

Modeling the process for incineration of municipal waste

Modelowanie procesu spielania odpadów komunalnych

DOI: 10.15199/62.2015.8.4

Stworzono model spielania odpadów komunalnych w skali przemysłowej w celu optymalizacji przebiegu tego procesu i ograniczenia emisji.

Ponieważ surowcowe rezerwy świata stale maleją, to nowoczesne technologie muszą pomagać przedsiębiorstwom racjonalnie wykorzystywać wszelkie dostępne materiały jako surowce. Równocześnie następuje gwałtowny wzrost konsumpcji, w wyniku czego powstają olbrzymie ilości odpadów stałych, ciekłych i gazowych. Ze względu na rosnący niedobór surowców z jednej strony oraz zwiększające się zagrożenie dla środowiska z drugiej obserwuje się coraz silniejszą potrzebę racjonalnego i skutecznego wykorzystania odpadów, będących przyszłościowym źródłem energii i surowców. Jedną z metod utylizacji odpadów komunalnych jest ich spielanie. Proces ten można modelować, aby osiągnąć skuteczne ograniczenie emisji.

Każdego roku do firmy Koksov-Baksa (Słowacja) dostarczane jest ok. 83 Gg odpadów i spielane w instalacji przemysłowej (rys. 1). Odpady te poddawane są kilkustopniowej segregacji. Na pierwszym stopniu oddziela się tworzywa sztuczne, elektrośmieci i drewno. Tworzywa sztuczne i elektrośmieci stanowią 18,73%, drewno w róż-

Incineration of municipal waste under industrial conditions was modeled to optimize the plant operation and minimize the dangerous emissions.

The current technologies help companies economically utilize available materials, as the world reserves of raw materials are growing smaller. At the same time, the worldwide trend is characterized by increasingly rapid growth of consumption. The consumption leaves in its trail a massive amount of solid, liquid and gaseous waste. With the growing shortage of raw materials on the one hand and an increasing threat to the environment on the other hand, an increasing need for more sophisticated and efficient use of wastes, as a future source of energy and raw materials, is observed. To dispose the municipal waste, it can be incinerated. The waste incineration process can be simulated to achieve a better emission control.

Every year, about 83 Gg of municipal waste were imported into the Koksov-Baksa company (Fig. 1). The waste underwent several degrees of separation. The first separation step was intended to separate plastics, electrical components and wood from imported waste. The plastic and electrical components constitute 18.73%, wood in various forms 10.00% and other household waste 71.27% of the total volume of imported waste.

Marcela MALINDZAKOVA is an Associate Professor and research assistant with multi-theoretical and practical experience in the research and teaching in the area of the statistics, spreadsheets & word processing, research methods and quality logistics systems. With the PhD in process management, she currently focuses in her research on QMS, EMS and logistics. Her teaching activities involve preparation and implementation of specialized pedagogical documentation. In her work she has so far published over 60 articles for variety of academic journals.

Marcela MALINDZAKOVA jest profesorem i pracownikiem naukowym, dysponującym rozległą wiedzą teoretyczną i praktycznym doświadczeniem w zakresie statystyki, przetwarzania danych, metod badawczych oraz systemów jakości logistyki. Ma doktorat w zakresie zarządzania procesowego i obecnie prowadzi badania w obszarze QMS, EMS i logistyki. Jej działalność pedagogiczna obejmuje przygotowywanie i wykorzystywanie specjalistycznej dokumentacji. Jest autorką ponad 60 prac opublikowanych w różnych czasopismach naukowych.



* Corresponding author (autor do korespondencji):

Technical University of Kosice, Faculty of Mining, Ecology, Process Control and Geotechnology, Letna 9, 042 00 Kosice, Slovak Republic, marcela.malindzakova@tuke.sk

Martin STRAKA is an Associate Professor at the Logistics Institute of Industry and Transport, The Technical University of Košice. He finished engineering study in 1996. PhD study finished in 2005 and habilitation finished in 2008. His research interests are in the area of distribution logistics, simulation, production logistics and information logistics. He has published over 100 papers in journals such as Asian Journal of Engineering and Technology, International Journal Transport & Logistics, International Scientific Journal Acta Montanistica Slovaca, American Journal of Mechanical Engineering, Scientific Journal Metallurgy, Horizons of Transport, Logistics in Practice and others.

Martin STRAKA jest profesorem w Instytucie Logistyki Przemysłu i Transportu Politechniki w Koszycach. Studia inżynierskie ukończył w 1996 r., doktorat w 2005 r., a habilitację w 2008 r. Jego zainteresowania badawcze obejmują logistykę dystrybucji, produkcji i informacji oraz symulacje. Opublikował ponad 100 prac w takich czasopismach, jak Asian Journal of Engineering and Technology, International Journal Transport & Logistics, International Scientific Journal Acta Montanistica Slovaca, American Journal of Mechanical Engineering, Scientific Journal Metallurgy, Horizons of Transport oraz Logistics in Practice.



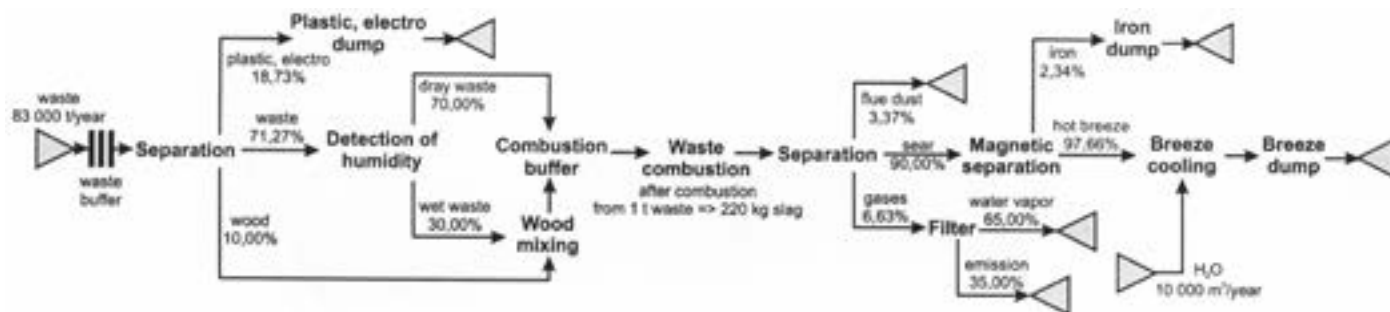


Fig. 1. Simplified scheme of the chemical incinerator complex in Koksov-Baksa

Rys. 1. Uproszczony schemat instalacji przemysłowej do spopielenia odpadów w Koksov-Baksa

nych postaciach 10,00%, a inne odpady z gospodarstw domowych 71,27% całkowitej objętości dostarczanych odpadów.

Drugi stopień segregacji ma miejsce bezpośrednio po spopieleniu odpadów. W trakcie spopielenia tworzy się popiół w ilości 3,37% masy odpadów i powstają gazy odlotowe w ilości 6,63%. Gazy te, składające się z pary wodnej (65%) i zanieczyszczeń (35%), poddawane są filtracji.

Trzeci stopień obejmuje oddzielenie metali zawartych w pozostałościach po spopieleniu. Stanowią one 2,34% objętości tych pozostałości. Resztę (97,66%) stanowi żużel^{1,2}.

Część doświadczalna

Materiały

Wykorzystano stałe odpady komunalne zawierające biomasę (44,5%), tworzywa sztuczne (7–9%), metale (4–5%), opakowania, folie i tekstylia (4%), drewno, gumę i skórę (3%), odpady niebezpieczne (1%), materiały nieorganiczne, takie jak kamienie, piasek, gruz rozbiórkowy i kopalniany (4%), papier (20%) i szkło (9%).

Metodyka badań

Odpady były spopielenie w kotle K1, którego charakterystykę podano w tabeli. Pobierano je z buforowego zbiornika magazynowego kotła K1 przy użyciu 2 dźwigów suwnicowych o nośności 2×10 Mg. Dźwigi były sterowane z kabiny sterowniczej lub z kabiny operatora dźwigu. Komora spalania kotła K1 była wyposażona w palniki zainstalowane na ścianach bocznych oraz palniki stabilizacyjne zasilane gazem ziemnym. Palniki te były wykorzystywane przy rozruchu kotła lub przy jego wygaszaniu, ale także wówczas, gdy temperatura w kotle spadła poniżej 850°C.

The second separation step took place in a waste incineration, just after the burning. The incineration resulted in separation of ash 3.37%, flue gases 6.63%. The gases passed through the filtration and the total volume of flue gases consisted of water vapor 65% and of other emissions 35%.

The third separation step is focused on remaining amounts of metals in the resulting burned residues. The burned residues contained metals (2.34%) and of pure slag (97.66%)^{1,2}.

Experimental

Material

Solid municipal waste contained biomass (44.5%), plastics (7–9%), metals (4–5%), cans, containers, lids, foil and textiles (4%), wood, rubber and leather (3%), dangerous wastes (1%), inorganic materials (rock, sand, gravel from demolitions and mining) (4%), paper (20%) and glass (9%).

Methods

The waste was incinerated in the K1 boiler with characteristics shown in Table. The waste was dispensed from the storage buffer of the boiler K1 with 2 overhead cranes with capacity of 2×10 Mg. Cranes were controlled from the control cabin or from the crane operators' cabin. The combustion chamber of the K1 boiler was equipped with side burners installed on the side walls and stabilizing burners for combustion of natural gas. The burners were used for the start-up and for the shut-down of the boiler; but also in the cases when the temperature in the boiler dropped below 850°C.

Andrea ROSOVA is an Associate Professor at the Logistics Institute of Industry and Transport, The Technical University of Košice. He finished engineering study in 2000. PhD study finished in 2006 and habilitation finished in 2013 in the study field Logistics. Her research interests are in the area of commercial logistics, measurement and evaluation of logistics performance enterprise. She has published over 100 papers in journals such as, Scientific Journal Metallurgy, International Journal Transport & Logistics, International Scientific Journal Acta Montanistica Slovaca, Logistics in Practice and others.

Andrea ROSOVA jest profesorem w Instytucie Logistyki Przemysłu i Transportu Politechniki w Koszycach. Studia ukończyła w 2000 r., doktorat w 2006 r., a habilitację w 2013 r. w dziedzinie logistyki. Jej zainteresowania badawcze dotyczą obszaru logistyki handlowej oraz pomiarów i oceny sprawności przedsięwzięć. Opublikowała ponad 100 prac w takich czasopismach, jak Scientific Journal Metallurgy, International Journal Transport & Logistics, International Scientific Journal Acta Montanistica Slovaca oraz Logistics in Practice.



Maria KANUCHOVA is a teacher of chemistry at the Institute of Earth Resources, The Technical University of Košice. She finished study of chemistry in 1992. PhD study finished in 2004. Her research interests are in the area of structural analysis, general chemistry, preparation and characterization of new materials in environmental chemistry. She has published papers in journals such as, Environmental Progress and Sustainable Energy, Superconductor Science and Technology, Physica C, Applied Surface Science, Solid State Sciences, Chemical Engineering Transactions and others.

Maria KANUCHOVA jest wykładowcą chemii w Instytucie Zasobów Ziemi na Politechnice w Koszycach. Ukończyła studia w 1992 r., a doktorat w 2004 r. Jej zainteresowania badawcze obejmują analizę strukturalną, chemię ogólną, otrzymywanie i charakterystykę nowych materiałów w chemii środowiska. Publikowała prace w takich czasopismach, jak Environmental Progress and Sustainable Energy, Superconductor Science and Technology, Physica C, Applied Surface Science, Solid State Sciences oraz Chemical Engineering Transactions.



Ciepło generowane w trakcie spalania odpadów było wykorzystywane do wytwarzania przegrzanej pary wodnej o temp. 270°C pod ciśnieniem 1,98 MPa. Pojedynczy opromieniowany cylindryczny kocioł K1 zlokalizowany był w kotłowni. Powietrze doprowadzono trzema kanałami. Układ kotła (rys. 2) składał się z 6 rusztów obrotowych³⁾, ustawionych szeregowo i nachylonych pod kątem 30°.

Emitowane gazy spalinowe były poddawane separacji z wydzielaniem cząstek stałych (pył i popiół lotny) oraz zanieczyszczeń gazowych (CO, HCl, NO_x, SO₂, związki organiczne TOC, HF, PCDD, PCDF oraz metale ciężkie). W trakcie procesu spopielenia 5 rodzajów emisji gazowych (CO, HCl, NO_x, SO₂, TOC) badano, analizowano i rejestrowano w sposób ciągły. Emisje HF, furanów, dioksyn i metali ciężkich mierzono okresowo. Emisje gazowe były rejestrowane w automatycznym układzie pomiarowym.

Metody obliczeniowe

Energetyczna sprawność kotła K1 była wyznaczana ze wzoru (1):

$$\eta = \frac{E_p - (E_f + E_i)}{0.97 \cdot (E_w + E_i)} \quad (1)$$

The heat generated by the waste combustion was used to produce superheated steam at 270°C under 1.98 MPa. The single barreled radiant K1 boiler was located in the boiler room. The air access was provided in 3 air passes. The boiler combustion system (Fig. 2) consisted of 6 pieces of roller gridirons³⁾, arranged in a sequence and inclined at 30°.

The emitted combustion gases were divided into solid particles (dust and fly ash) and gaseous pollutants (CO, HCl, NO_x, SO₂, TOC, HF, PCDD, PCDF and heavy metals). During the process of waste incineration, 5 types of gaseous emissions (CO, HCl, NO_x, SO₂, organic compounds) were examined, measured and recorded continuously. The emissions of HF, furans, dioxins and heavy metals were measured discontinuously. Gaseous emissions were recorded by automated measuring system.

Calculations

The energy efficiency of the K1 boiler was calculated by using the formula (1):

$$\eta = \frac{E_p - (E_f + E_i)}{0.97 \cdot (E_w + E_i)} \quad (1)$$

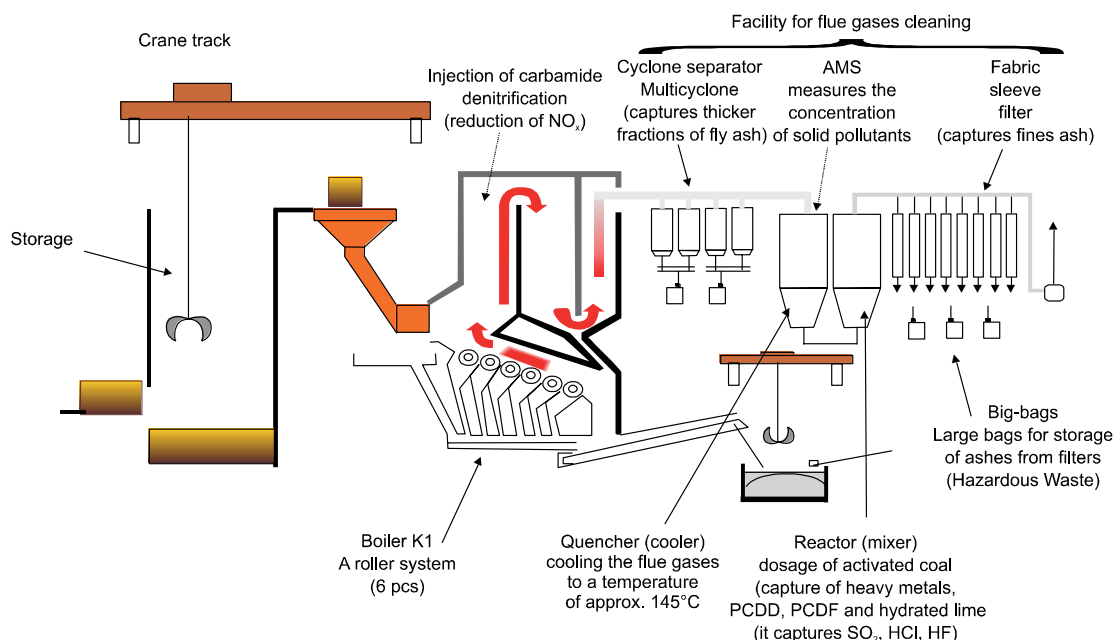


Fig. 2. The basic overview of the material flow³⁾

Rys. 2. Schemat przepływu masy³⁾

Peter TREBUNA is an Associate Professor at the Institute of technologies and management, Department of industrial engineering and management, Faculty of mechanical engineering, Technical University of Košice. He finished engineering study in 2003. PhD study finished in 2007 and habilitation finished in 2010. His research interests are in the area of modeling, simulation, industrial engineering and production management. He has published over 200 papers in journals such as Elsevier Failure Analyses, American Journal of Mechanical Engineering and others.

Peter TREBUNA jest profesorem w Instytucie Technologii i Zarządzania (Zakład Inżynierii Przemysłowej i Zarządzania) na Wydziale Mechanicznym Politechniki w Koszycach. Studia ukończył w 2003 r., doktorat w 2007 r., a habilitację w 2010 r. Jego zainteresowania badawcze obejmują modelowanie, symulację, inżynierię przemysłową oraz zarządzanie produkcją. Opublikował ponad 200 prac w takich czasopismach, jak Elsevier Failure Analyses oraz American Journal Mechanical Engineering.



Table. Characteristics of K1 boiler

Tabela. Charakterystyka kotła K1

Parameter Parametr	Dimension Wymiar	Quantity Ilość
Communal and other waste (OW) categories Odpady komunalne i inne rodzaje	Mg/h	8–10
Additional fuel, natural diesel gas Dodatkowe paliwo, gaz ziemny	m ³ /h	max. 1660
Amount of produced steam Produkcja pary	Mg/h	14–30
Combustion temperature Temperatura spalania	°C	min. 850
Holding time of flue gas at combustion temperature Czas przebywania gazu odlotowego w temperaturze spalania	s	min. 2
The oxygen content in the flue gas from boiler Zawartość tlenu w gazie odlotowym z kotła	% by vol.	min. 6

odpadów określony został jako blok *Queue*. Po nim następował pierwszy stopień separacji (oddzielenie tworzyw sztucznych, elektrośmieci i drewna), określony jako blok *Select Item Out* na schemacie (rys. 3). Ponieważ odpady były wilgotne, konieczne było dodawanie suchego drewna (blok *Select Item In* na schemacie). Następnie odpady były umieszczane w pojemniku buforowym, z którego były podawane do spopielenia (bloki *Queue* i *Batch* na schemacie). Proces spopielenia w bloku *Batch* dawał statystycznie ok. 220 kg pozostałości po spopieleniu 1 Mg odpadów. Tak więc do wytworzenia 1 Mg pozostałości trzeba było spopielić 4,545 Mg odpadów^{5, 6}.

W następnym stopniu separacji oddzielano popiół lotny, gazy i metale. Operacje te na schemacie zostały pokazane jako 3 bloki *Select Item Out*. W pierwszym z tych bloków wydzielano popiół (3,37%), palne pozostałości (90,00%) i gazy (6,63%). Drugi blok opuszczały gazy składające się z pary wodnej (65%) i gazowych zanieczyszczeń (35%). W trzecim z bloków oddzielane były metale (2,34%) od palnych pozostałości. Gorący żużel stanowił 97,66% masy tych pozostałości.

W ostatniej części schematu blokowego następowało chłodzenie gorącego żużla poprzez stopniowe dodawanie wody. Aby uruchomić symulację, założono, że co 80 min wprowadza się do układu 1 m³ wody. Część wody odparowuje, a część pozostaje w żużlu. To chłodzenie modelowane jest na schemacie blokami *Create* i *Select Item In*. W bloku *Create* dostarczana jest woda do chłodzenia gorącego żużla (funkcja rozkładu *constant*). W bloku *Select Item In* następuje chłodzenie poprzedzone operacją tworzenia mieszaniny wody z gorącym żużlem⁷.

Wnioski

Przeprowadzone studia przypadku objęły zastosowanie metody symulacyjnej do modelowania procesu spopielenia odpadów. Modelowanie symulacyjne było poprzedzone wnikliwą analizą procesu rzeczywistego i przedstawieniem instalacji przemysłowej w postaci schematu blokowego poddanego symulacji. Zestaw dokładnych parametrów procesu i opracowany model w programie *Extend* umożliwiły wyznaczenie ilości produktów z procesu spopielenia w postaci gazowych i stałych emisji. Sformalizowany model symulacyjny został uproszczony do postaci umożliwiającej opis obecnego stanu instalacji do spopielenia odpadów. Stanowi on skuteczne narzędzie do kompleksowej analizy instalacji do spopielenia odpadów w Koksov-Baksa. Dokonana modyfikacja parametrów modelu symulacyjnego umożliwiła przeprowadzenie testów procesowych bez ryzyka ponoszenia nieuzasadnionych kosztów oraz rekomendację sposobu poprawy ruchu instalacji spopielenia odpadów.

Praca została wykonana przy wsparciu Slovak Research and Development Agency (granty VEGA nr 1/0216/13, VEGA nr 1/0036/12 i KEGA nr 004TUKE-4/2013).

Received/Otrzymano: 13-05-2015

tion. Modeling the container before incineration and the actual incineration is modeled by blocks Queue and Batch.

Block Batch in the block diagram represented the incineration of waste. Physically and statistically, it can be concluded that the incineration of 1 Mg of waste yielded about 220 kg of burned residues. Thus, for a production of 1 Mg burned residues 4.545 Mg of waste was needed. Block Batch reflected in this case and for every 4.545 Mg waste entering into the system, the block emitted 1 Mg of burned residue^{5, 6}.

Then, the several levels of separation, for the fly ash, gases and metals were applied. The operations were represented on the diagram by 3 blocks Select Item Out. The 1st block Select Item Out divided the total produced flow into 3.37% ash, 90.00% of burned residues and 6.63% of gases. The 2nd block Select Item Out distributed released gases into 65% of water vapor and 35% of the gaseous emissions. The 3rd block Select Item Out separated the metals 2.34% from the burned residues. The hot slag constituted 97.66% of the burned residues.

The last part of the block diagram was represented by cooling the hot slag by gradual adding water. In terms of providing for the simulation model to run, every 80 min 1 m³ of water was introduced in the system. Part of the water evaporated and part remained in the final slag. Within the block diagram, this is modeled by cooling blocks Create and Select, Item In. The section Create generates water for cooling of the hot slag, using a distribution function "constant". The block Select Item In models the cooling operation and the operation of mixing hot slag with water⁷.

Conclusions

A case study consists in implementing the simulation method to modeling the process for waste incineration. The simulation modeling was preceded by a thorough analysis of the actual process data and a description of each facility represented by set of building blocks in the following simulation. A thorough parameters setting and model development in the Extend software enabled to model also the incineration process outputs in a form of gaseous and solid emissions. The formalized simulation model was simplified to describe the current state of the incineration plant. It provides a tool to analyze the complex processes of waste incineration in the Koksov-Baksa incineration plant. The modification of the simulation model parameters allowed for performing process tests without any risk of unnecessary costs and giving recommendations to improve the incineration plant operation.

This work was supported by the Slovak Research and Development Agency under the grants VEGA No. 1/0216/13, VEGA No. 1/0036/12 and KEGA No. 004TUKE-4/2013.

REFERENCES

LITERATURA

1. M. Straka, E. Zatkovic, R. Schreter, *Acta Logistica* 2014, No. 3, 11.
2. P. Besta, A. Samolejova, K. Janovska, M. Lampa, R. Lenort, *Metallurgiya* 2012, No. 4, 457.
3. Integrated permit 2067-25831/2007/Mil/571070106 (internal document KOSIT, j.s.c.).
4. <http://www.odpady-portal.sk/Document/100373/2010/municipal-waste-municipal-waste.aspx>.
5. S. Szabo, V. Ferencz, A. Pucihar, *Quality Innovation Prosperity* 2013, No. 2, 1.
6. R. Popovic, M. Kliment, P. Trebuna, M. Pekarikova, *Acta Logistica* 2015, No. 3, 1.
7. S. Saniuk, A. Saniuk, *Adv. Mater. Res.* 2008, **44**, 355.

www.przemchem.pl