

Zesz. Nauk. UEK, 2021, 4(994): 85–103
ISSN 1898-6447
e-ISSN 2545-3238
<https://doi.org/10.15678/ZNUEK.2021.0994.0405>

Logistyczny system gospodarowania odpadami na przykładzie Ekospalarni w Krakowie

Waste Management Logistic System – The Example of Cracow’s Eco-Incineration Plant

Dorota Dziedzic¹, Kacper Wrona²

¹ Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie, Kolegium Nauk o Zarządzaniu i Jakości, Instytut Zarządzania, Katedra Zarządzania Międzynarodowego, ul. Rakowicka 27, 31-510 Kraków, e-mail: dziedzid@uek.krakow.pl, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8358-7780>

² ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3240-9690>

Artykuł udostępniany na licencji Creative Commons Uznanie autorstwa-Użycie niekomercyjne-Bez utworów zależnych 4.0 (CC BY-NC-ND 4.0); <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>

Sugerowane cytowanie: Dziedzic D., Wrona K. (2021), *Logistyczny system gospodarowania odpadami na przykładzie Ekospalarni w Krakowie*, „Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie”, nr 4(994), 85–103, <https://doi.org/10.15678/ZNUEK.2021.0994.0405>.

STRESZCZENIE

Cel: Celem artykułu jest przedstawienie na przykładzie Ekospalarni w Krakowie nowoczesnych rozwiązań pozwalających na tworzenie optymalnych i odpowiednio funkcjonujących logistycznie systemów gospodarowania stałymi odpadami.

Metodyka badań: Do osiągnięcia celu wykorzystano metodę analizy literatury, metodę analizy wnioskowania logicznego, analizę teoretycznych i praktycznych aspektów zarządzania gospodarką odpadami oraz opis determinujących je czynników.

Wyniki badań: Analiza zebranych danych wskazuje, że wdrażanie nowoczesnych rozwiązań związanych z transportem, segregacją oraz przetwarzaniem stałych odpadów znacznie poprawia logistyczne systemy gospodarowania odpadami w miastach i przyczynia się do osiągnięcia celów ekonomicznych, środowiskowych i społecznych. sprzyjając rozwojowi miasta i poprawie życia jego mieszkańców.

Wnioski: Wprowadzanie innowacji w koncepcjach *smart city* jest zasadne, przyczyniają się one bowiem do lepszego zarządzania miastem oraz ułatwiają życie jego mieszkańców, redukując jednocześnie negatywny wpływ miasta na środowisko naturalne.

Wkład w rozwój dyscypliny: Artykuł uzasadnia potrzebę prowadzenia badań nad wpływem innowacji technologicznych wykorzystywanych w logistycznych systemach gospodarowania odpadami. Praktyczne wnioski mogą mieć zastosowanie w poprawianiu jakości procesów logistycznych w innych miastach Polski.

Typ artykułu: artykuł przeglądowy.

Słowa kluczowe: odpad, system gospodarowania odpadami, spalarnia odpadów, nowoczesne technologie.

Klasyfikacja JEL: O3, Q53, Q55.

ABSTRACT

Objective: Using the example of the Eco-incineration plant in Cracow, the article presents modern solutions that enable the creation of an optimal and logistically properly functioning solid waste management systems.

Research Design & Methods: The subject was approached using a literature analysis, logical inference analysis, analysis of theoretical and practical aspects of waste management, and a description of the factors determining them.

Findings: The use of innovative solutions in the transport, segregation, and processing of solid waste significantly improves the logistic waste management systems.

Implications/Recommendations: The article concludes that implementing smart city solutions contributes to better urban management, facilitates life for inhabitants, and reduces the city's negative impact on the environment. Hence such solutions are recommended.

Contribution: The publication justifies the conducting of research on the impact of technological innovations used in urban management and smart cities. Practical conclusions can be used to improve the quality of logistics processes in cities.

Article type: review article.

Keywords: waste, waste management, waste incinerations plant, modern technologies.

1. Wprowadzenie

Ochrona zdrowia oraz środowiska naturalnego przed poważnymi konsekwencjami nieodpowiedniego postępowania z odpadami była przedmiotem Dyrektywy Rady z dnia 15 lipca 1975 r. w sprawie odpadów (75/442/EWG) (Lutek, Pastuszek i Banaś 2019). Od momentu przyjęcia tej dyrektywy aspekt ochrony środowiska naturalnego jest jednym z najistotniejszych tematów podejmowanych w krajach członkowskich Unii Europejskiej. Podstawą do prawidłowego działania międzynarodowego ruchu ochrony środowiska jest intensywnie prowadzona edukacja ekolo-

giczna wraz z ciągłym udoskonalaniem, a także formułowaniem praw i obowiązków w oparciu o ideę zrównoważonego rozwoju. Świadomość konsekwencji i postęp technologiczny pozwalają na nieustanne rozwijanie systemów i procesów związanych z wykorzystywaniem właściwości zarówno energetycznych, jak i materiałowych odpadów oraz zapobieganie ich nadmiarowemu powstawaniu.

Najbardziej aktualnym dokumentem prawnym dotyczącym odpadów w Unii Europejskiej jest Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/851 z dnia 30 maja 2018 r. zmieniająca dyrektywę 2008/98/WE w sprawie odpadów. Do zmian wprowadzonych przez uchwałę modernizującą dyrektywę 2008/98/WE należą m.in. redefinicja odpadów komunalnych i bioodpadów oraz rozwinięcie i uzupełnienie przepisów dotyczących systemu rozszerzonej odpowiedzialności producenta.

Celem artykułu jest ukazanie, jak w Krakowie realizowane są założenia powyższych dyrektyw i jak osiągane są główne cele logistycznego systemu gospodarowania odpadami z wykorzystaniem nowoczesnych rozwiązań z zakresu takich systemów, a także jaki mają one wpływ na poprawę funkcjonowania miasta.

2. Przegląd literatury

Podjęcie problematyki dotyczącej odpadów w dyrektywach UE było ważnym posunięciem, które spowodowało konieczność zdefiniowania oraz skategoryzowania odpadów. Zadanie to nie było łatwe i było na tyle skomplikowane, że pierwsze sformułowane definicje miały wiele nieścisłości i były doprecyzowywane na przestrzeni kolejnych lat.

W literaturze można znaleźć wiele sformułowań, takich jak: logistyka zwrotna, logistyka odpadów, logistyka utylizacji, ekologistyka, logistyka recykulacji, logistyka wsteczna, logistyka odzysku czy logistyka powtórnego zagospodarowania, które są stosowane zamiennie, jednak nie wszystkie można traktować jako synonimy. Niektóre z nich różnią się m.in. ujęciem ostatniego etapu przepływu surowców. Przykładem może być porównanie logistyki utylizacji oraz logistyki recykulacji. Pierwsze zagadnienie sugeruje, że produkty i (lub) opakowania będące w fazie użytkowej zostaną unicestwione zgodnie z obowiązującymi zasadami, natomiast według definicji drugiego pojęcia dany produkt bądź opakowanie będzie wielokrotnie krążyć w obiegu w ramach zamkniętej pętli łańcucha dostaw (Witkowski 2015). Wszystkie wymienione wyżej terminy są pojęciami, które w literaturze światowej funkcjonują stosunkowo krótko, tj. od ok. 20 lat, i do tej pory nie udało się sformułować ich ostatecznych definicji. Przyjmując najbardziej ogólną definicję, można stwierdzić, że obszar aktywności logistyki zwrotnej zaczyna się tam, gdzie kończą się działania logistyki tradycyjnej, a przepływy dóbr w obu wspomnianych obszarach są sobie przeciwne (Lysenko-Ryba 2015, s. 194). Logistyka zwrotna została zdefiniowana przez A. Sadowskiego jako jedna z dziedzin logistyki obejmująca swoim działaniem badania prawdziwości związanych z prze-

mieszczaniem się produktów, których cykl życia się zakończył (Sadowski 2006, s. 38–39). W zagranicznej literaturze przedmiotu można z kolei znaleźć definicję, która określa logistykę odzysku jako proces planowania, implementowania, a także kontrolowania wydajnych i efektywnych finansowo przepływów surowców, półproduktów oraz produktów gotowych, wraz z powiązаныmi z nimi informacjami, od miejsca konsumpcji do miejsca pochodzenia w celu odzyskania wartości bądź odpowiedniego zagospodarowania (Rodgers i Tibben-Lembke 1998, s. 2). J. Szołtysek (2009), analizując i łącząc definicje z krajowej literatury przedmiotu z definicjami pochodzącymi z opracowań zagranicznych, przedstawił interesującą interpretację logistyki zwrotnej, którą określił jako „ogół procesów zarządzania przepływami odpadów (w tym produktów uszkodzonych) i informacji (związanych z tymi przepływami), od miejsc ich powstawania (pojawiania się) do miejsc ich przeznaczenia w celu odzyskania wartości (poprzez naprawę, recykling lub przetworzenie) lub właściwego ich unieszkodliwienia i długotrwałego składowania w taki sposób, by przepływy te były efektywne ekonomicznie i minimalizowały negatywny wpływ odpadów na środowisko naturalne człowieka” (Szołtysek 2009, s. 80). J. Szołtysek proponuje rozszerzenie definicji pojęcia odpadu o odpad tymczasowy rozumiany jako dobro materialne nieprzydatne dla użytkownika ze względu na dane uszkodzenie lub wadę, w stosunku do których użytkownik deklaruje chęć dalszej konsumpcji po dokonaniu naprawy (Janczewski 2013).

Pomimo wielu definicji logistyki zwrotnej osoby prowadzące badania nad problematyką logistycznego systemu gospodarowania odpadami są zgodne co do jej celów i stawianych przed nią zadań. Podstawowymi celami są integrowanie i usprawnianie przepływów odpadów w przestrzeni i w czasie, mających charakter czynności zintegrowanych, obejmujących obszar ekonomiczny, środowiskowy i społeczny (Lutek, Pastuszek i Banaś 2019). Odpowiednia synchronizacja i optymalizacja działań w tych trzech obszarach konstruuje logistycznie zintegrowaną gospodarkę odpadami.

W literaturze przedmiotu można również znaleźć liczne artykuły oraz prace odnoszące się bezpośrednio do tematu ekospalarni lub ogólnie gospodarki odpadami komunalnymi we współczesnych miastach, np. (*Bedeutung...* 2021, Dehoust i Alwast 2019, Hu i in. 2015, *Solid Waste...* 2012, Wójtowicz-Wróbel 2018). Na szczególną uwagę zasługuje praca zbiorowa (Wąsowicz, Famielec i Chełkowski 2018), w której przedstawiono organizację i funkcjonowanie gospodarki odpadami komunalnymi nie tylko w wybranych miastach Polski, ale również w Czechach, Niemczech i w Austrii. W literaturze przedmiotu poruszono także temat krakowskiej Ekospalarni; poza wspomnianą pracą zbiorową są to artykuły, np. (Biedrzycka 2015, Kamisińska 2017, Sala i Bieda 2020).

3. Logistyczny system gospodarowania odpadami

Rozszerzenie łańcuchów dostaw o przepływy zwrotne może zapewnić wymierne korzyści będące wynikiem zagospodarowania surowców wtórnych. W logistyce zwrotnej przedmiotami przepływu są materiały zużyte, przez co może ona być postrzegana jako postępowo forma likwidowania odpadów oparta na dwóch wzajemnie uzupełniających się filarach – ekonomicznym oraz ekologicznym (Sadowski 2006). Niektórzy autorzy podają jeszcze trzeci filar – społeczny (Lutek, Pastuszek i Banaś 2019). Celem logistyki zwrotnej jest zatem integrowanie i usprawnianie przepływów odpadów w przestrzeni i w czasie. Odpowiednia synchronizacja i optymalizacja działań w tym zakresie w obszarach ekonomicznym, ekologicznym i społecznym tworzą logistycznie zintegrowaną gospodarkę odpadami. Ekonomicznymi celami tego systemu są przede wszystkim obniżenie kosztów logistycznych, uefektywnienie obsługi logistyki odzysku oraz uzyskanie korzyści finansowych związanych ze sprzedażą surowców wtórnych. Celem środowiskowym jest ochrona zasobów naturalnych poprzez częściowe zastąpienie ich surowcami wtórnymi oraz redukcje zanieczyszczeń pochodzących z procesów utylizacji. Cel społeczny ukierunkowany jest z kolei na dążenie do zapewnienia wysokiej jakości życia społeczeństwa z jednoczesnym uwzględnieniem zasady sprawiedliwości międzypokoleniowej. Należy pamiętać, że cel społeczny związany jest ze społeczną odpowiedzialnością biznesu (Lutek, Pastuszek i Banaś 2019, Witkowski 2015).

Logistyczny system gospodarowania odpadami to odpowiednio zorganizowane i zintegrowane procesy, którym poddawane są odpady. Do procesów tych zalicza się: gromadzenie odpadów, ich transport, segregację, przetwarzanie, odzysk oraz ich unieszkodliwianie. Strukturę logistycznego systemu gospodarowania odpadami kształtują elementy (podsystemy) odpowiedzialne za poszczególne etapy postępowania z odpadami. W systemie gospodarowania nimi można zatem wyodrębnić pojedyncze elementy (podsystemy), a także procesy zachodzące wewnątrz nich oraz między nimi. Następują one po sobie w określonej kolejności. Brak lub niewłaściwe funkcjonowanie jednego z tych elementów lub procesów powoduje, że ogólny system nie spełnia oczekiwań.

Tworzenie systemów logistycznych pozwala na osiągnięcie efektu synergii polegającego na czerpaniu większych korzyści z działań połączonych niż z działań pojedynczych. Na funkcjonalność logistycznego systemu gospodarki odpadami wpływają różne czynniki, m.in. rozplanowanie przestrzenno-urbanistyczne danego obszaru, źródła powstawania odpadów, charakter odpadów, ilości poszczególnych kategorii odpadów oraz przepisy ogólnokrajowe lub lokalne dotyczące ochrony środowiska i gospodarki odpadami. Czynniki te mają charakter zewnętrzny i uznawane są za dane wejściowe do systemu. Wyznacznikami wewnętrznymi funkcjonalności logistycznego systemu gospodarki odpadami są z kolei: infrastruktura wykorzystywana w przypadku procesów postępowania z odpadami,

sposoby gromadzenia odpadów, technologia pozwalająca na zbieranie danych oraz planowanie tras odbioru odpadów, przydzielanie odpowiednich środków transportu, a także organizacja segregacji, przetwarzanie i odzyskiwanie odpadów oraz ich unieszkodliwianie.

Wyróżnia się dwa logistyczne modele systemu gospodarowania odpadami: statyczny i dynamiczny. Model statyczny obejmuje opis systemu tylko dla skonkretyzowanego momentu czasowego, natomiast model dynamiczny uwzględnia ewentualne zmiany parametrów w czasie trwania systemu, które mogą się pojawić w nieokreślonym momencie (Lutek, Pastuszak i Banaś 2019, Witkowski 2015). W dynamicznym modelu gospodarki odpadami uwzględnia się następujące czynniki (Bril, Łukasik i Rydygier 2017, s. 1328):

- zmiany w częstotliwości powstawania odpadów,
- możliwość fragmentarycznego lokalizowania obiektów systemu,
- ograniczenia przepustowości,
- możliwość wprowadzenia nowych koncepcji recykulacji odpadów,
- poszukiwanie lokalizacji nowych obiektów systemu.

Tworzenie optymalnych i odpowiednio funkcjonujących logistycznych systemów gospodarowania odpadami jest skomplikowane, ponieważ muszą one spełniać kryteria: techniczne, ekonomiczne, przyrodnicze i społeczne. Niezwykle pomocne okazują się tutaj nowoczesne technologie. Miasta inteligentne są rozwijane i oceniane w oparciu o kontekst techniczny. Podstawowa różnica między inteligentnym miastem a modelem tradycyjnym polega na modyfikacji – informatyczno-informacyjnej integracji wszystkich podsystemów miejskich na zasadzie wspólnej miejskiej platformy będącej elementem pośredniczącym, który z wykorzystaniem odpowiedniej infrastruktury umożliwia dostarczanie właściwych zasobów zaspokajających konkretne potrzeby. Za pomocą platformy ITC transferowane są informacje zasilające system logistyczny miasta (Burska 2012). Najbardziej popularnym narzędziem wykorzystywanym w tym zakresie jest monitoring potrzeb i zużycia zasobów prowadzony za pomocą inteligentnych systemów pomiarowych. W obszarach gospodarowania miejskimi zasobami wodnymi, cieplnymi i energetycznymi bardzo duże znaczenie mają usuwanie i zagospodarowanie odpadów przez recykling lub wprowadzanie gospodarki o obiegu zamkniętym. Systemy te pełnią funkcję monitorującą i zapewniają bezpieczeństwo zbiorowe (ogólne zabezpieczenie infrastruktury przed awarią) oraz indywidualne (np. wskaźniki stanu urządzeń). Umożliwiają one również automatyczną i niewymagającą czynnika ludzkiego kontrolę danego obiektu, dzięki której można odpowiednio zaplanować wszystkie procesy logistyczne zachodzące w otaczającym go systemie. Przykładem są systemy monitorowania obiektów gromadzenia odpadów, które informują centralę o zbliżającym się zapełnieniu kontenera, przez co trasy odbioru mogą zostać optymalnie zaplanowane. Ważnym czynnikiem wpływającym na poprawne

funkcjonowanie logistycznego systemu gospodarowania odpadami jest infrastruktura miejska. Ma ona za zadanie zaopatrywać mieszkańców miast oraz ich obrzeży w energię elektryczną, wodę oraz ciepło, ale jej celem jest także odprowadzanie odpadów komunalnych i ścieków, które powstają jako skutek uboczny wymienionych procesów. W koncepcji *smart city* infrastruktura miasta jest na bieżąco udoskonalana i modernizowana w celu zapewnienia ciągłości dostaw oraz minimalizowania jej energochłonności i kosztochłonności. Działania te mają prowadzić do zmniejszenia poziomu zanieczyszczenia środowiska i zapobiegania zdarzeniom niepożądanym.

4. Ekospalarnia w Krakowie jako przykład zastosowania nowoczesnych technologii w logistycznym systemie gospodarowania odpadami

Efektywność gospodarki odpadami komunalnymi jest w dużej mierze oparta na odpowiednim systemie zorganizowania procesów logistycznych w jej obrębie. Specyfika odpadów komunalnych jako środka przepływowego w kanałach logistycznych polega na ich bardzo niskiej wartości. Dopiero gdy odpady te zostaną poddane odpowiednim procesom, m.in. gromadzenia, transportu, segregacji oraz przetwarzania, ich wartość wzrasta i mogą zostać wykorzystane w różnych gałęziach gospodarki (Krzywda 2012).

W spalarniach odpadów utylizowane są odpady komunalne, czyli te pochodzące z gospodarstw domowych. Celem obecnych systemów gospodarowania odpadami jest prowadzenie takich działań, aby do zakładów tych trafiały jedynie odpady, które nie kwalifikują się do dalszego procesu segregacji i recyklingu. Pozwala to na zmniejszenie ilości niszczonej śmieci, które mogą zostać ponownie wykorzystane. Spalanie odpadów jest uniwersalnym sposobem utylizacji różnych grup odpadów, jednak należy zaznaczyć, że nie zastępują one recyklingu, kompostowania i innych bardziej pożądanych metod odzysku.

Obecnie w nowoczesnych zakładach część odpadów komunalnych jest poddawana procesom spalania przy jednoczesnym odzysku energii elektrycznej i cieplnej. Według analizy przeprowadzonej przez Główny Urząd Statystyczny (*Ochrona środowiska... 2020*, s. 157) w Polsce w 2019 r. przekształceniu termicznemu poddano 2920 tys. t odpadów, co stanowiło 23% ogółu wytworzonych odpadów komunalnych.

Pierwszą i najważniejszą funkcją spalarni jest redukcja jak największej ilości odpadów komunalnych w celu całkowitego ograniczenia deponowania ich na składowisku. Zakład Termicznego Przetwarzania Odpadów (Ekospalarnia) powstał jako odpowiedź na potrzeby ekologiczne Krakowa i jest jednym z najważniejszych elementów miejskiego systemu gospodarki odpadami. Ekospalarnia została otwarta

w 2015 r., ale w pełni funkcjonuje od czerwca 2016 r. Za realizację tego projektu, a także za prawidłowe funkcjonowanie i eksploatację zakładu odpowiada obecnie Krakowski Holding Komunalny SA. Zakład Termicznego Przekształcania Odpadów w Krakowie stosuje technologię termicznego przekształcania odpadów, która jest sprawdzona, bezpieczna i najczęściej wybierana przez tego typu nowoczesne zakłady w Europie. Instalacja spełnia wymagania tzw. najlepszych dostępnych technik, gwarantując tym samym wysokie standardy ochrony środowiska (rys. 1), a ponadto przyczynia się do redukcji emisji metanu i dwutlenku węgla ze składowania. Zakład ten znajduje się na pierwszym miejscu w Polsce pod względem wydajności – jest w stanie przetworzyć rocznie aż 220 tys. t odpadów komunalnych (Wielgosiński i Czerwińska 2019).

Ekospalarnia przyjmuje odpady jedynie z terenu gminy miejskiej Kraków. Można wyróżnić ich dwa rodzaje: komunalne odpady zmieszane – kod 20 03 01 i odpady odrzucone w procesie segregacji – kod 19 12 12.

Dobowo do spalarni transportowanych jest średnio ok. 1 tys. t odpadów, jednak ilość ta jest zmienna. Ciężarówki z odpadami na hali rozładunkowej przekazują odpady do bunkra, czyli żelbetowego zbiornika o pojemności 3,5 tys. t. Odpady przyjmowane są od poniedziałku do piątku, jednak pojemność bunkra pozwala na zachowanie ciągłości pracy przez 7 dni w tygodniu, dzięki czemu zakład pracuje w ruchu ciągłym 24 godziny na dobę. W hali rozładunkowej i bunkrze zainstalowano system czerpania powietrza, który pozwala uniknąć przedostawania się na zewnątrz zakładu nieprzyjemnych zapachów. Odpady w bunkrze są każdorazowo mieszane, co zwiększa efektywność późniejszego procesu spalania. Z bunkra odpady przemieszczane są przez operatora suwnicy za pomocą chwytaka do dwóch kotłów o łącznej wydajności 28 t na godzinę, dzięki czemu średnia ilość odpadów spalanych w ciągu doby w zakładzie wynosi prawie 700 t. To właśnie po umieszczeniu odpadów w kotle rozpoczyna się proces ich termicznego przekształcania. Przebiega on według następujących faz (*Proces termicznego przekształcania...* 2021):

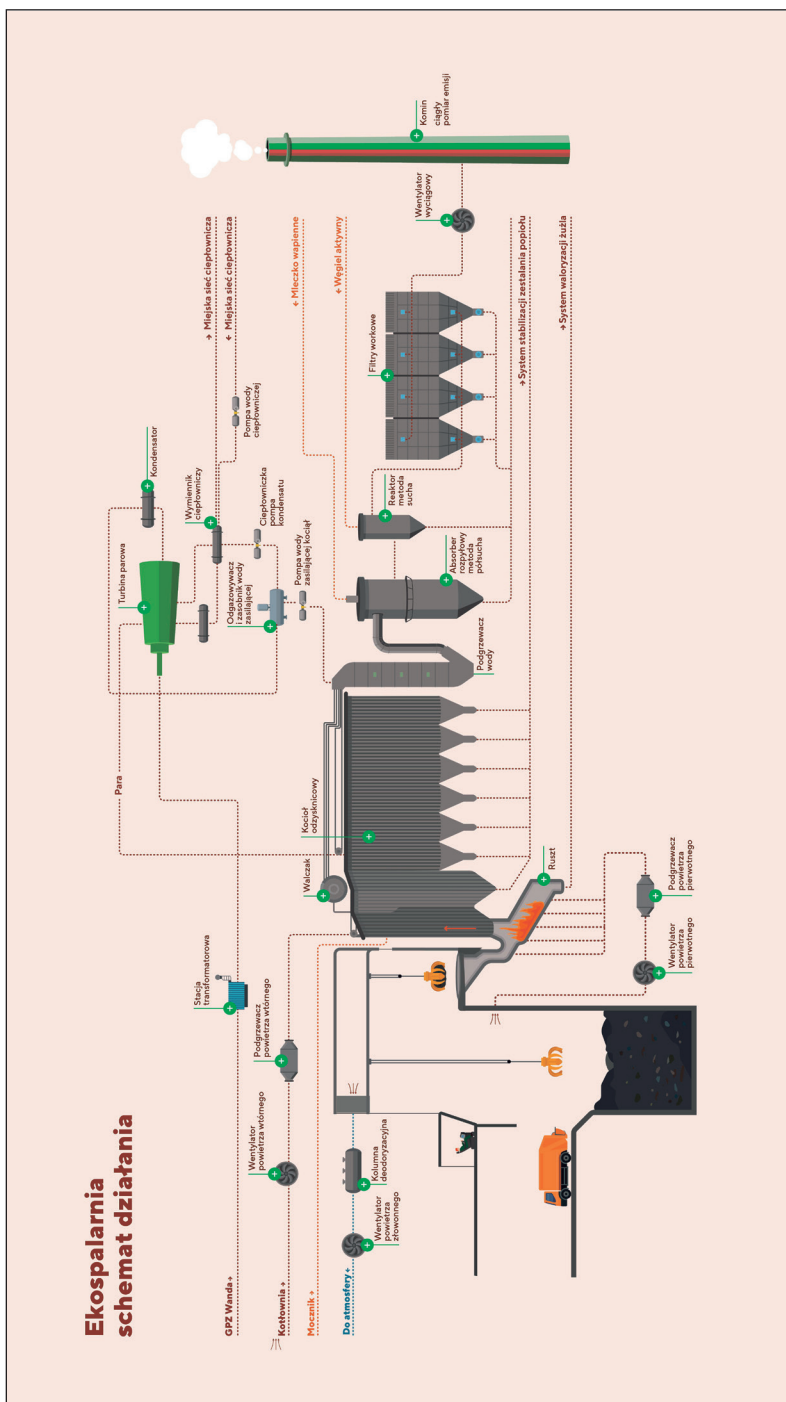
- suszenie – początkowym etapem jest ogrzewanie odpadów do temperatury powyżej 100°C, co powoduje odparowanie wilgoci,

- odgazowanie – ogrzewanie jest stopniowo zwiększane do temperatury powyżej 250°C, dzięki czemu wydzielają się składniki lotne w postaci gazów wytlenionych i resztek wilgoci,

- spalanie – w tej fazie następuje całkowite spalanie odpadów,

- zgazowanie – w tym procesie w temperaturze 1000°C produkty lotne utleniane są przez tlen cząsteczkowy, a sam proces w przeważającej części odbywa się w górnej strefie komory paleniskowej,

- dopalanie – jest to faza, której celem jest zminimalizowanie niespalonych ilości dwutlenku węgla w spalinach; w strefie dopalania podaje się powietrze



Rys. 1. Schemat technologiczno-funkcjonalny spalarni w Krakowie
Źródło: Archiwum Krakowskiego Holdingu Komunalnego SA.

wtórne celem całkowitego spalenia pozostałości; czas przebywania spalin w tej strefie osiągającej minimum 850°C musi wynosić przynajmniej 2 sekundy.

Należy dodać, że podczas procesu spalania zredukowanych jest ok. 75% masy objętości przekształcanych odpadów.

Spalanie odpadów jest jednym z wielu procesów realizowanych w zakładzie. Ważny jest również system odzysku energii, w którym głównym urządzeniem jest kocioł odzysknicowy z naturalnym obiegiem spalin, w którym zachodzi wymiana ciepła. Spaliny z wcześniejszych procesów termicznych są chłodzone do temperatury 180°C , a odzyskane ciepło służy do zamiany przepływającej przez kocioł wody na przegrzaną parę wodną o parametrach ciśnienia 40 bar i temperaturze 415°C , która z kolei podawana jest na łopatki turbiny parowej i wymienniki ciepłownicze. Tam następuje rozprężenie pary i przejście w stan kondensatu. Napędzany przez turbinę generator produkuje energię elektryczną, która jest zużywana na potrzeby własne zakładu. Energia odprowadzana jest również poprzez transformator do sieci elektroenergetycznej (stacja GPZ Wanda). W okresie zapotrzebowania na ciepło turbina pracuje w trybie kogeneracji, w którym produkowana jest energia zarówno elektryczna, jak i ciepła. Energia ciepła przejmowana jest przez Miejskie Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej w Krakowie i zasila miejską sieć ciepłowniczą. Zastosowana technologia termicznego przekształcania odpadów odznacza się niskim zużyciem energii i równocześnie wysoką efektywnością przetwarzania odpadów, a także produkcji energii. Energia ta w znacznej części jest uznawana za odnawialną, czyli tzw. zieloną energię (*Proces termicznego przekształcania...* 2021).

Podczas procesu termicznego przekształcania odpadów powstają spaliny, które występują w formie gazowej lub pyłowej i składają się głównie z dwutlenku węgla, pary wodnej, tlenku węgla, dwutlenku siarki, tlenków azotu oraz częściowo spalonych węglowodorów. Zanim jednak trafią one do atmosfery, poddawane są starannemu, kilkietapowemu oczyszczaniu. Proces oczyszczania rozpoczyna się już w komorze paleniskowej, gdzie spaliny poddaje się redukcji stężeń tlenków azotu polegającej na wtrysku przez specjalne dysze 25-procentowego roztworu mocznika do gorących spalin. Po tym zabiegu gazy spalinowe wprowadza się do systemu oczyszczania spalin przez kanał podłączony do reaktora półsuchego. W reaktorze gazy dyspersyjne w górnej części prowadzą gazy spalinowe do urządzeń rozpylających mleczko wapienne, które skutecznie absorbuje zanieczyszczenia w spalinach, takie jak chlorowodór, fluorowodór oraz dwutlenek siarki. Na tym etapie spaliny dodatkowo zostają schłodzone z temperatury 180°C do ok. 140°C . Po procesach półsuchej absorpcji spaliny kierowane są do kanału, do którego wprowadzany jest węgiel aktywny redukujący metale ciężkie oraz dioksyny i furany. Spaliny wspomnianym kanałem prowadzone są do stacji filtrów workowych, gdzie zachodzi redukcja stężenia pyłów. Stacja ta dodatkowo służy jako absorber drugiego stopnia, w którym redukuje się pozostałości z wcześniejszych etapów. Spaliny za pomocą

wentylatorów wyciągowych wprowadzane są do atmosfery kominem o wysokości 70 m. Wszystkie procesy oczyszczania skutecznie redukują zanieczyszczenia, umożliwiając wydalenie ich do środowiska bez negatywnego wpływu. Emisja spalin jest na bieżąco monitorowana i kontrolowana. Obiekt spełnia wszystkie standardy emisyjne oraz dopuszczalne normy określone przez obowiązujące przepisy prawne, natomiast eksploatacja Zakładu Termicznego Przekształcania Odpadów nie przyczynia się do powstawania zanieczyszczeń powietrza, odoru czy hałasu (*Proces termicznego przekształcania...* 2021).

Podczas procesów spalania uzyskiwane są również odpady procesowe. Dobowo w obiekcie wytwarza się średnio ok. 150 t żużla oraz mniej więcej 20–23 t pyłów i popiołów paleniskowych. Odpady w większości przypadków nie trafiają na składowiska. Są one odbierane oraz zagospodarowywane przez specjalistyczne podmioty zewnętrzne legitymujące się odpowiednimi zezwoleniami. Odpady procesowe przed weryfikacją muszą jednak zostać odpowiednio przygotowane – żużel poddawany jest procesom waloryzacji, natomiast pyły i popioły procesom stabilizowania i zestalania. Dopiero po otrzymaniu aprobaty technicznej i weryfikacji dotyczącej wspomnianych procesów żużel może zostać wykorzystany jako materiał budowlany, np. do budowy dróg, natomiast pyły i popioły przekształcone są z odpadów niebezpiecznych na odpady inne niż niebezpieczne lub obojętne, dzięki czemu mogą zostać poddane dalszej obróbce i być zagospodarowane w specjalistycznych instalacjach (*Proces termicznego przekształcania...* 2021).

Ekospalarnia jest obiektem nowoczesnym oraz bezpiecznym dla ludzi i środowiska. Bardzo ciekawym rozwiązaniem potwierdzającym nieszkodliwość zakładu było postawienie przy obiekcie pasieki. Pszczoły są „markerem” czystości otoczenia – w miejscach, w których żyją i mają się dobrze, środowisko jest przyjazne również dla człowieka. Pasieka jest ponadto dodatkowym urozmaicheniem ścieżki edukacyjnej, która funkcjonuje na terenie całego zakładu. Ekospalarnia dba także o transparentność wszelkich danych emisyjnych, które na bieżąco udostępniane są mieszkańcom na stronie internetowej oraz na tablicach informacyjnych umieszczonych przed obiektem.

5. Korzyści z funkcjonowania Ekospalarni w Krakowie

Ekospalarnia w Krakowie spala rocznie ok. 220 tys. t odpadów i zajmuje pierwsze miejsce pod względem wydajności w kraju. Jej działalność pozwoliła uniknąć w latach 2016–2020 składowania 999 179 t odpadów, co oznacza, że na początku 2021 r. została przekroczona bariera 1 mln t przetworzonych odpadów.

Kolejną, równorzędną ze spalaniem odpadów korzyścią jest produkcja odnawialnej energii na użytek własny oraz miasta. W ciągu roku Ekospalarnia jest w stanie wytworzyć ok. 65 tys. MWh energii elektrycznej. Należy nadmienić, że jest

to ilość, która wystarczyłaby na całoroczne zasilenie wszystkich krakowskich tramwajów lub zaspokojenie potrzeb energetycznych miejskich wodociągów. W trybie kogeneracji zakład wytwarza również energię ciepłą o wartości do 280 tys. MWh rocznie, co z kolei stanowi 10% rocznego zapotrzebowania systemu ciepłowniczego miasta. Działalność zakładu przynosi zatem wszechstronne korzyści z unieszkodliwiania odpadów, ponieważ oprócz samego procesu spalania w sposób ekologiczny zwiększa bezpieczeństwo energetyczne miasta. W 2017 r. Urząd Regulacji Energetyki przyznał KHK SA tzw. zielone certyfikaty, czyli świadectwa pochodzenia energii elektrycznej z odnawialnego źródła energii (*O projekcie 2021*).

Pozytywny wpływ Ekospalarni na infrastrukturę odpadową w Krakowie dostrzega się przede wszystkim w obszarze składowania odpadów. Przed rozpoczęciem jej działalności znaczna większość odpadów zmieszanych trafiała na składowisko odpadów komunalnych w Baryczy. W 2017 r. na składowisku tym zdeponowano aż o 93,5% mniej odpadów niż w 2007 r.

Tabela 1. Osiągnięte cele logistycznego systemu gospodarowania odpadami – korzyści dla Krakowa

Główne cele logistycznego systemu gospodarowania odpadami	Cele cząstkowe	Osiągnięte cele w Krakowie – korzyści dla miasta
Cel ekonomiczny	Obniżenie kosztów logistycznych	Zredukowano koszty unieszkodliwiania odpadów oraz transportu odpadów
	Poprawa poziomu obsługi logistyki	Wyremontowano drogi prowadzące do Ekospalarni. Lepsze wykorzystanie taboru dzięki skróceniu trasy przejazdów samochodów z odpadami z miejsc ich odbioru do Ekospalarni (w porównaniu ze składowiskiem Barycz)
	Stworzenie nowych miejsc pracy	W Ekospalarni powstały nowe miejsca pracy
	Korzyści finansowe ze sprzedaży / wykorzystania surowców wtórnych	Wydzielenie paliwa alternatywnego RDF w procesie segregacji odpadów – paliwo jest wykorzystywane w cementowniach do produkcji cementu. Biogaz – wykorzystywany jest przez oczyszczalnię ścieków do produkcji energii elektrycznej i ciepłej

cd. tabeli 1

Główne cele logistycznego systemu gospodarowania odpadami	Cele cząstkowe	Osiągnięte cele w Krakowie – korzyści dla miasta
Cel środowiskowy	Ochrona zasobów naturalnych poprzez zmniejszenie składowania odpadów na wysypiskach	Ekospalarnia spala rocznie ok. 220 tys. t odpadów (pierwsze miejsce w Polsce). Jej działalność pozwoliła uniknąć w latach 2016–2020 składowania 999 179 t odpadów
	Ochrona zasobów naturalnych przez wykorzystanie surowców wtórnych	Zastosowana technologia termicznego przekształcania odpadów odznacza się niskim zużyciem energii i równocześnie wysoką efektywnością przetwarzania odpadów. W Ekospalarni produkowana jest energia zarówno elektryczna, jak i ciepła. Energia elektryczna zużywana jest na potrzeby własne zakładu. Energia ciepła przejmowana jest z kolei przez Miejskie Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej i zasila miejską sieć ciepłowniczą (jest to ok. 10% rocznego zapotrzebowania)
	Redukcja zanieczyszczeń pochodzących z procesów utylizacji	Spalarnia stosuje technologię termicznego przekształcania odpadów, gwarantując wysokie standardy ochrony środowiska. Nastąpiła redukcja emisji metanu i dwutlenku węgla ze składowania
Cel społeczny	Wysoka jakość życia społeczeństwa uwzględniająca zasadę sprawiedliwości międzypokoleniowej	Ekospalarnia nie przyczynia się do powstawania zanieczyszczeń powietrza, odoru czy hałasu
	Edukacja proekologiczna	Ekospalarnia prowadzi dostosowane do wieku zajęcia edukacyjne zarówno indywidualne, jak i grupowe. Na dachu Ekospalarni prowadzona jest pasieka

Źródło: opracowanie własne.

Zmodernizowany logistyczny system gospodarowania odpadami w Krakowie przyniósł również inne ważne korzyści. Pierwszą z nich jest wydzielenie paliwa alternatywnego RDF we wczesnym etapie segregacji strumieni odpadów. W ciągu

ostatnich lat dostrzeżono dodatkowy walor odpadów, które mają dużą wartość opałową, dzięki czemu obecnie nie trafiają one na składowiska, lecz przekazywane są do cementowni, w których paliwo to wykorzystywane jest w procesie produkcji cementu.

Drugą korzyścią jest wykorzystywanie kolejnego odnawialnego źródła energii – biogazu. W niektórych państwach Europy wykorzystuje się go jako paliwo w miejskich środkach komunikacji, natomiast w Krakowie na obecnym etapie rozwoju jest on stosowany do produkcji energii elektrycznej i ciepła m.in. w oczyszczalniach ścieków (Kujawy oraz Płaszów), co pozwala na częściowe zaspokojenie potrzeb energetycznych obu oczyszczalni (<https://infrastruktura.um.warszawa.pl/zielony-klimat/ekologia-inwestycje-ekologiczne>, data dostępu: 10.06.2021).

Ekospalarnia oprócz usprawnienia miejskiego systemu odpadowego i zintegrowania go z nowoczesnymi metodami unieszkodliwiania odpadów wpłynęła pozytywnie również na inne obszary (tabela 1). Dzięki niej ograniczono emisję dwutlenku węgla oraz metanu ze składowisk odpadów, zredukowano koszty unieszkodliwiania odpadów (w porównaniu z kosztem ich składowania), a także stworzono nowe miejsca pracy. Inwestycja ta przede wszystkim umożliwiła miastu sprostanie wymaganiom prawnym i ekologicznym Unii Europejskiej (*O projekcie 2021*). Dodatkowo instytucje miejskie, takie jak m.in. MPK SA, ZDMK lub MPEC SA, mają możliwość hurtowego zakupu dużej ilości energii w niższych cenach, dzięki czemu odnoszą ogromne korzyści finansowe, które w skali roku wynoszą łącznie ponad 30 mln zł (*Duży może więcej... 2021*).

6. Zmiany w logistycznym systemie gospodarowania odpadami spowodowane powstaniem Ekospalarni

Powstanie Ekospalarni przyczyniło się do zmian w logistycznym systemie gospodarowania odpadami. W podsystemie selektywnej zbiórki odpadów zmiany następowały stopniowo. W 2019 r. zbiórka odpadów została zmodernizowana w taki sposób, aby zredukować do minimum przeznaczane do unieszkodliwiania termicznego odpady nadające się do odzysku (*Segregacja odpadów 2021*). Dzięki tej zmianie odpady komunalne najpierw przydzielane są do konkretnych frakcji, co w znacznym stopniu usprawnia późniejsze logistyczne zarządzanie danymi strumieniami odpadowymi.

Obszar związany z transportem odpadów jest kolejnym elementem w logistycznym systemie gospodarowania odpadami, który zyskał na powstaniu Ekospalarni. Pierwszą kwestią, która pozytywnie wpłynęła na ten podsystem, jest lokalizacja obiektu. Ekospalarnia jest umiejscowiona przy ul. Giedroycia w Nowej Hucie. W wielokryterialnej analizie lokalizacja ta została uznana jako najkorzystniejsza (*Krakowska Ekospalarnia... 2009*). Miejsce powstania obiektu

znajduje się w znacznie bliższej odległości od punktów, takich jak m.in. sortownia odpadów przy ul. Bazarowej lub lamusownia przy ul. Nowohuckiej, w porównaniu z wcześniejszym miejscem docelowym przewozów odpadowych, czyli składowiskiem odpadów komunalnych Barycz znajdującym się na południowych obrzeżach Krakowa przy ul. Krzemienieckiej. Umieszczenie Ekospalarni przyczyniło się do zmniejszenia kosztów miejskich przewozów odpadów, redukcji emisji zanieczyszczeń oraz ograniczenia zatłoczenia na drogach. Lokalizację można uznać za strategiczną również ze względu na bliskość odcinka drogi ekspresowej S7, który został oddany do użytku w czerwcu 2017 r. i stanowi zasadniczy łącznik infrastruktury transportowej. W uchwale opiniującej lokalizację Ekospalarni zawarto również pakiet ponad 50 inwestycji koniecznych do zrealizowania w przypadku budowy zakładu. Do inwestycji tych zaliczyć można wiele modyfikacji infrastruktury drogowej w obrębie obiektu obejmujących modernizację ulic, remonty skrzyżowań lub budowę parkingów, chodników oraz wiat przystankowych. W najbliższym otoczeniu Zakładu Termicznego Przekształcania Odpadów (ZTPO) zmodernizowane zostały m.in. następujące ulice: Igołomska, Giedroycia, Niepokalanej Marii Panny, Klasztorna oraz Longinusa Podbiپیęty. Wyremontowano również inne ulice w dalszym otoczeniu, które są głównymi kanałami transportowymi dla pojazdów odpadowych MPGO kierujących się w stronę Ekospalarni, m.in. dobudowany został trzeci pas ruchu na odcinku od Placu Centralnego w kierunku ul. Ptaszyckiego (Uchwała nr XXVIII/269/09 Rady Dzielnicy XVIII Nowa Huta z dnia 29 stycznia 2009 r. w sprawie lokalizacji Zakładu Termicznego Przetwarzania Odpadów na terenie Dzielnicy XVIII Nowa Huta).

Wskazane inwestycje spowodowały zwiększenie drożności komunikacyjnej miasta, co w dużym stopniu przyczyniło się do usprawnienia procesów logistyczno-transportowych. Przyniosły one korzyści nie tylko samej Ekospalarni oraz podległym podmiotom dowożącym i odbierającym, ale przede wszystkim każdemu uczestnikowi ruchu drogowego w wymienionych rejonach.

Po otwarciu ZTPO podsystem magazynowania odpadów w Krakowie został rozbudowany – powstał bunkier, który odpowiada za ciągłość pracy obiektu. Wcześniej proces magazynowania odbywał się jedynie tymczasowo w kontenerach oraz podczas transportu odpadów na składowisko. Obecnie dzięki przestrzeni magazynowej system transportu jest bezpośrednio zsynchronizowany z dalszymi procesami przekształcania odpadów, a ponadto logistyka dostarczania odpadów jest o wiele mniej skomplikowana ze względu na brak konieczności dostosowywania się pojazdów przywożących odpady do urządzeń, które je odbierają.

Średnioroczny współczynnik efektywności energetycznej w Ekospalarni nie spada poniżej 0,65, co oznacza, że zachodzące w niej procesy transformacji odpadów nie są procesami unieszkodliwiania, lecz odzyskiem (Lutek, Pastuszek i Banaś 2019, Witkowski 2015). Jak już wspomniano, jest to rodzaj odzysku,

w którym zamiast ponownego wykorzystania opakowania lub materiałów odzyskuje się wartość energetyczną zawartą we frakcjach odpadów niesegregowanych. Dzięki nowoczesnym technologiom przekształcania odpadów stosowanym w instalacjach ZTPO podsystem ich odzysku cechuje się lepszą wydajnością na wielu płaszczyznach. Z jednej strony sprzedawana jest energia pozyskiwana z „neutralizowania” odpadów, a z drugiej – pozostałości po procesach spalania, które po dokonaniu odpowiednich czynności są przekazywane do dalszego zagospodarowania, dzięki czemu oszczędzane są naturalne surowce. Jest to prawidłowe zoptymalizowanie procesu odzysku odpadów, które umożliwia KHK SA, m.in. sprzedaż energii jednostkom podporządkowanym w niższych cenach, co z kolei przyczynia się do gromadzenia oszczędności przez podmioty, takie jak np. MPK SA. Takie korzyści finansowe mogłyby wpłynąć np. na obniżenie opłat za usługi przewozowe lub chociażby na zwiększenie budżetu przeznaczanego na różnego rodzaju innowacje, których wprowadzenie jeszcze bardziej zbliżyłoby Kraków do osiągnięcia statusu inteligentnego miasta. Ten przykład pokazuje, że optymalizacja choćby jednego obszaru systemu odpadowego może przynieść korzyści logistyczne nawet poza tym systemem.

Ostatnim elementem zintegrowanego logistycznie systemu gospodarowania odpadami jest podsystem unieszkodliwiania, jednak jak już wspomniano, procesy zachodzące w ZTPO nie są do niego zaliczane. Procesy przekształcające odpady w omawianym obiekcie generują niższe koszty niż ich unieszkodliwianie poprzez składowanie. Ekospalarnia w dużej mierze przyczyniła się do zredukowania ilości odpadów unieszkodliwianych na składowiskach. Taka redukcja w znaczny sposób upraszcza wszelkie konieczne działania podsystemu unieszkodliwiania, u efektywniając tym samym logistykę systemu gospodarowania odpadami na wyjściu do systemu.

7. Wnioski

Ekospalarnia to obiekt, dzięki któremu Kraków czerpie korzyści na płaszczyźnie ekonomicznej, środowiskowej, energetycznej, edukacyjnej oraz logistycznej. Jest to najdroższa, ale zarazem bardzo trafna inwestycja, której działanie i pozytywny wpływ na wiele obszarów miejskich zbliża Kraków do osiągnięcia statusu miasta inteligentnego. Projekt ten może być przykładem dla innych miast w Polsce i na świecie. Jego rezultaty pokazują, że inwestowanie kapitału w nowoczesne technologie nie tylko jest opłacalne, ale także przynosi różnorodne korzyści, które są podstawą poprawy funkcjonowania miasta jako całości, biorąc pod uwagę zrównoważony rozwój. Obserwowany w ostatnich latach dynamiczny postęp technologiczny powinien być głównym bodźcem do planowania i optymalnego wykorzystywania miejskich zasobów finansowych oraz technicznych w celach

wdrażania innowacyjnych rozwiązań z zakresu *smart city*. Władze miast stawiające na zrównoważony rozwój powinny być świadome zasobów miasta i jego możliwości, a wszelkie działania mające na celu implementację nowoczesnych rozwiązań w systemach komunalnych powinny być priorytetowe w stosunku do wszystkich zaplanowanych projektów miejskich. Warto zwrócić również uwagę, że działania te powinny zakładać także ochronę środowiska, m.in. poprzez dążenie do tzw. gospodarki cyrkularnej (gospodarki obiegu zamkniętego), w której produkty pozostają w obiegu tak długo, jak jest to możliwe. Z założenia w tego typu gospodarce wydobywa się mniej surowców naturalnych i produkuje się mniej śmieci, a te, które powstaną, wykorzystane zostaną ponownie w produkcji.

Literatura

Bedeutung der Kreislaufwirtschaft für Österreich. Bericht des Standortwalts (2021), Wirtschaftskammer Wien, Wien.

Biedrzycka A. (2015), *Krakowska ekospalarnia w fazie rozruchu*, „Nowoczesne Budownictwo Inżynierskie”, nr 6.

Bril J., Łukasik Z., Rydygier E. (2017), *Gminne systemy gospodarowania odpadami komunalnymi w ujęciu logistycznym*, „Logistyka”, nr 6.

Burska A. (2012), *Logistyka jako komponent smart city*, „Studia Miejskie”, nr 6.

Dehoust G., Alwast H. (2019), *Kapazitäten der energetischen Verwertung von Abfällen in Deutschland und ihre zukünftige Entwicklung in einer Kreislaufwirtschaft*, Oeko-Institut e.V., Berlin.

Duży może więcej, czyli o grupowych zakupach energii (2020), Krakowski Holding Komunalny SA, <https://khk.krakow.pl/pl/aktualnosci/duzy-moze-wiecej> (data dostępu: 10.06.2021).

Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE z dnia 19 listopada 2008 r. w sprawie odpadów oraz uchylająca niektóre dyrektywy, Dz. Urz. UE z 22.11.2008 r., L 312/3.

Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/851 z dnia 30 maja 2018 r. zmieniająca dyrektywę 2008/98/WE w sprawie odpadów, Dz. Urz. UE z 14.06.2018 r., L 150/109.

Dyrektywa Rady z dnia 15 lipca 1975 r. w sprawie odpadów (75/442/EWG), Dz. Urz. UE z 25.07.1975 r., L 194.

Hu H., Li X., Nguyen A.D., Kavan P. (2015), *A Critical Evaluation of Waste Incineration Plants in Wuhan (China) Based on Site Selection, Environmental Influence, Public Health and Public Participation*, „Journal of Environmental Research and Public Health”, vol. 12(7), <https://doi.org/10.3390/ijerph120707593>.

Janczewski J. (2013), *Problematyka zarządzania logistycznego strumieniami powrotnymi*, „Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Humanitas. Zarządzanie”, nr 1.

Kamisińska J. (2017), *BeeStudio/Ekospalarnia Kraków. Co ty wiesz o swoich śmieciach*, „Marketing w Praktyce”, nr 1.

Krakowska Ekospalarnia. Zakład Termicznego Przekształcania Odpadów w Krakowie (2009), Krakowski Holding Komunalny SA, Kraków, pobrano z <https://bip.krakow.pl/> (data dostępu: 30.05.2021).

Krzywda D. (2012), *Procesy logistyczne w gospodarce stałymi odpadami komunalnymi*, „Logistyka”, nr 2.

Lutek W., Pastuszek Z., Banaś J. (2019), *Smart city. Innowacyjny system zarządzania logistyką zwrotną w gospodarce odpadami komunalnymi*, Wydawnictwo Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie, Lublin.

Lysenko-Ryba K. (2015), *Logistyka zwrotna jako źródło korzyści konkurencyjnych*, „Studia Ekonomiczne. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach”, nr 249.

O projekcie (2021), Zakład Termicznego Przekształcania Odpadów w Krakowie, <https://khk.krakow.pl/pl/ekospalarnia/informacja-o-projekcie> (data dostępu: 5.06.2021).

Ochrona środowiska 2020 (2020), Analizy statystyczne, GUS, Warszawa, <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/srodowisko-energia/srodowisko/ochrona-srodowiska-2020,1,21.html> (data dostępu: 5.06.2021).

Proces termicznego przekształcania odpadów (2021), Zakład Termicznego Przekształcania Odpadów w Krakowie, <https://khk.krakow.pl/pl/ekospalarnia/termiczne-przekształcanie-odpadow/proces-termicznego-przekształcania-odpadow/> (data dostępu: 5.06.2021).

Rodgers D. S., Tibben-Lembke R. (1998), *Going Backwards: Reverse Logistics Trends and Practices*, Reverse Logistics Executive Council, Nevada.

Sadowski A. (2006), *Reverse Logistics w terminologii logistycznej*, „Logistyka”, nr 4.

Sala D., Bieda B. (2020), *The Thermal Waste Treatment Plant in Kraków, Poland: A Case Study* (w:) *Innovation in Global Green Technologies 2020*, red. A. Sabban, IntechOpen, London.

Segregacja odpadów (2021), MPO Kraków, <https://mpo.krakow.pl/pl/mieszkanicy/selekcja> (data dostępu: 5.06.2021).

Solid Waste Management and Recycling Technology of Japan – Toward a Sustainable Society (2012), Ministry of the Environment, http://www.env.go.jp/recycle/circul/venous_industry/index.html (data dostępu: 20.06.2021).

Szołtysek J. (2009), *Logistyka zwrotna. Reverse logistics*, Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań.

Uchwała nr XXVIII/269/09 Rady Dzielnicy XVIII Nowa Huta z dnia 29 stycznia 2009 w sprawie lokalizacji Zakładu Termicznego Przetwarzania Odpadów na terenie Dzielnicy XVIII Nowa Huta.

Wąsowicz K., Famielec S., Chełkowski M. (2018), *Gospodarka odpadami komunalnymi we współczesnych miastach*, Fundacja Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie, Kraków.

Wielgościński G., Czerwińska J. (2019), *Spalarnie odpadów komunalnych w Polsce*, „Nowa Energia”, nr 4(69).

Witkowski K. (2015), *Aspekty logistyki odzysku i recyklingu tworzyw sztucznych*, „Logistyka”, nr 2.

Wójtowicz-Wróbel A. (2018), *Spatial Significance of New Municipal Engineering Structures – the Case of Italian Eco-Incineration Plants*, „Technical Transactions”, vol. 115, nr 8, <https://dx.doi.org/10.4467/2353737XCT.18.113.8888>.