

Spalanie odpadów w komunalnych urządzeniach grzewczych zagrożeniem dla środowiska i zdrowia człowieka

Waste combustion in municipal heating devices as a threat to the environment and human health

Tadeusz Dziok, Zbigniew Tałach, Marcelina Bury*

Słowa kluczowe: domowe urządzenia grzewcze, odpady, spalanie odpadów, emisja

Streszczenie

Występujące braki paliw stałych na rynku polskim mogą powodować spalanie niedozwolonych materiałów (odpadów) w komunalnych urządzeniach grzewczych. Może to powodować zwiększenie emisji zanieczyszczeń do atmosfery i mieć negatywny wpływ na zdrowie człowieka. Spalanie odpadów powoduje znaczące zwiększenie emisji takich związków jak tlenek węgla oraz związki organiczne, w tym: wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, dioksyny, furany, fenole oraz formaldehydy. Spalanie odpadów ma również bardzo negatywny wpływ na prace urządzeń grzewczych oraz instalacji kominowych.

Keywords: home heating appliances, wastes, waste combustion, emission

Abstract

The shortages of solid fuels on the Polish market may result in the combustion of prohibited materials (waste) in municipal heating devices. This can increase the emission of pollutants into the atmosphere and have a negative impact on human health. The combustion of waste causes a significant increase in emissions of carbon monoxide and organic compounds, including: polycyclic aromatic hydrocarbons, dioxins, furans, phenols and formaldehydes. Waste combustion also has a very negative impact on the operation of heating devices and chimney installations.

1. Wprowadzenie

Brak węgla na rynku paliwa w Polsce oraz rosnące ceny węgla [2] mogą stać się przyczyną stosowania przez odbiorców domowych niedozwolonych materiałów zastępujących paliwa, w tym szczególnie odpadów. Faktem jest, że pod względem energetycznym, odpady mogą być dobrze spalane w domowych urządzeniach grzewczych, ponieważ mogą charakteryzować się bardzo wysoką kalorycznością. Przykładem są tworzywa sztuczne, których wartość opałowa może dochodzić nawet do 37,8 MJ/kg [7] w porównaniu do węgla kamiennego wynoszącą około 25 MJ/kg. Należy jednak zaznaczyć, że spalanie odpadów w sposób przyjazny środowisku nie jest możliwy w komunalnych urządzeniach grzewczych [24]. Stwarza to realne ryzyko znacznego zwiększenia emisji zanieczyszczeń do środowiska i może mieć negatywny wpływ na środowisko i zdrowie człowieka. Istotnym jest również fakt, że spalanie różnego typu odpadów będzie miało destruktywny wpływ na urządzenia grzewcze i systemy kominowe, które mogą ulegać przyspieszonej korozji i przyspieszonemu zużyciu. Z tych powodów na użytek gospodarki komunalnej muszą być stosowane jedynie odpowiednie rodzaje paliw stałych (np. średnie i grube sortymenty węgla kamiennego, pellety drzewne, drewno opałowe) przeznaczonych do konkretnych urządzeń grzewczych. Są przypadki, że dopuszcza się możliwość wykorzystania niektórych własnych odpadów, takich jak:

- odpadowa masa roślinna,
- wyłoki i inne odpady z przetwórstwa produktów roślinnych,
- trociny, wióry, ścinki,
- odpady kory i korka,
- opakowania z papieru i tektury lub kartony,
- opakowania z drewna,
- drewno odpadowe (o ile nie jest zanieczyszczone impregnatami i powłokami ochronnymi),
- odpady ulegające biodegradacji [25].

W artykule dokonano zestawienia dostępnych wyników badań emisji zanieczyszczeń ze współspalania odpadów z węglem kamiennym i biomasą w komunalnych urządzeniach grzewczych, w tym w domowych kotłach grzewczych. Przedstawiono udział sektora komunalno-bytowego w krajowej emisji zanieczyszczeń oraz omówiono szkodliwe działanie emitowanych substancji do atmosfery.

2. Zanieczyszczenia powstające w wyniku spalania odpadów w domowych kotłach grzewczych

W tab.1 przedstawiono wpływ współspalania odpadów w domowych kotłach grzewczych na wzrost emisji zanieczyszczeń. Ze względów technicznych, w domowym kotle grzewczym następuje proces niecałkowitego

* Tadeusz Dziok, dr inż. – AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Energetyki i Paliw, Katedra Technologii Paliw, 30-059 Kraków, al. Mickiewicza 30; e-mail: tadeusz.dziok@agh.edu.pl, Zbigniew Tałach, mgr inż. – Stowarzyszenie Naukowo-Techniczne Inżynierów i Techników Przemysłu Naftowego i Gazowniczego, 30-001 Kraków, Lubicz 25, e-mail: talach3@wp.pl, Marcelina Bury, mgr inż. – AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Energetyki i Paliw, Katedra Technologii Paliw, 30-059 Kraków, al. Mickiewicza 30, e-mail: bury@agh.edu.pl

spalania odpadów. Powoduje to zwiększoną emisję tlenu węgla oraz związków organicznych: WWA (wielopierścieniowych węglowodórów aromatycznych), dioksyn, furanów, fenoli oraz formaldehydu. Mechanizm powstawania toksyn, w wyniku niecałkowitego spalania, jest powszechnie znany [28]. Dodatkowo spalanie tworzyw sztucznych przyczynia się do znaczącej emisji związków chloru. Przykładowo w cząsteczce polichloroku winylu udział masowy chloru kształtuje się na poziomie 56%. Odpady mogą się również odznaczać bardzo wysoką zawartością rtęci, która w procesie ich spalania jest uwalniana do środowiska. Rtęć jest klasyfikowana przez Światową Organizację Zdrowia (WHO) jako jeden z najbardziej toksycznych pierwiastków.

Tabela 1. Wpływ współspalania odpadów w domowych kotłach grzewczych na wzrost emisji zanieczyszczeń

Table 1. Increase in emissions caused by waste co-combustion in home heating boilers

Grupa odpadów	Rodzaj odpadów	Oddziaływanie negatywne	
Tworzywa sztuczne	Butelki plastikowe (PET)	Współspalanie z węglem powoduje znaczący wzrost emisji fenoli i WWA.	[29]
		Współspalanie z drewnem i węglem powoduje znaczący wzrost emisji WWA.	[4, 17]
	Polietylen (PE)	Współspalanie z węglem powoduje wzrost emisji tlenu węgla i stężenia WWA w pyłach.	[3]
	Polichlorek winylu (PVC)	Współspalanie z węglem powoduje wzrost emisji wzrost emisji tlenu węgla i stężenia związków organicznych w pyłach.	[3]
	Terpolimer etylen/propylen/dien (EPDM)	Współspalanie z węglem powoduje wzrost emisji tlenu węgla.	[3]
	Pianki poliuretanowe (PU)	Spalanie powoduje emisję cyjanowodoru i chlorowodoru.	[5]
Guma	Zużyte opony samochodowe	Współspalanie z węglem powoduje wzrost emisji tlenu węgla.	[3]
Materiały drewnopochodne	Płyty wiórowe i pilśniowe (MDF i HDF)	W porównaniu do pelletów z trocin, spalanie pelletów z rozdrobnionych płyt MDF i HDF powoduje wzrost emisji tlenu węgla, tlenków siarki i azotu oraz związków organicznych. Wzrost emisji związków organicznych wynika z procesu niecałkowitego spalania lepiszczy stosowanych przy produkcji płyt drewnopochodnych (np. żywice moczniowo-formaldehadowe).	[30]
		Płyta MDF	Współspalanie z węglem powoduje wzrost emisji WWA
	Płyty OSB, MDF i sklejka	W porównaniu do drewna i pelletów drzewnych spalanie powoduje zwiększoną emisję związków organicznych, w tym formaldehydu.	[27]
	Zużyte meble	W porównaniu do drewna spalanie zużytych mebli powoduje wzrost emisji dioksyn.	[21]
	Podkłady kolejowe	Podkłady kolejowe są produkowane z drewna nasączonego olejami impregnacyjnymi pochodzenia karbochemicznego, najczęściej olejem kreozytowym. Nawet po długim okresie czasu pokłady kolejowe zawierają wysoką zawartość WWA. Z tego też powodu zużyte pokłady kolejowe są traktowane jako odpad niebezpieczny, a niekontrolowany proces ich spalania prowadzi do wysokiej emisji WWA.	[31]
Odpady zmieszane	Odpady komunalne	W porównaniu do biomasy kilkukrotnie wyższa emisja WWA.	[14]
		W porównaniu do spalania węgla następuje znaczący wzrost emisji dioksyn.	[19]
	Odpady ogółem	Odpady mogą charakteryzować się znacznie wyższą zawartością rtęci niż węgiel i biomasa, co będzie powodować znacznie większą emisję do atmosfery.	[7]

Dodatkowo w tab. 2 przedstawiono wpływ spalania wybranych paliw stałych niskiej jakości w domowych kotłach grzewczych na wzrost emisji zanieczyszczeń. Stosowanie tego rodzaju paliw powoduje wzrost emisji dwutlenku siarki, tlenu węgla, tlenków azotu, związków chloru, rtęci i pyłów.

Tabela 2. Wpływ spalania paliw stałych niskiej jakości w domowych kotłach grzewczych na wzrost emisji zanieczyszczeń

Table 2. Increase in emissions caused by low-quality fuels co-combustion in home heating boilers

Rodzaj paliwa	Oddziaływanie negatywne	Źródło
Węgiel brunatny	W porównaniu do węgla kamiennego i biomasy, spalaniu węgla brunatnego towarzyszy zwiększona emisja tlenków siarki, co wynika z wysokiej zawartości siarki.	[11]
	Węgiel brunatny charakteryzuje się znacznie wyższą zawartością rtęci niż węgiel kamienny i biomasa, co będzie powodować znacznie większą emisję do atmosfery.	[7]
Makulatura	Współspalanie z węglem powoduje wzrost emisji tlenu węgla.	[3]
	W porównaniu do drewna spalanie słomy odznacza się zwiększoną emisją pyłów.	[13]
	Słoma odznacza się relatywnie wysoką zawartością chloru, która będzie powodować zwiększoną emisję.	[26]
	Spalanie pelletu ze słomy powoduje wzrost emisji tlenków azotu i tlenu węgla.	[10]

Niepokojące są również doniesienia o wykorzystywaniu do celów komunalnych przetworzonych (zużytych) olejów silnikowych. Oleje przetwarzane są zaliczane do odpadów najbardziej niebezpiecznych. Ich toksyczność wynika z warunków eksploatacji olejów w trakcie pracy silników spalinowych. Podczas ich użytkowania powstają toksyczne produkty starzenia oleju z zawartością metali ciężkich. Warto zwrócić uwagę, że na etapie produkcji olejów silnikowych stosowane są dodatki poprawiające ich właściwości smarowe, np. polichlorowane biofenyle. W rezultacie oleje przetwarzane zawierają wysoką zawartość WWA, metali ciężkich, czy związków chloru [9].

3. Szkodliwe oddziaływanie zanieczyszczeń powstających przy spalaniu odpadów

Zanieczyszczenia emitowane w wyniku współspalania odpadów i olejów przetworzonych w komunalnych urządzeniach grzewczych na paliwa stałe są silnie toksyczne i rakotwórcze. W tab.3 zestawiono negatywne oddziaływania poszczególnych związków na organizm człowieka. Należy podkreślić, że związki te w sposób szkodliwy oddziałują na cały organizm. Są one również szkodliwe dla zwierząt [1].

Tabela 3. Oddziaływanie negatywne wybranych zanieczyszczeń powstających przy spalaniu odpadów w domowym kotle grzewczym

Table 3. Negative influence of selected pollutants generated by combustion of waste in a home heating boiler

Zanieczyszczenie	Oddziaływanie negatywne	Źródło
Tlenek węgla (CO)	Wiązanie tlenu węgla z hemoglobina powoduje powstanie karboksyhemoglobiny (COHb). Powoduje to zmniejszenie możliwości transportu tlenu do narządów i tkanek oraz wywołuje zaburzenia procesów oksydacyjnych wewnątrz komórki, czego skutkiem jest niedotlenienie tkanek. Jest to nasilone w przypadku silnie ukrwionych tkanek i narządów: mózg, układ sercowo-naczyniowy, mięśnie oraz płód.	[12]
Chlorowódor (HCl)	Podrażnienie dróg oddechowych, działanie toksycznie w następstwie wdychania.	[15]
Cyjanowódor (HCN)	Silne działanie toksyczne. Hamuje układ enzymatyczny oksydazy cytochromowej, przez co uniemożliwia wykorzystanie tlenu przez komórki.	[23]

Dioksyny i furany (PCDD/F)	Działanie toksyczne na skórę. Powodują zakłócenia endokrynnych funkcji organizmu, zaburzenia płodności, problemy z utrzymaniem ciąży, a także obniżenie odporności immunologicznej, co objawia się wzrostem podatności na infekcje, zaburzenia psychomotoryczne u dzieci, choroby tarczycy oraz wzrost zachorowań na nowotwory. Dioksyny wykazują zdolność do długotrwałego kumulowania się w organizmie, co potęguje zagrożenie dla człowieka.	[1, 33]
Fenole	Działanie toksyczne, mutagenne, a także rakotwórcze.	[16]
Formaldehyd (CHOH)	Powoduje podrażnienia, stany zapalne, łzawienie, pieczenie spojówek, ból gardła i głowy, nudności, osłabienie oraz bezsenność. Dodatkowo zaburza syntezę białek z aminokwasów, reakcje alergiczne i ma działanie rakotwórcze.	[22]
Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA)	Działanie cytotoksyczne, immunotoksyczne, genotoksyczne i rakotwórcze oraz negatywny wpływ na procesy rozrodcze (teratogeneza, zaburzenia spermatogenezy)	[32]
Związki rtęci (Hg)	Zanik kory mózgowej, zaburzenia sensoryczne, zaburzenia koordynacji ruchowej, zaburzenia mowy, zaburzenia czynności nerek, zmiany emocjonalne, negatywny wpływ na rozwoju płodu	[8, 20]

4. Emisja szkodliwych substancji w Polsce

Należy zaznaczyć, że sektor komunalno-bytowy odpowiada za znaczącą emisję w skali kraju – rys.1. Dotyczy to w szczególności związków organicznych. Przykładowo sektor ten odpowiada za blisko 93% krajowej emisji WWA i 68% dioksyn i furanów. Spalanie odpadów i olejów przepracowanych w komunalnych urządzeniach grzewczych spowoduje znaczący wzrost krajowej emisji zanieczyszczeń. Wpłyne to w sposób bezpośredni na pogorszenie jakości powietrza w Polsce, co będzie spotęgowane na terenach występowania smogu – rejonu silnie zurbanizowane [6].

Należy podkreślić, że do odpadów, których bezwzględnie nie można spalać w urządzeniach komunalnych, m. in. zaliczyć można:

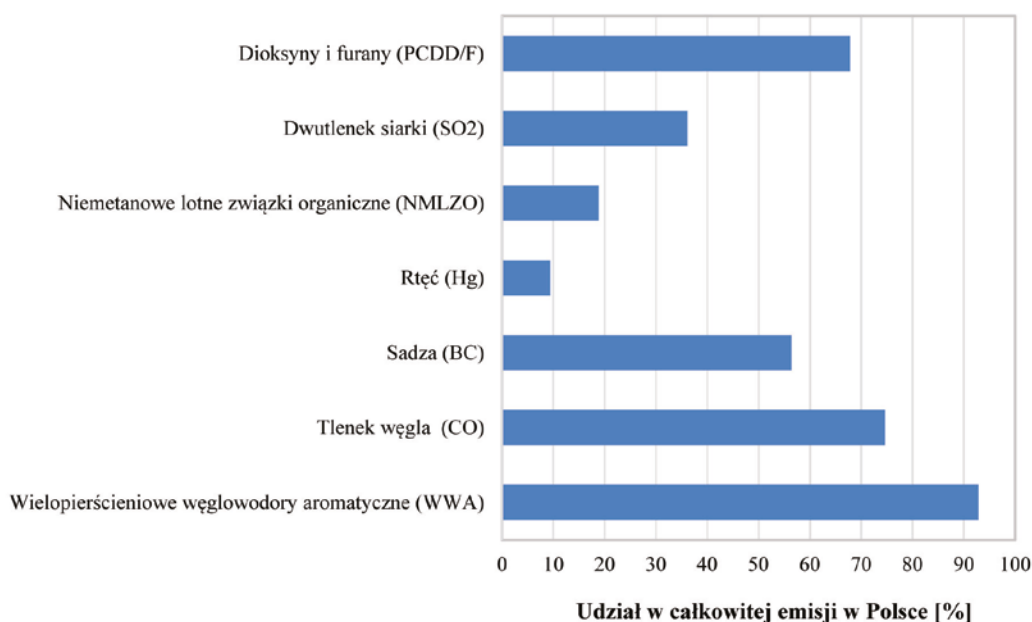
- stare, zużyte meble,
- ramy okienne,

- płyty wiórowe,
- zużyte ubrania, buty,
- plastikowe butelki,
- jednorazowe pieluchy,
- worki foliowe,
- opony i inne gumowe produkty,
- zużyte oleje silnikowe,
- podkłady kolejowe.

Przedstawiony powyżej wykaz odpadów nie obejmuje całego spektrum materiałów, mających negatywny wpływ na środowisko, które nie mogą być spalane w urządzeniach komunalnych, a każdy użytkownik takiego urządzenia powinien spalać tylko dedykowane paliwa stałe, takie jak węgiel kamienny, ekogroszek, drewno, pellet.

5. Podsumowanie

W skali kraju spalanie paliw w sektorze komunalno-bytowym odpowiada za wysoki udział emisji zanieczyszczeń. Współspalanie odpadów, razem z węglem i biomasą w komunalnych urządzeniach grzewczych, przyczyni się do dużego wzrostu tej emisji. Spowoduje to znaczące zanieczyszczenia powietrza w Polsce, który obecnie i tak jest bardzo wysoki, jedno z najwyższych w Europie. Emitowane zanieczyszczenia są toksyczne i rakotwórcze, co stwarza realne zagrożenie dla zdrowia i życia człowieka. Należy zatem dokonać wszelkich możliwych działań, aby nie dopuścić do spalania odpadów w domowych urządzeniach grzewczych. Tym bardziej, że spalanie takich odpadów będzie miało destrukcyjny wpływ na konstrukcję urządzeń grzewczych i instalacji kominowych. W związku z tym należy prowadzić uświadamiające problem akcje społeczne, koordynowane przez urzędy miast i gmin, np. w formie ulotek i biuletynów. Istotną rolę mogą odegrać tutaj również służby kominiarskie, w ramach okresowych przeglądów urządzeń grzewczych. Powinno się także zintensyfikować kampanię medialną, szczególnie poprzez lokalne stacje telewizyjne i radiowe, czy też lokalne gazety. Równocześnie należałoby podjąć działania edukacyjne i kontrolne skierowane do użytkowników komunalnych urządzeń grzewczych na paliwa stałe, mające na celu przeciwdziałanie spalaniu odpadów. Jednak najważniejszą kwestią jest pilne rozwiązanie problemu dostarczenia odpowiednich paliw (w tym węgla kamiennego) dla gospodarki komunalnej o przystępnej dla konsumentów cenie. ■



Rys. 1. Udział procesów spalania paliw stałych w całkowitej emisji w sektorze komunalno-bytowym w Polsce w roku 2020 [18]

Fig. 1. Share of solid fuel combustion processes in the residential sector in total emissions in Poland in 2020 [18]

LITERATURA

- [1] [1] Brzeski Zdzisław. 2011. „Dioksyne i furany w środowisku i ich wpływ na organizm”. *Medycyna Ogólna i Nauki o Zdrowiu* 17(3): 161–164.
- [2] „Ceny węgla”. Dostęp 2022.10.17. https://www.wnp.pl/gornictwo/notowania/ceny_węgla/.
- [3] Cieślak Ewelina Maria, Konieczny Tomasz. 2017. „Emisja ze współspalania węgla i stałych odpadów komunalnych w domowym kotle CO”. *Inżynieria Ekologiczna* 18(2) : 9–13.
- [4] Czaplicka Marianna, Klyta Justyna, Komosiński Bogusław, Konieczny Tomasz, Janoszka Katarzyna. 2021. „Comparison of carbonaceous compounds emission from the co-combustion of coal and waste in boilers used in residential heating in Poland, central Europe”. *Energies* 14 : 5326.
- [5] Dobrzyńska Renata. 2012. „Toksyczność produktów rozkładu termicznego i spalania pianek poliuretanowych stosowanych do wyrobu mebli tapicerowanych”. *Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza* 4 : 53–58.
- [6] Dziok Tadeusz, Tałach Zbigniew, Wierońska Faustyna. 2018. „Zanieczyszczenie powietrza pierwiastkami toksycznymi w wyniku spalania węgla – smog i ich oddziaływanie na zdrowie człowieka”. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* 4 : 127–131.
- [7] Dziok Tadeusz, Bury Magdalena, Bytnar Krzysztof, Burmistrz Piotr. 2021. „Possibility of using alternative fuels in Polish power plants in the context of mercury emissions”. *Waste Management* 126 : 578–584.
- [8] Eisler Roland. 2006. *Mercury hazards to living organisms*. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2006.
- [9] Furtak Lucjan, Stępień A., Szulc J. 2004. „Energetyczne wykorzystanie olejów przepalonych jako paliwa w kotłowniach”. *Instal* 3 : 29–35.
- [10] Gaze Błażej, Noszczyk Tomasz, Romański Leszek, Dyjakon Arkadiusz, Kaużyński Marek. 2020. „Określenie dominującego mechanizmu powstawania NOx w kotłach małej mocy zasilanych biomasą”. *Przemysł Chemiczny* 99(2) : 229–233.
- [11] Górecka-Zbrońska Aleksandra, Kijo-Kleczkowska Agnieszka. 2015. „The influence of biomass type and mass fraction on NOx and SO2 maximum emission during the co-combustion process with hard coal and brown coal”. *Archives of Waste Management and Environmental Protection*. 17(1) : 17–32.
- [12] Jakubowski Marek. 2006. „Tlenek węgla – Dokumentacja dopuszczalnych wielkości narażenia zawodowego”. *Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy* 4(50) : 69–92.
- [13] Janicki Michał. 2013. „Stężenia podstawowych zanieczyszczeń w gazach spalinowych powstające podczas spalania słomy i drewna w kotle wsadowym małej mocy”. *Czasopismo Inżynierii Łądowej, Środowiska i Architektury* 60(4) : 33–43.
- [14] Kakareka Sergey V., Kukharchyk Tamara I., Khomich Valery S. 2005. „Study of PAH emission from the solid fuels combustion in residential furnaces”. *Environmental Pollution* 133 : 383–387.
- [15] „Karta Charakterystyki – Chlorowódor, bezwodny”. Linde, 2017.
- [16] Kocot Karina, Dyrda Gabriela. 2017. „Fotodegradacja wybranych pochodnych fenolu w środowisku wodnym”. W: *Chemia, Badania i Rozwój Młodych Naukowców w Polsce – Chemia*, red. Nyckowiak Jędrzej, Leśny Jacek, 50–55. Poznań: Młodzi Naukowcy, 2017.
- [17] Komosiński Bogusław, Konieczny Tomasz, Czaplicka Marianna. 2020. „Wpływ dodatku tworzyw sztucznych na emisję fenoli podczas ich współspalania z węglem w paleniskach domowych”. W: *Aktualne trendy w ochronie powietrza i klimatu – kontrola, monitoring, prognozowanie i ograniczanie emisji*, red. Sówka Izabela, Gaj Kazimierz, Miller Urszula, 43–44. Wrocław: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2020.
- [18] „Krajowy bilans emisji SO2, NOx, CO, NH3, NMLZO, pyłów, metali ciężkich i TZO za lata 1990 – 2020 Raport syntetyczny”. Warszawa: Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami, 2022.
- [19] Kubica Krystyna. 2010. „Efektywne i przyjazne środowisku źródła ciepła – ograniczenie niskiej emisji (poradnik)”, Katowice: Energia i Środowisko, Fundacja na rzecz Efektywnego Wykorzystania Energii, 2010.
- [20] Li W.C., Tse H.F. 2015. „Health risk and significance of mercury in the environment” *Environmental Science and Pollution Research*. 22: 192–201.
- [21] Moreno Ana Isabel, Font Rafael, Cones Juan A. 2016. „Characterization of gaseous emissions and ashes from the combustion of furniture waste”. *Waste Management* 58 : 299–308.
- [22] Nowicka-Zuchowska Anna, Zuchowski Aleksander. 2018. „Formaldehyd, jego roztwór oraz związki go uwalniające: jedne z najpopularniejszych konserwantów”. *Chemia i Biznes – Rynek Kosmetyczny i Chemii Gospodarczej* 4 : 16–18.
- [23] Ptaszyński Paweł, Mniszek Wojciech. 2012. „Potencjalne zagrożenie cyjanowodorem na terenie koksowni”. *Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Zarządzania Ochroną Pracy w Katowicach* 1(9) : 106–115.
- [24] Rozporządzenie Ministra Rozwoju z dnia 21 stycznia 2016 r. w sprawie wymagań dotyczących prowadzenia procesu termicznego przekształcania odpadów oraz sposobów postępowania z odpadami powstałymi w wyniku tego procesu. Dz.U. 2016 poz. 108.
- [25] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 10 listopada 2015 r. w sprawie listy rodzajów odpadów, które osoby fizyczne lub jednostki organizacyjne niebędące przedsiębiorcami mogą poddawać odzyskowi na potrzeby własne, oraz dopuszczalnych metod ich odzysku. Dz.U. 2016 poz. 93.
- [26] Rozwadowski Andrzej, Dziok Tadeusz. 2017. „Zmiana składu chemicznego popiołu i poprawa właściwości energetycznych słomy zbożowej w wyniku jej wielokrotnego moczenia w wodzie”. *Polityka Energetyczna* 20(1) : 117–134.
- [27] Szczurek Andrzej, Maciejewska Monika, Zajiczek Żaneta, Mościcki Krzysztof. 2021. „Detection of emissions from the combustion of wood-based materials being furniture industry waste”. *Atmospheric Pollution Research* 12(2) 375–385.
- [28] Szewczyńska Małgorzata, Ekiert Elżbieta. 2006. „Niekontrolowane procesy spalania jako źródło powstawania dioksyn i furanów”. *Bezpieczeństwo pracy* 1 : 8–11.
- [29] Tomsej Tomas, Horak Jiri, Tomsejova Sarka, Krpec Kamil, Klanova Jana, Dej Milan Hopan Frantisek. 2018. „The impact of co-combustion of polyethylene plastics and wood in a small residential boiler on emissions of gaseous pollutants, particulate matter, PAHs and 1,3,5 – triphenylbenzene”. *Chemosphere* 196 : 18–24.
- [30] Wasilewski Ryszard, Hrycko Piotr. 2010. „Efekty energetyczno-emisyjne spalania odpadów z przeróbki płyt drewnopochodnych w kotle małej mocy”. *Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska* 12(1) : 27–34.
- [31] Wasilewski Ryszard, Stelmach Sławomir. 2014. „The problem of waste management of wooden railway sleepers”. *Archives of Waste Management and Environmental Protection* 16(3) : 7–16.
- [32] Zasadowski Arkadiusz, Wysocki Adam. 2002. „Niektóre aspekty toksycznego działania wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA)”. *Roczniki Państwowego Zakładu Higieny* 53(1) : 26–35.
- [33] Żukiewicz-Sobczak Wioletta, Chmielewska-Badora Jolanta, Kraśowska Ewelina, Wojtyła Andrzej, Piątek Jacek. 2012. „Wpływ dioksyn na środowisko i organizm człowieka”. *Medycyna Ogólna i Nauki o Zdrowiu* 18(1) : 59–63.