further control, research or business activities. The world leaders in the recycling of non-ferrous metals are Umicore Hoboken in Belgium, Aurubis in Germany and Boliden Rönnskär in Sweden. All the companies process the WEEE by pyrometallurgical methods¹⁻³. According to the categorization of WEEE recommended by the EU Directive⁴, the mobile telephones (MT) belong to the 3rd category of the information technology and telecommunication equipment. The material composition of MT is shown in Table 1. According to the EU Directive⁶, the PCB of MT (and of other devices) have to be removed⁶ before their processing, when the surface of the PCB is larger than 10 cm².

The MTs are substantially heterogeneous in material composition. The successful processing of the MT in order to recover metals (such as copper or precious metals) depends on the quality of sampling and analysis. A pretreatment of the waste (homogenization) is necessary to prepare a representative sample for chemical analysis, to determine the composition and content of precious metals in the waste stream and to ensure the optimum process for their recovering. The sampling and assaying processes are continuously improved in close collaboration with the suppliers of the waste. The technologies applied⁷ are mostly developed "in-house". The methods for characterization (chemical analysis) of this type of waste have not been developed, and the procedure for testing the samples is not clear yet. The possible reason is likely the lack of (published) knowledge how to separate and treat the WEEE.

The processing of discarded MT is based on hydrometallurgical methods but the available literature on analysis and hydrometallurgical processing of WEEE is rather poor. The authors either did not disclose the data, or described them very briefly and unclearly⁸⁻¹⁰. Any standard analytical method for testing the WEEE is not available at present. Such an approved standard method should include a detailed description of the procedure (how the measurement is carried out) and a description of the waste sampling and sample preparation. The standard should be clear and complete, including the method of calculation and presentation of the measurement results. The first requirement for standard sampling is a disintegration of waste to the final grain-size of the sample components at least below 1 mm^{11, 12}. The Russian standard¹³ recommends the WEEE sample grain size under 300 μm but the standard is not approved in the EU countries. The decrease in material grain size to below 1 mm is achieved by multi-stage grinding, followed by milling of the sample. In order to determine whether the sample is representative and whether the chemical analysis is correct, many samples have to be provided and tested. Each sample must be analyzed qualitatively. It means, its chemical composition has to be determined. The review of the literature^{14, 15} showed the atomic absorption spectroscopy (AAS) and energy dispersive X-ray spectroscopy (EDXS) as the mostly used methods for chemical analysis of representative WEEE samples.

Therefore, the aim of this work is to determine the effect of particle size distribution of the material on the chemical determination of Cu and Ni contents in WEEE (in particular in PCB boards from MT) and then to recommend a scheme for the

Table 1. Material composition of MTs⁹

Tabela 1. Skład chemiczny MT⁹

Component Składnik	Plastics Polimery	Fe	Al	Cu	Ag	Au	Pd	Sum Łącznie
Content, % by mass (ppm) Zawartość, % mas. (ppm)	56	5	2	13	(3500)	(340)	(130)	76 (3970)
Value share, % Udział w wartości, %	0	0	0	7	13	67	12	99



Jarmila Trpčevska is working on Technical University of Kosice, Faculty of Metallurgy at Institute of Recycling Technology as an assistant professor. During 1989-2002 she worked on Institute of Materials Research at Slovak Academy of Science as a scientific worker. In the scientific field she has experiences in the following areas: microscopic evaluation of materials, EDX microanalyses of materials, phase composition of materials, surface engineering and processing of metal waste. The main subjects in the field of pedagogy are non-ferrous metals, processing of metallic waste and alloys refining and processing.

Dr Jarmila Trpčevska jest profesorem nadzwyczajnym w Instytucie Technologii Recyklingu na Wydziale Metalurgicznym Politechniki w Kosicach. W latach 1989-2002 była pracownikiem naukowym w Instytucie Badania Materiałów Słowackiej Akademii Nauk. Dysponuje doświadczeniem w zakresie mikroskopowych badań materiałów, mikroanalizy rentgenowskiej materiałów z dyspersją energii EDX, składu fazowego materiałów, inżynierią powierzchni oraz przerobem odpadów metalowych. Prowadzi wykłady z zakresu metali nieżelaznych, przerobu odpadów metalowych oraz rafinacji i przerobu stopów.

mniejsza niż 300 μm , jednak norma ta nie jest uznawana w krajach UE. Zmniejszania wielkości ziaren do poniżej 1 mm dokonuje się przez wielostopniowe rozdrabnianie a następnie mielenie próbek. Aby stwierdzić, czy próbka jest reprezentatywna i czy analiza chemiczna jest miarodajna należy przygotować kilka reprezentatywnych próbek i poddać je analizie. Każda z tych próbek musi być analizowana ilościowo, aby określić jej skład chemiczny. Przegląd literatury^{14, 15} wskazuje, że do chemicznej analizy reprezentatywnych próbek WEEE stosuje się spektroskopię absorpcji atomowej AAS (*atomic absorption spectroscopy*) lub spektroskopię rentgenowską z dyspersją energii EDXS (*energy-dispersive X-ray spectroscopy*).

Celem pracy było zatem określenie wpływu rozkładu wielkości ziaren materiału na chemiczne oznaczanie zawartości Cu i Ni w WEEE (a w szczególności w płytkach PCB z MT) a następnie zalecenie schematu postępowania przy przygotowywaniu reprezentatywnych próbek do analizy. Ze względu na rozbieżności w sposobach przygotowania próbek WEEE badania zostały skoncentrowane na wpływie wielkości ziarna na przebieg analizy chemicznej i powtarzalność jej wyników.

Część doświadczalna

Materiały

Materiałem wyjściowym były MT różnych typów z klawiaturą. Do badań wykorzystano ok. 9,3 kg zebranych zużytych MT. Baterie i obudowy z tworzywa sztucznego usunięto ręcznie. Pozostałe PCB wykorzystano do dalszych badań. Ich całkowita masa wynosiła 2 kg.

Metodyka badań

Zgrubne rozdrabnianie prowadzono za pomocą kruszarki młotkowej (typ SK 600) uzyskując frakcję ziarnową poniżej 8000 μm . Próbkę 1 kg otrzymano przez ręczny podział na 4 części, które następnie 3-krotnie podzielono na pół przy użyciu rozdzielacza. Aby usunąć magnetyzujące się składniki, próbki poddano magnetycznej separacji. Osiem reprezentatywnych próbek (KH1–KH8) zmielono w młynie wibracyjnym (typ ML4) uzyskując frakcję ziarnową poniżej 1250 μm , a 8 dalszych reprezentatywnych próbek (KH9–KH16) zmielono w młynie młotkowym (typ Veber SPO) uzyskując frakcję ziarnową poniżej 1000 μm . Wszystkie reprezentatywne próbki analizowano 2-krotnie na zawartość miedzi i niklu metodą AAS (Varian Spectrometer AA 20+) pobierając do badania po 1 g każdej z tych próbek. W ten sposób otrzymano 16 wyników pomiaru zawartości Cu i Ni dla każdej granulacji.

W celu określenia rozkładu wielkości cząstek wykorzystano analizę sitową a do badania morfologii cząstek zastosowano obserwację pod mikroskopem cyfrowym Dino-Lite ProAM413T stosując 20-krotne powiększenie. Obrazy próbek przedstawiono na rys. 1 i 2. Miały one charakter wyraźnie heterogeniczny. Próbki mielone w młynie wibracyjnym (rys. 3) miały większe ziarna niż próbki mielone w młynie młotkowym (rys. 4).

W celu oceny symetrii oraz zmienności zbioru danych a także występowania danych znacznie odbiegających (ekstremalnych) wykorzystano wykresy skrzynkowe (rys. 5). Zawartości miedzi w dwóch próbkach z frakcji ziarnowej poniżej 1250 μm (19,58% i 7,18%) uznano za obciążone znacznym błędem. Aby zweryfikować to stwierdzenie, wykonano test Grubbsa dla wartości ekstremalnych¹⁶, stosowany w tych przypadkach, gdy liczba doświadczeń jest mniejsza niż 30. Porównanie kryterium testu KT z wartością krytyczną T_{crit} dało wynik $TK < T_{crit}$, co oznaczało, że stwierdzenie było uprawnione i w związku z tym zawartości miedzi 19,58% i 7,18% usunięto ze zbioru danych doświadczalnych. Taką samą procedurę zastosowano dla analizy frakcji ziarnowej poniżej 1000 μm .

Wyniki badań

W tabeli 2 podano wyniki analizy chemicznej na zawartość miedzi i niklu w obu frakcjach ziarnowych, jak również wyniki oceny

przygotowania reprezentatywnej próbki. Ze względu na niespójność procedur WEEE, badanie skupiło się na wpływie granularności próbki na przebieg analizy chemicznej i powtarzalność jej wyników.

Experimental

Materials

The input material included various types of push-button MTs. About 9.3 kg of collected MT were used for the experiment. Batteries and plastic covers were hand dismantled. The remaining PCBs were used for the analysis. Their total mass was 2 kg.

Methods

The crushing operation was carried out in the crusher hammer (type SK 600) to produce fraction below 8000 μm . The sample of 1 kg was obtained by hand quartering, which was then 3 times divided with a divider. The magnetic separation was carried out to remove the magnetic components from the sample. Eight representative samples (KH1–KH8) were milled in a vibration mill to a fraction below 1250 μm and 8 other representative samples (KH9–KH16) were milled in a hammer mill to a fraction below 1000 μm . Both fractions were analyzed for copper and nickel contents by AAS (Varian Spectrometer AA 20+). Two test samples (1 g each) were taken from the representative samples for the chemical analysis. Sixteen experimental data on Cu and Ni contents were obtained for each granularity.

In order to determine the particle morphology of the treated PCB, both samples were subjected to an observation under digital microscope Dino-Lite ProAM413T. The magnification used during the observation was 20. Images of the samples were shown in Fig. 1 and 2. They were significantly heterogeneous.

The sieving analysis was carried out to evaluate the grain size distribution. The samples milled in the vibration mill (type ML4) (Fig. 3) had larger grains than that milled in the hammer mill (type Veber SPO) (Fig. 4).

In order to assess the symmetry and data variability as well as the existence of extreme values, the box plot was used (Fig. 5). The values 19.58% and 7.18% (Cu content) as determined for the fraction below 1250 μm seemed to be burdened with a large mistake. For verification of this assumption, the Grubbs test of extreme values¹⁶ was used, which is used only when the number of measurements is less than 30. The comparison of the test criteria TC with the critical value T_{crit} gave $TC < T_{crit}$, so the hypothesis did not discount and the values 19.58% and 7.18% were removed from the data series. The same procedure was used for the fraction below 1000 μm .

Results

The results of chemical analysis for copper and nickel contents in both fractions as well as statistical data for the analysis of both grain sizes, including the standard deviation (SD), variation range R, and coefficient of variation (V_x), were shown in Table 2. The mean Cu content (X_p value) for the fraction below 1250 μm was 13.71% and for the fraction below 1000 μm was 18.14%. The numbers represent the true values of the Cu content in PCB of MT. The box plot (Fig. 5) showed a diversified representation of the experimental data around the mean value for Cu content. The box plot for Ni was constructed and used similarly. The most important was the extent of variation coefficient V_x . The smaller was the coefficient, the higher was the uniformity of the individual data in the set.

Summary and conclusions

The accuracy of chemical analysis for the determination of copper and nickel in the PCB of MT depends on sample granularity. If the sample is finer in grain size, the chemical analysis is more accurate. Preferably,



Fig. 1. Particle fraction below 1250 μm

Rys. 1. Cząstki poniżej 1250 μm

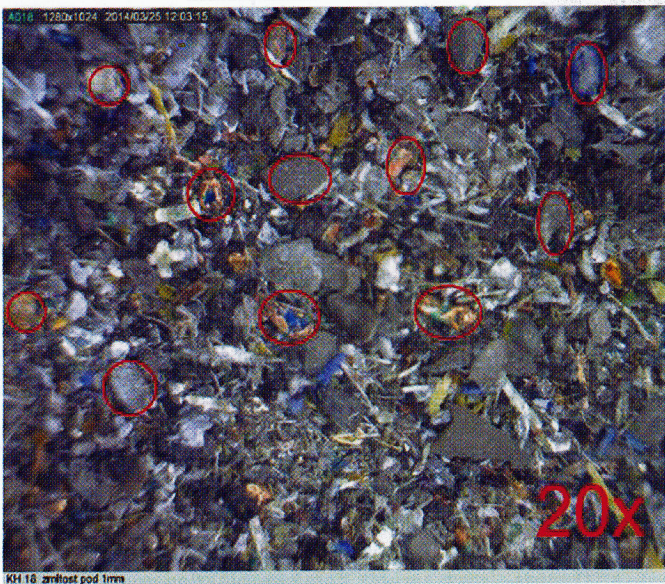


Fig. 2 Particle fraction below 1000 μm

Rys. 2. Cząstki poniżej 1000 μm

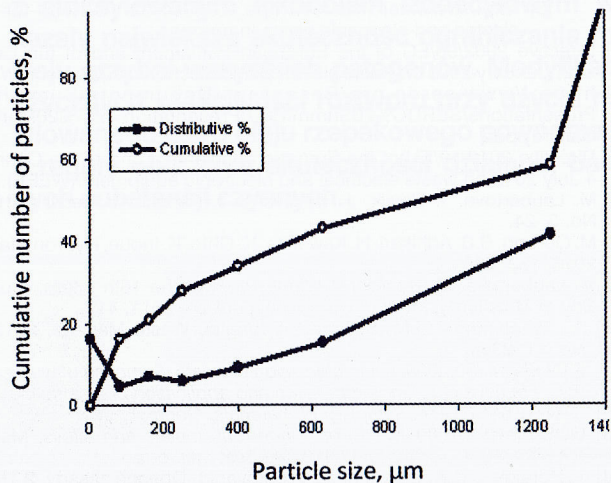


Fig. 3 Grain size distribution below 1250 μm

Rys. 3. Rozkład wielkości ziaren poniżej 1250 μm

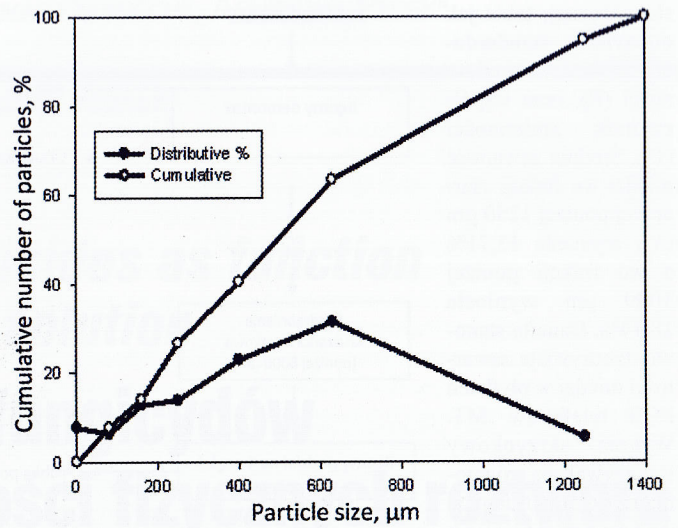


Fig. 4 Grain size distribution below 1000 μm

Rys. 4. Rozkład wielkości ziaren poniżej 1250 μm

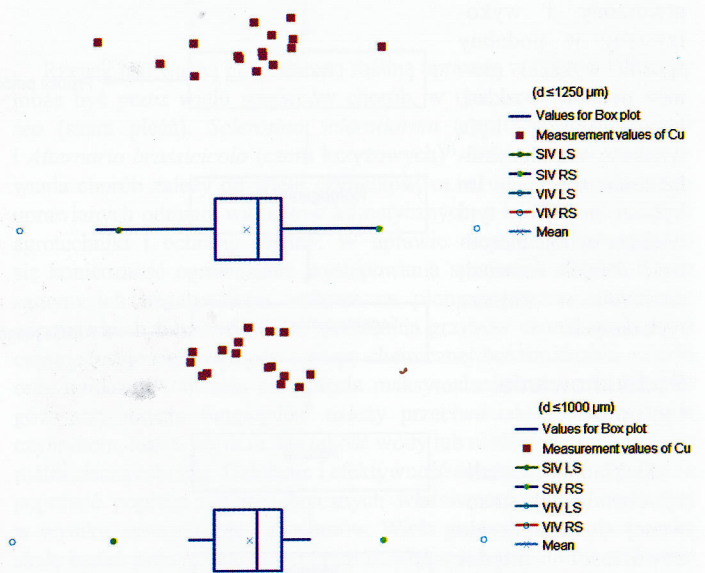


Fig. 5. Cu content values represented in box plot for the fractions below 1250 μm and below 1000 μm

Rys. 5. Wartości na wykresie skrzynkowym dla zawartości Cu we frakcji poniżej 1250 μm i poniżej 1000 μm

Table 2. Comparison of statistical data for both MT fractions, %

Tabela 2. Porównanie danych statystycznych dla obu frakcji MT, %

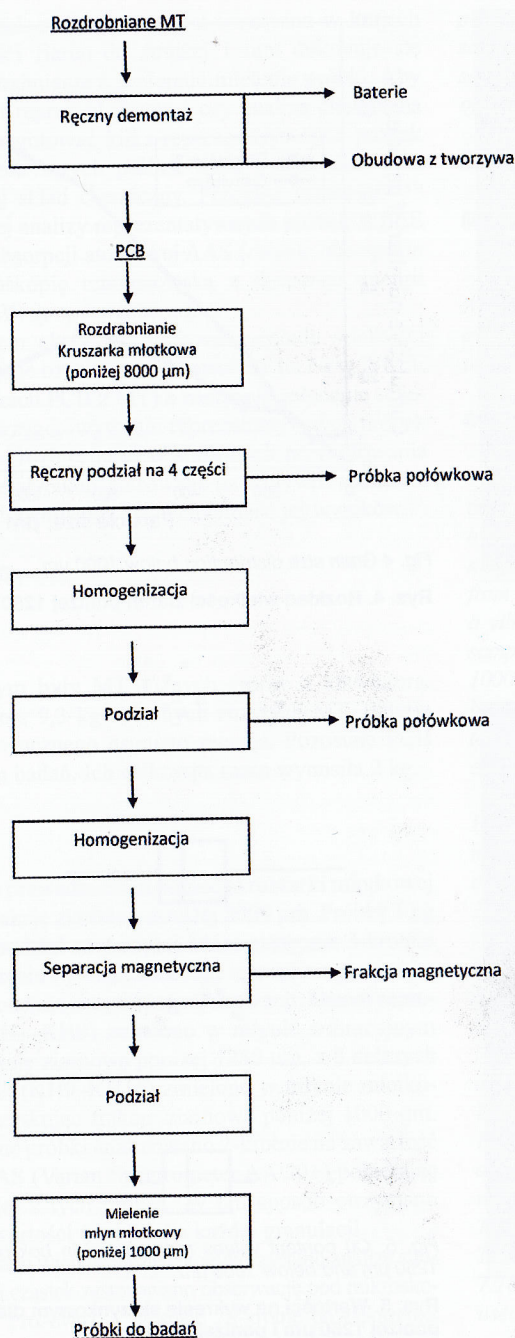
Grain size, μm Wielkość ziarna, μm	below 1250 poniżej 1250		below 1000 poniżej 1000	
	Cu	Ni	Cu	Ni
Metal				
Mean Wartość średnia, %	13.71	2.44	18.14	1.76
Dispersion Rozrzut, %	7.82	1.05	10.99	0.21
SD, %	2.8	1.02	3.31	0.46
R, %	12.40	3.58	10.21	1.66
V_x , %	20.41	42.01	18.27	26.30
Grubbs test				
T_{\max}	2.097	2.206	1.542	1.734
T_{\min}	2.334	1.288	1.539	1.856
$T_{\text{krit.}}$	2.493	2.493	2.493	2.493

statystycznej, takie jak odchylenie standardowe (S), zakres zmienności (R), oraz współczynnik zmienności (V_x). Średnia zawartość miedzi we frakcji ziarnowej poniżej $1250 \mu\text{m}$ (X_p) wyniosła 13,71% a we frakcji poniżej $1000 \mu\text{m}$ wyniosła 18,14%. Dane te stanowią rzeczywiste zawartości miedzi w płytkach PCB telefonów MT. Wykres skrzynkowy wskazywał na równomierny rozkład danych doświadczalnych wokół wartości średniej (rys. 5). Wykres skrzynkowy dla niklu utworzony i wykorzystany w podobny sposób wykazał również podobny rozkład. Najważniejsza była wielkość współczynnika zmienności V_x . Im był on mniejszy, tym większa była jednorodność danych doświadczalnych w zbiorze tych danych.

Podsumowanie i wnioski

Dokładność analizy chemicznej stosowanej do oznaczenia zawartości miedzi i niklu w płytkach PCB telefonów MT zależy od ziarnistości próbek. Jeśli próbka składa się z ziaren o małych rozmiarach to analiza chemiczna jest bardziej dokładna. W przypadku telefonów MT korzystne jest wstępne usunięcie baterii i obudowy z tworzywa sztucznego a następnie rozdrobnienie płytek PCB do wielkości ziaren poniżej $8000 \mu\text{m}$ i ich homogenizację. Całą próbkę dzieli się na pół w rozdzielaczu, usuwa składniki magnetyzujące się i pozostałość ponownie rozdrabnia do wielkości ziaren poniżej $1000 \mu\text{m}$. Następnie przygotowuje się 4 próbki reprezentatywne przez podział i z każdej z nich pobiera się po 1 g do analizy chemicznej. Zawartości miedzi i niklu oznacza się metodą AAS a wyniki poddaje ocenie statystycznej. Wartość średnią z czterech oznaczeń przyjmuje się jako wynik analizy płytek PCB na zawartość miedzi i niklu. Taki schemat postępowania (rys. 6) może być zalecony do tymczasowego stosowania przy oznaczaniu zawartości metali w WEEE.

Praca była finansowana przez Słowacką Agencję Badań i Rozwoju w ramach grantów VEGA No. 1/0216/13 i VEGA No. 1/0425/14.



Rys. 6. Procedura pobierania próbek WEEE

batteries and plastics are removed firstly from MT, then PCBs are shredded to the particle size below $8000 \mu\text{m}$. Crushed PCBs are homogenized. A half of the sample is separated on a sample divider. The magnetic part of the sample is separated. The residual half of crushed sample without magnetic fractions is homogenized again and disintegrated to the grain size below $1000 \mu\text{m}$. Four representative samples are obtained by dividing. The 1 g test sample is taken from each representative sample for the chemical analysis. The copper and nickel contents are determined by the AAS. The results are statistically evaluated. The average of the 4 values of Cu and Ni contents will be considered for the final chemical analysis of PCB. This scheme could be used as a temporary sample preparation procedure for the determination of the metal content in WEEE (Fig. 6).

This work was supported by the Slovak Research and Development Agency under the grants VEGA No. 1/0216/13 and VEGA No. 1/0425/14.

Otrzymano/Received: 04-05-2016

REFERENCES LITERATURA

- [1] https://www.aurubis.com/site/binaries/content/assets/aurubis-en/dateien/image-product-documents/recycling-broschuere_2013_en.pdf.
- [2] http://www.seas.columbia.edu/earth/wtert/sofos/Namias_Thesis_07-08-13.pdf.
- [3] <http://www.zerowasteurope.eu/2011/02/the-need-for-zero-electric-and-electronic-waste-in-europe/>.
- [4] Directive 2002/96/EC of the European Parliament and of the Council of 27 January 2003 on waste electrical and electronic equipment (WEEE).
- [5] <https://www.serdc.org/Resources/Documents/Summit%20Presentations/SERDC%20Summit%20Presentation%20-%20Mark%20Caffarey.pdf>.
- [6] Directive 2012/19/EU of the European Parliament and of the Council of 4 July 2012 on waste electrical and electronic equipment (WEEE).
- [7] M. Laubertová, T. Havlík, J. Trpčevská, J. Pirošková, Metall 2016, 70, No. 3, 24.
- [8] M. Gurung, B.B. Adhikari, H. Kawakita, K. Ohto, K. Inoue, Hydrometallurgy 2013, 133, 2354.
- [9] M. Laubertová, M. Novický, T. Vindt, Proc. of the 18th Intern. Students Day of Metallurgy, Montan Universität Leoben, 2011, 412.
- [10] A. Behnaffard, M.M. Salarirad, F. Veglio, Waste Manage. 2013, 33, No. 11, 2354.
- [11] STN EN 14899:2006, Characterization of waste. Sampling of waste materials. Framework for the preparation and application of a sampling plan.
- [12] STN 01 5111:1974, Sampling of materials. General rules.
- [13] GOST 28192:1989, Waste of non-ferrous metals and alloys. Methods of sampling, sample preparation and test methods.
- [14] V. Horálek, J.G.K. Ševčík at al. Vzorkování I. Obecné zásady, 2 THETA, Český Tešín 2010.
- [15] T. Havlík, Vzorkovanie tuhých materiálov, Emilena, Košice 2006.
- [16] L. Floreková, M. Benková, Proc. of ICCO 2006, Rožnov, May 29-31, 2006.

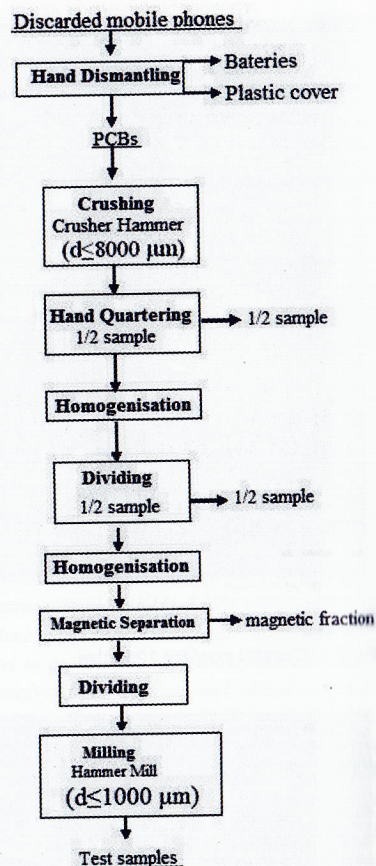


Fig. 6. Procedure for sampling the WEEE

This scheme could be used as a temporary sample preparation procedure for the determination of the metal content in WEEE (Fig. 6).