

Mgr inż. Magdalena Skrzyniarz
Politechnika Częstochowska
ORCID: 0000-0002-8577-021X
e-mail: magdalena.kocyba@pcz.pl

Kierunki zagospodarowania odpadów z tworzyw sztucznych w dobie COVID-19

Directions of plastic waste management in the era of COVID-19

Streszczenie

Pojawienie się i szybkie rozprzestrzenienie na cały świat wirusa SARS-CoV-2 spowodowało gwałtowny wzrost produkcji odpadów z tworzyw sztucznych. Największy wzrost zapotrzebowania odnotowano w odniesieniu do środków ochrony osobistej ze względu na fakt, że wiele krajów nakazało ich noszenie w przestrzeni publicznej. W czasie pandemii zwiększyła się również produkcja jednorazowych opakowań żywnościowych. Naukowcy zauważają, że z powodu niewłaściwego gospodarowania odpadami z tworzyw sztucznych oraz usuwania środków ochrony osobistej (SOI) zwiększy się zanieczyszczenie środowiska. Należy wdrożyć racjonalne metody zagospodarowania i przetwarzania odpadów z tworzyw sztucznych, które powstały w czasie pandemii SARS-CoV-2, w taki sposób, aby nie zagrażały środowisku naturalnemu ani zdrowiu ludzkiemu. W niniejszym artykule zaproponowano metodę termicznego przetwarzania wskazanych odpadów, a mianowicie pirolizę, która może zastąpić składowanie oraz spalanie. Metoda ta umożliwia nie tylko skuteczną neutralizację odpadów niebezpiecznych, ale — co jest szczególnie istotne — prowadzi do powstania wartościowych produktów.

Słowa kluczowe:

odpady z tworzyw sztucznych, zarządzanie odpadami, COVID-19

Abstract

The emergence and rapid worldwide spread of the SARS-CoV-2 virus resulted in increase in the production of plastic waste. The greatest increase in demand was recorded for personal protective equipment due to the fact that many countries have ordered their wearing in public space. The production of disposable food packaging has also increased during the pandemic. Researchers noted that environmental pollution will increase due to improper management of plastic waste and disposal of personal protective equipment (PPE). A rational method of management and processing of plastic waste generated during the SARS-CoV-2 pandemic should be developed in such a way that it does not endanger the environment or human health. This article proposes a method of thermal processing of the above-mentioned waste, namely pyrolysis, which can replace landfilling and incineration. This method allows not only effective neutralization of hazardous waste, but also, which is particularly important, leads to the creation of valuable products.

Keywords:

plastic waste, waste management, COVID-19

JEL: Q53, I65

Wprowadzenie

Walka z zanieczyszczeniem środowiska tworzywami sztucznymi do niedawna była jednym ze światowych priorytetów. Poszczególne kraje wprowadzały coraz to nowe przepisy ograniczające produkcję oraz wykorzystanie jednorazowych produktów z tworzyw

sztucznych. Przygotowywały gospodarkę do przejścia na obieg zamknięty, jeśli chodzi o odpady. Pandemia COVID-19 zmieniła spojrzenie na dotychczasowe działania. Z dnia na dzień coraz bardziej popularne i niezbędne stawały się środki ochrony indywidualnej, które w dużej mierze składają się z tworzyw sztucznych. Gwałtownie zwiększył się popyt na jed-

norazowe maseczki chirurgiczne, rękawice ochronne, fartuchy, gogle oraz jednorazowe worki i rękawiczki plastikowe (Vanapalli i in., 2021). Wzrosła sprzedaż żywności, artykułów higienicznych oraz gospodarczych. Kwarantanna, izolacja i strach przez osobistą wizytą w sklepie napędziły internetową sprzedaż żywności oraz innych środków niezbędnych do życia. Ze względów higienicznych wiele z tych artykułów jest pakowanych w jednorazowe opakowania plastikowe i styropianowe. Konieczność wysyłki zamówionych produktów wiąże się z wykorzystaniem kartonów, opakowań, taśm klejących, folii spożywczej, folii bąbelkowej i wypełniaczy, aby bezpiecznie dostarczyć zakupione towary (Janairo, 2021). Podczas zakupów stacjonarnych zachęca się kupujących do używania rękawiczek jednorazowych oraz pakowania oddzielnie wszystkich świeżych produktów do woreczków plastikowych. Pracownicy sklepów są zobligowani do korzystania z jednorazowych maseczek oraz rękawiczek podczas obsługi klientów, które muszą odpowiednio często zmieniać. W związku z tym pandemia COVID-19 spowodowała gigantyczny wzrost ilości odpadów z tworzyw sztucznych. Do 22 listopada 2020 r. w 25 krajach z najwyższą zachorowalnością wytworzono ok. 54 000 t odpadów medycznych (Purnomo i in., 2021).

Pandemia ma również negatywny wpływ na gospodarkę oraz działalność samorządów terytorialnych. Gminy i miasta borykają się ze zwiększoną ilością stałych odpadów komunalnych oraz odpadów medycznych przy jednoczesnym mniejszym wpływie funduszy do budżetu, spowodowanym spowolnieniem gospodarki (Haque i in., 2020). Niedostateczne siły i środki, którymi dysponują samorządy, powodują zaleganie odpadów niebezpiecznych na składowiskach. COVID-19 wywołał nie tylko wzrost ilości stałych odpadów komunalnych, ale również produkcję większej ilości odpadów z tworzyw sztucznych, pochodzących z gospodarstw domowych, gdzie domownicy przebywają w izolacji lub na kwarantannie (Dente, Hashimoto, 2020). Biorąc to pod uwagę, skuteczne zagospodarowanie wyżej wskazanych odpadów jest światowym wyzwaniem, wymuszającym przegląd stosowanych dotychczas technologii i rozwiązań.

Odpady — produkcja, pakowanie

Ilości odpadów covidowych od początku pandemii rosły lawinowo. W Wuhan w Chinach, gdzie wirus został wykryty najwcześniej, ilość odpadów związanych z COVID-19 wzrosła z 40 do 240 t dziennie. Stany Zjednoczone szacowały ilość odpadów na poziomie 5 mln t rocznie, obecnie szacun-

ki zakładają produkcję 2,5 mln t na miesiąc. Korea Południowa wyprodukowała 2 tys. t odpadów COVID-19 od początku pandemii do końca maja 2020 r. (Ilyas i in., 2020).

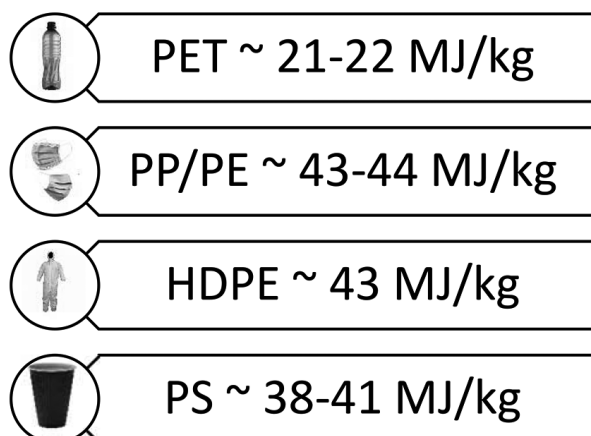
Ilość odpadów z tworzyw sztucznych powstających w czasie pandemii zwiększa się na skutek (Vanapalli i in., 2021):

- używania jednorazowych maseczek i rękawiczek (lateksowych, foliowych itd.),
- używania podczas zakupów większej ilości worków plastikowych, rękawiczek foliowych do pakowania owoców, warzyw oraz dodatkowych opakowań,
- zamawiania przez Internet zakupów spożywczych (podczas kwarantanny, izolacji), co generuje dodatkowe ilości opakowań, folii, wypełnień,
- używania jednorazowych naczyń i sztućców (wygoda i bezpieczeństwo),
- nieracjonalnego gromadzenia produktów spożywczych, chemicznych i higienicznych,
- zwiększonego wytwarzania odpadów biomedycznych z badań laboratoryjnych i testów,
- zwiększonego samoleczenia lekami dostępnymi bez recepty oraz przyjmowania preparatów „na odporność” i „przeciw wirusom”.

Zgodnie m.in. z polskim prawem odpady powstające podczas pandemii, a trafiające do strumienia odpadów zmieszanych, powinny być termicznie unieszkodliwiane poprzez spalanie, pirolizę lub zgazowanie¹. Ustawodawca dopuszcza w ostateczności możliwość czasowego składowania (Liu i in., 2015). Wskazane odpady charakteryzują się niższą gęstością i zawartością wilgoci w porównaniu ze stałymi odpadami komunalnymi oraz wysoką wartością opałową, co czyni z nich wartościowy surowiec energetyczny (rysunek 1) (Behera, 2021).

Rysunek 1

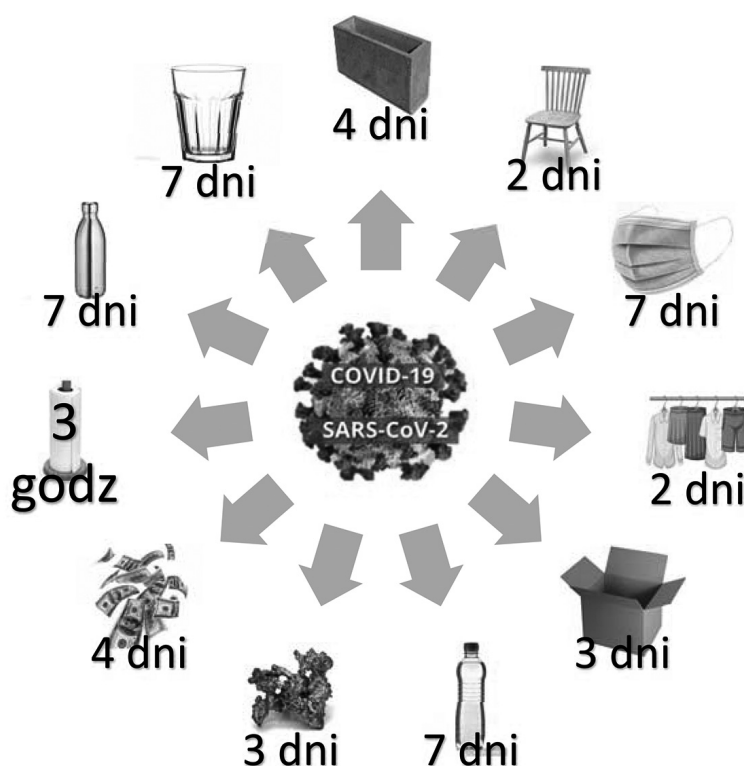
Potencjał energetyczny odpadów z tworzyw sztucznych —
wartość opałowa wybranych odpadów



Źródło: opracowanie własne na podstawie: Honus i in., 2018, s. 346–360.

Rysunek 2

Czas przeżycia wirusa SARS-CoV-2 na poszczególnych powierzchniach



Źródło: opracowanie własne na podstawie: Kampf i in., 2020, s. 246–251; Behera i in., 2021, s. 100432.

Aby odpady covidowe same w sobie nie stanowiły zagrożenia, powinno się je dać jednoznacznie i szybko zidentyfikować. W tym celu odpady te powinny być zbierane np. w worki o ustalonym, odmiennym kolorze, jednoznacznie sugerującym zawartość. Należy je pakować w podwójne worki, zabezpieczając ostre przedmioty, żeby ich nie rozerwały. Koniec należy szczelnie owinąć taśmą, aby zapobiec wszelkim wyciekom zawartości. Odpady oraz miejsce ich składowania powinno zostać dokładnie zdezynfekowane, aby zminimalizować ryzyko zarażenia przez osoby obsługujące odbiór nieczystości. Bardzo często zdarza się, że odpady pochodzące od osób przebywających w izolacji domowej trafiają do strumienia odpadów komunalnych. Takie sytuacje są potencjalnie niebezpieczne ze względu na niewykluczoną transmisję wirusa poprzez przenoszenie na martwych przedmiotach (Ilyas i in., 2020).

Wirus SARS-CoV-2 jest przenoszony drogą kropelkową. Powoduje to jego osadzanie się na różnych powierzchniach. Najnowsze badania pokazują, że może przetrwać i nie stracić na zakaźności do 7 dni, w zależności od tego, na jakiej powierzchni się znajduje, oraz od warunków środowiskowych i poziomu wilgotności. Przeżywalność wirusa na powierzchniach takich jak karton lub miedź waha się od 15 go-

dzin do 3 dni. Na betonie jego przeżywalność sięga 4 dni, natomiast na szkłe i stali nierdzewnej nawet 7 dni. Badacze określili, że po 7 dniach wirus w dalszym ciągu wykazuje właściwości zakaźne na zużytej maseczce chirurgicznej (rysunek 2). Powyższe doniesienia uprawdopodobniają to, że odpady wytworzone w izolacji i na kwarantannie również mogą stanowić zagrożenie epidemiczne. Z tego względu powinny być uznawane za odpady medyczne (Di Maria i in., 2020).

Pomimo naukowych doniesień o możliwości transmisji wirusa poprzez powierzchnie nieożywione Unia Europejska uznała, że nie ma wystarczających dowodów na to, aby wirus znajdujący się w odpadach stanowił zagrożenie. Zalecenia dotyczące sposobu przetwarzania odpadów nie zmieniły się. W dalszym ciągu dopuszczano odzysk odpadów poprzez recykling materiałowy².

Metody zagospodarowania odpadów z tworzyw sztucznych

Najpowszechniej stosowanymi technikami gospodarowania odpadami z tworzyw sztucznych na świe-

cie są recykling mechaniczny, spalanie i składowanie na wysypiskach. W tabeli 1 przedstawiono porównanie wybranych metod zagospodarowania odpadów z tworzyw sztucznych (Benson, Bassey i in., 2021).

Składowanie odpadów na wysypiskach jest stosunkowo najprostszym, ale również najmniej opłacalnym sposobem zagospodarowania odpadów. Aby składować odpady, konieczne jest wykorzystanie ogromnych połaci terenu, które należy odpowiednio przygotować. Ponadto odpady, które mogą być po-

tencjalnie wykorzystane jako paliwo, np. do wytwarzania energii, są niezagospodarowane i rozkładają się samoistnie przez dziesiątki lat. Dodatkowo, w dobie pandemii, składowanie odpadów covidowych jest dozwolone czasowo — tylko wtedy, gdy zostanie wytworzona tak duża ilość odpadów, że innymi dostępnymi metodami nie da się ich na bieżąco zutylizować (Behera, 2021).

Recykling mechaniczny w dobie pandemii COVID-19 jest stosunkowo ryzykowną oraz czasochłonną meto-

Tabela 1

Porównanie wybranych metod zagospodarowania odpadów z tworzyw sztucznych

Technologia zagospodarowania odpadów	Zalety	Wady
Recykling mechaniczny	<ul style="list-style-type: none"> ■ możliwość odzyskania poszczególnych surowców ■ obniżenie zużycia surowców naturalnych ■ mniejsza ilość odpadów trafiających na wysypiska 	<ul style="list-style-type: none"> ■ obróbka mechaniczna odpadów wzbija w powietrze aerozol potencjalnie zawierający wirus SARS-CoV-2 ■ konieczność sterylizacji odpadów wytworzonych podczas pandemii COVID-19
Składowanie na wysypiskach	<ul style="list-style-type: none"> ■ możliwość składowania różnego rodzaju odpadów 	<ul style="list-style-type: none"> ■ konieczna duża przestrzeń do składowania odpadów ■ technologia, od której się odchodzi, na rzecz innych, bardziej przyjaznych środowisku technologii ■ możliwość wycieków do środowiska naturalnego — skażenie wód gruntowych ■ miejsce wylęgu wielu insektów ■ zagrożenie pożarowe ■ zatrucie środowiska w obrębie składowiska
Spalanie	<ul style="list-style-type: none"> ■ technologia prosta w obsłudze ■ redukcja do 90% objętości wsadu 	<ul style="list-style-type: none"> ■ duża energochłonność ■ wysokie wydatki inwestycyjne ■ produkcja toksyn, CO₂ oraz stałych odpadów reszkowych ■ konieczność adaptowania kosztownego systemu oczyszczania spalin ■ produkcja i uwalnianie do atmosfery zanieczyszczeń takich jak dioksyny, furany oraz popiół
Piroliza	<ul style="list-style-type: none"> ■ proces o dużej elastyczności, możliwość sterowania parametrami (temperatura, ciśnienie, czas przebywania) tak, aby uzyskać pożądany produkt ■ całkowita destrukcja toksyn (furany i dioksyny) ■ proces odpowiedni dla utylizacji wielu rodzajów tworzyw sztucznych ■ mała emisja NO_x i CO₂ ■ produkcja mniejszej ilości spalin na kilogram odpadów w porównaniu z innymi metodami utylizacji ■ współczynnik odzysku energii sięgający 80% 	<ul style="list-style-type: none"> ■ zapotrzebowanie na paliwo o wysokiej wartości opałowej ■ technologia mało znana dla „przeciętnego obywatela”, co rodzi niepewność

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Benson, Bassey i in., 2021; Benson, Fred-Ahmadu i in., 2021; Behera i in., 2021; Purnomo i in., 2021.

dą. W momencie obróbki mechanicznej odpady są wprowadzane w ruch, co powoduje unoszenie się cząstek pary wodnej, która potencjalnie może zawierać wirus SARS-CoV-2. Niejednomyślne doniesienia naukowe dotyczące transmisji i przeżywalności wirusa na martwych powierzchniach mogą sugerować, że stosowanie recyklingu materiałowego odpadów z tworzyw sztucznych w dobie pandemii można rozważyć jedynie po uprzedniej sterylizacji odpadów, która przebiegałaby w odpowiednich warunkach, tj. w temperaturze powyżej 70°C, utrzymywanej przez co najmniej 5 min. Ten dodatkowy etap w przypadku recyklingu materiałowego generuje wyższe koszty obróbki odpadów (Capoor, Parida, 2021).

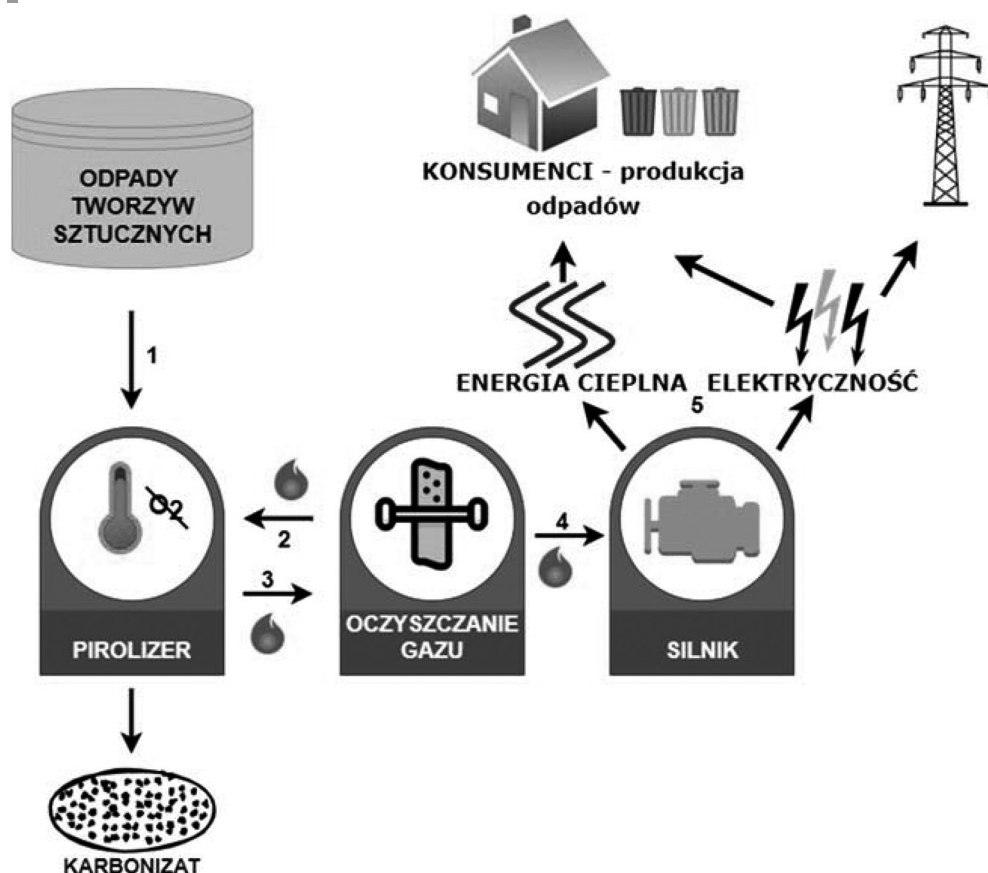
Proces pirolizy polega na termicznym odgazowaniu związków organicznych znajdujących się w paliwie (Mkhize i in., 2017). Piroliza przeprowadzana jest w warunkach obojętnych, najczęściej w atmosferze azotu, bez dostępu tlenu, i prowadzi do uzyskania produktów stałych (karbonizatu), ciekłych (oleju pirolitycznego) i gazowych (gazu

pirolitycznego) (Ouyang i in., 2018). Produkty pirolizy można wykorzystać jako paliwo energetyczne lub jako produkty chemiczne (Xu i in., 2018). Atutem instalacji do pirolizy w stosunku do spalarni odpadów jest jej większa elastyczność w zakresie ilości przetwarzanych odpadów. Instalacje te są bowiem ekonomicznie uzasadnione także w przypadku utylizacji mniejszych ilości odpadów, niż ma to miejsce w przypadku spalarni, co daje szansę małym zakładom gospodarki komunalnej, funkcjonującym m.in. w polskich warunkach, na efektywne i opłacalne zagospodarowanie odpadów stałych. Metoda pirolizy charakteryzuje się ponadto niższymi nakładami finansowymi oraz opłatami środowiskowymi w porównaniu ze spalarniami oraz mniejszą emisją zanieczyszczeń, takich jak CO, CO₂, SO₂ i NO_x (Rajca i in., 2020; Sieradzka i in., 2020; Skrzyniarz, 2020).

Uproszczony schemat procesu pirolizy przedstawiono na rysunku 3. Odpady z tworzyw sztucznych poddawane są procesowi pirolizy, który zachodzi w temperaturze 800–1000°C (1). Produktem procesu

Rysunek 3

Ideowy schemat procesu pirolizy



Źródło: opracowanie własne na podstawie: Kampf i in., 2020, s. 246–251; Kříž i in., 2008, s. 1069–1075; Foster i in., 2021, s. 110226.

jest wysokokaloryczny gaz pirolityczny, który jest odpylany i oczyszczany ze związków agresywnych, mogących powodować korozję (2). Część uzyskanego gazu wykorzystuje się do zasilania palników pirolizera, dzięki czemu koszty procesu pirolizy są niższe (3). Oczyszczony gaz pirolityczny można wykorzystać jako paliwo gazowe spalane w silnikach parowych (4). Jednostka kogeneracyjna może służyć do wytworzenia energii cieplnej oraz elektrycznej, przesyłanej do konsumentów (5).

Biorąc pod uwagę wszystkie powyższe argumenty, można wnioskować, że piroliza jest jedną z najbardziej korzystnych dla środowiska metod zagospodarowania odpadów z tworzyw sztucznych. Dodatkowo inwestycja w instalację do pirolizy pozwala spodziewać się dużego zwrotu, co sprawia, że jej budowa jest ekonomicznie uzasadniona (Al-Salem i in., 2014).

Podsumowanie i wnioski

Zarządzanie odpadami powstałymi w czasie pandemii COVID-19 jest jeszcze na wczesnym etapie. W procesie ich zagospodarowania głównymi źródłami danych są doświadczenia w walce z SARS, MERS-CoV oraz HIV-AIDS. Powoli, ale sukcesywnie napływają nowe dane, pochodzące z badań nad SARS-CoV-2. Obserwacje krajów, takich jak USA,

Korea Południowa, Chiny, Hiszpania oraz Indie, dostarczają nowych informacji na temat zarządzania odpadami covidowymi.

W Polsce gotowa infrastruktura spalarni, która rozlokowana jest na terenie całego kraju, wpłynęła na wybór sposobu zagospodarowania odpadów z tworzyw sztucznych w dobie pandemii. Przepisy uchwalane w szybkim tempie również przyczyniły się do wyboru spalania jako metody utylizacji odpadów.

Pandemia nie skończy się w ciągu jednego dnia. Będzie to długotrwały proces, który prawdopodobnie będzie trwał kilka lat. W tak długim okresie należałoby rozważyć metodę zagospodarowania odpadów, której długofalowe skutki nie przyczynią się do pogorszenia stanu środowiska naturalnego, np. poprzez emisję nadmiernej ilości gazów cieplarnianych i innych zanieczyszczeń.

Piroliza jest perspektywiczną metodą zagospodarowania odpadów, prowadzącą do uzyskania wysokokalorycznych produktów, przeznaczonych do dalszego wykorzystania i zagospodarowania. Ponadto, piroliza jest najbardziej przyjazna środowisku ze wszystkich metod wskazanych w tym artykule. Wszystkie przytoczone argumenty przemawiają za tym, aby omawianą metodę wdrożyć do użytku nie tylko na gruncie polskim, ale również w całej Europie, gdyż stan środowiska naszego państwa jest mocno uzależniony od działań pozostałych państw UE.

Przypisy/Notes

¹ Wytyczne Ministra Klimatu i Głównego Inspektora Sanitarnego w sprawie postępowania z odpadami wytwarzanymi w czasie występowania zakażeń koronawirusem SARS-CoV-2 i zachorowań na wywoływaną przez niego chorobę COVID-19 (w czasie trwania pandemii/epidemii), Warszawa 2020.

² Wytyczne Komisji Europejskiej w sprawie postępowania z odpadami wytwarzanymi w czasie występowania zakażeń koronawirusem SARS-CoV-2 i zachorowań na wywoływaną przez niego chorobę COVID-19 (w czasie trwania pandemii/epidemii), Bruksela 2020.

Bibliografia/References

- Al-Salem, S. M., Papageorgiou, L. G., Lettieri, P. (2014). Techno-economic assessment of thermo-chemical treatment (TCT) units in the Greater London area. *Chemical Engineering Journal*, (248), 253–263. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.03.053>
- Behera, B. C. (2021). Challenges in handling COVID-19 contaminated waste material and its sustainable management mechanism: A Review. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, (15), 100432. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2021.100432>
- Benson, N. U., Bassey, D. E., Palanisami, T. (2021). COVID pollution: impact of COVID-19 pandemic on global plastic waste footprint. *Heliyon*, (7), e06343. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06343>
- Benson, N. U., Fred-Ahmadu, O. H., Bassey D. E., Atayero, A. A. (2021). COVID-19 Pandemic and Emerging Plastic-based Personal Protective Equipment Waste Pollution and Management in Africa. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, (9), 105222. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105222>
- Capoor, M. R., Parida, A. (2021). Current perspectives of biomedical waste management in context of COVID-19. *Indian Journal of Medical Microbiology*, 39(2), <https://doi.org/10.1016/j.ijmm.2021.03.003>
- Dente, S. M. R., Hashimoto, S. (2020). COVID-19: A pandemic with positive and negative outcomes on resource and waste flows and stocks. *Resources, Conservation and Recycling*, (161), 104979. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104979>
- Foster, W., Azimov, U., Gauthier-Maradei, P., Molano, L. C., Combrinck, M., Munoz, J., Esteves, J. J., Patino, L. (2021). Waste-to-energy conversion technologies in the UK: Processes and barriers — A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (135), 110226. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110226>
- Haque, M. S., Uddin, S., Sayem, S. M., Mohib, K. M. (2020). Coronavirus disease 2019 (COVID-19) induced waste scenario: A short overview. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(1), 104660. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104660>

- Honus, S., Kumagai, S., Fedorko, G., Molnár, V., Yoshioka, T. (2018). Pyrolysis gases produced from individual and mixed PE, PP, PS, PVC, and PET — Part I: Production and physical properties. *Fuel*, 221, 346–360. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.02.074>
- Ilyas, S., Srivastava, R. R., Kim, H. (2020). Disinfection technology and strategies for COVID-19 hospital and bio-medical waste management. *Science of the Total Environment*, 749, 141652. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141652>
- Janairo, J. I. B. (2021). Unsustainable plastic consumption associated with online food delivery services in the new normal. *Cleaner and Responsible Consumption*, 2, 100014. <https://doi.org/10.1016/j.clrc.2021.100014>
- Kampf, G., Todt, D., Pfaender, S., Steinmann, E. (2020). Persistence of coronaviruses on inanimate surfaces and their inactivation with biocidal agents. *Journal of Hospital Infection*, 104, 246–251. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2020.01.022>
- Koříž, V., Brožová, Z., Přibyl, O., Sýkorová, I. (2008). Possibility of obtaining hydrogen from coal/waste-tyre mixture. *Fuel Processing Technology*, 89, 1069–1075. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2008.04.011>
- Liu, H. C., You, J. X., Lu, C., Chen, Y. Z. (2015). Evaluating health-care waste treatment technologies using a hybrid multi-criteria decision making model. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 932–942. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.061>
- Di Maria, F., Beccaloni, E., Bonadonna, L., Cini, C., Confalonieri, E., La Rosa, G., Milana, M. R., Testai, E., Scaini, F. (2020). Minimization of spreading of SARS-CoV-2 via household waste produced by subjects affected by COVID-19 or in quarantine. *Science of the Total Environment*, 743, 140803. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140803>
- Mkhize, N. M., Danon, B., Gryp van der, P., Görgens, J. F. (2017). Condensation of the hot volatiles from waste tyre pyrolysis by quenching. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 124, 180–185. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2017.02.007>
- Ouyang, S., Xiong, D., Li, Y., Zou, L., Chen, J. (2018). Pyrolysis of scrap tyres pretreated by waste coal tar. *Carbon Resources Conversion*, 1(3), 218–227. <https://doi.org/10.1016/j.crcon.2018.07.003>
- Purnomo, C. W., Kurniawan, W., Aziz, M. (2021). Technological Review on Thermochemical Conversion of COVID-19-related Medical Wastes. *Resources, Conservation and Recycling*, 167, 105429. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105429>
- Rajca, P., Poskart, A., Chrubasik, M., Sajdak, M., Zajemska, M., Skibiński, A., Korombel, A. (2020). Technological and economic aspect of Refuse Derived Fuel pyrolysis. *Renewable Energy*, 161, 482–494. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.07.104>
- Sieradzka, M., Rajca, P., Zajemska, M., Mlonka-Mędrala, A., Magdziarz, A. (2020). Prediction of gaseous products from refuse derived fuel pyrolysis using chemical modelling software — Ansys Chemkin-Pro. *Journal of Cleaner Production*, 248, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119277>
- Skrzyniarz, M. (2020). Cykl życia odpadów gumowych na przykładzie zużytych opon samochodowych. *Gospodarka Materialowa i Logistyka*, (9), 44–53. <https://doi.org/10.33226/1231-2037.2020.9.5>
- Vanapalli, K. R., Sharma, H. B., Ranjan, V. P., Samal, B., Bhattacharya, J., Dubey, B. K., Goel, S. (2021). Challenges and strategies for effective plastic waste management during and post COVID-19 pandemic. *Science of the Total Environment*, 750, 141514. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141514>
- Xu, S., Lai, D., Zeng, X., Zhang, L., Han, Z., Cheng, J., Wu, R., Mašek, O., Xu, G. (2018). Pyrolysis characteristics of waste tire particles in fixed-bed reactor with internals. *Carbon Resources Conversion*, 1, 228–237. <https://doi.org/10.1016/j.crcon.2018.10.001>

Mgr inż. Magdalena Skrzyniarz

Absolwentka studiów inżynierskich i magisterskich na Wydziale Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów Politechniki Częstochowskiej, na kierunku inżynieria bezpieczeństwa i higiena pracy. Od 2017 r. jest studentką studiów doktoranckich również na tym wydziale.

Mgr inż. Magdalena Skrzyniarz

A graduate of engineering and master's studies at the Faculty of Production Engineering and Materials Technology of the Częstochowa University of Technology, majoring in occupational health and safety engineering. From 2017, she is a PhD student also at this faculty.

Gospodarka Materialowa i Logistyka

ZNAJDZIESZ

NAS

TU

www.gmil.pl

tel. 795 155 583

00-252 Warszawa

ul. Podwale 17