

Dorota Dziedzic, Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie, Katedra Zarządzania Międzynarodowego, ORCID 0000-0001-8358-7780

Kacper Wrona, absolwent UEK, kierunek Logistyka międzynarodowa

Logistyczny system gospodarowania odpadami w koncepcji smart city na przykładzie Ekospalarni w Krakowie

Streszczenie

Cel: Celem artykułu jest przedstawienie na przykładzie Ekospalarni w Krakowie nowoczesnych rozwiązań w koncepcji smart city 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 oraz praktycznych aspektów zarządzania gospodarką odpadami oraz opis determinujących je czynników

Wyniki badań: Analiza zebranych danych wskazuje, że zastosowanie nowoczesnych rozwiązań związanych z transportem, segregacją oraz przetwarzaniem stałych odpadów znacznie poprawia logistyczne systemy gospodarowania odpadami.

Wnioski: Publikacja uzasadnia sens wprowadzania innowacji w koncepcjach smart city, przyczyniają się one bowiem do lepszego zarządzania miastem oraz ułatwiają życie ich mieszkańców, redukując jednocześnie negatywny wpływ miasta na środowisko naturalne.

Wkład w rozwój dyscypliny: Publikacja uzasadnia sens prowadzenia badań nad wpływem innowacji technologicznych wykorzystywanych w zarządzaniu miastem w koncepcji smart city. Praktyczne wnioski mogą mieć zastosowanie w poprawianiu jakości procesów logistycznych w miastach

Wyrazy kluczowe: odpad, inteligentne miasto, system gospodarowania odpadami, spalarnia odpadów, nowoczesne technologie

Wprowadzenie

Ochrona zdrowia ludzi oraz środowiska naturalnego przed groźnymi konsekwencjami nieodpowiedniego postępowania z odpadami była przedmiotem pierwszej Dyrektywy Rady EWG (75/442/EWG z dnia 15 lipca 1975 roku) (Lutek, Pastuszek i Banaś, 2019). Od tego momentu aspekt ochrony środowiska naturalnego jest jednym z najistotniejszych tematów podejmowanych przez kraje członkowskie Unii Europejskiej. Podstawą do prawidłowego działania międzynarodowego ruchu ochrony środowiska jest intensywnie prowadzona edukacja ekologiczna wraz z ciągłym udoskonalaniem oraz tworzeniem praw i obowiązków w oparciu o ideę zrównoważonego rozwoju. Świadomość konsekwencji oraz postęp technologiczny pozwalają na ciągłe udoskonalanie systemów i procesów związanych z wykorzystywaniem właściwości energetycznych i materiałowych odpadów oraz zapobieganiu ich nadmiarowemu powstawaniu.

Obecnie najbardziej aktualnym dokumentem prawnym w zakresie odpadów w Unii Europejskiej jest Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2018/851 z dnia 30 maja 2018 roku. Do zmian wprowadzonych wspomnianą uchwałą modernizującą Dyrektywę 2008/98/WE (Dyrektywa 2008/98/WE, 2008) o odpadach należą m.in. modernizacja definicji odpadów komunalnych, bioodpadów lub rozwinięcie i uzupełnienie przepisów odnośnie systemu rozszerzonej odpowiedzialności producenta (Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2018/851, 2018).

Przegląd literatury

Wprowadzenie problematyki odpadów do dyrektyw UE było ważnym posunięciem, które niosło za sobą konieczność ich zdefiniowania oraz skategoryzowania. Zadanie to było obszerne i na tyle skomplikowane, że pierwsze utworzone definicje posiadały w sobie wiele nieścisłości, które zostawały uszczegóławiane na przestrzeni kolejnych lat.

W literaturze przedmiotu funkcjonuje wiele zamiennych sformułowań takich jak: „logistyka zwrotna”, „logistyka odpadów”, „logistyka utylizacji”, „ekologistyka”, „logistyka recykulacji”, „logistyka wsteczna”, „logistyka odzysku” lub „logistyka powtórnego zagospodarowania”. Pomimo dużej pokrewności wszystkich tych terminów mogą one różnić się m.in. ujęciem ostatniego etapu przepływu surowców. Przykładem może być porównanie idei logistyki utylizacji oraz logistyki recykulacji. Pierwsze

zagadnienie sugeruje, że produkty i/lub opakowania będące w fazie użytkowej zostaną unieściewione zgodnie z obowiązującymi zasadami, natomiast drugie pojęcie sugeruje, że dany produkt bądź opakowanie będzie wielokrotnie krążyć w obiegu w ramach zamkniętej pętli łańcucha dostaw (Witkowski, 2/2015). Wszystkie wymienione wyżej terminy są pojęciami, które w literaturze światowej funkcjonują stosunkowo krótko tj. od około dwudziestu lat i do tej pory nie udało się stworzyć dla nich ostatecznej definicji. W najbardziej ogólny sposób można przyjąć, 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, 249/2015). Logistyka zwrotna została zdefiniowana przez A. Sadowskiego jako jedna z dziedzin logistyki obejmująca swoim działaniem badania prawidłowości związanych z przemieszczaniem się produktów, których cykl życia się zakończył (Sadowski, 4/2006). W zagranicznej literaturze przedmiotu można znaleźć definicję, która określa logistykę odzysku jako proces planowania, implementowania i kontrolowania wydajnych i efektywnych finansowo przepływów surowców, półproduktów i 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). J. Szołtysek analizując i łącząc definicje z krajowej literatury przedmiotu wraz z tymi zawartymi w opracowaniach zagranicznych, stworzył bardzo interesującą interpretację logistyki zwrotnej. Określona ona została 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). Autor ten wnioskuje o rozszerzenie pojęcia odpadu o nowe w logistyce pojęcie odpadu tymczasowego, rozumianego jako dobro materialne nieprzydatne dla użytkownika ze względu na dane uszkodzenie lub wadę w stosunku do której użytkownik deklaruje chęć dalszej konsumpcji po dokonaniu naprawy (Janczewski, 2013).

Pomimo wielu definicji logistyki zwrotnej osoby prowadzące badania nad problematyką logistycznego systemu gospodarowania odpadami zgodni są co do stawianych przed nią celów i zadań. Fundamentalnymi celami logistyki zwrotnej jest integrowanie i usprawnianie przepływów odpadów w przestrzeni i czasie, mających

charakter czynności zintegrowanych, obejmujących obszar ekonomiczny, środowiskowy i społeczny (Lutek, Pastuszak i Banaś, 2019). Odpowiednia synchronizacja i optymalizacja działań w tych trzech obszarach konstruuje logistycznie zintegrowaną gospodarkę odpadami.

Logistyka miejska w koncepcja *smart city* i 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, co sprawia, że może być ona postrzegana jako postępową formą likwidowania odpadów oparta na dwóch wzajemnie uzupełniających się filarach - ekonomicznym oraz ekologicznym (Sadowski, 4/2006). Niektórzy autorzy dodają jeszcze trzeci filar – społeczny (Lutek, Pastuszak i Banaś, 2019). Celem logistyki zwrotnej jest zatem integrowanie i usprawnianie przepływów odpadów w przestrzeni i czasie. Odpowiednia synchronizacja i optymalizacja działań w tym zakresie w obszarze ekonomicznym, ekologicznym i społecznym konstruuje logistycznie zintegrowaną gospodarkę odpadami. Celem ekonomicznym tego systemu jest przede wszystkim obniżenie kosztów logistycznych, u efektywnienie poziomu obsługi logistyki odzysku oraz uzyskanie korzyści finansowych związanych ze sprzedażą surowców wtórnych. Cel środowiskowy polega na ochronie zasobów naturalnych poprzez ich częściowe zastąpienie surowcami wtórnymi oraz redukcję zanieczyszczeń pochodzących z procesów utylizacji. Cel społeczny ukierunkowany jest na dążenie do zapewnienia wysokiej jakości życia społeczeństwa, uwzględniając jednocześnie zasady sprawiedliwości międzypokoleniowej. Należy pamiętać, że cel społeczny związany jest ze społeczną odpowiedzialnością biznesu (Lutek, Pastuszak i Banaś, 2019) (Witkowski, 2/2015)

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 i ich unieszkodliwianie. Strukturę logistycznego systemu gospodarowania odpadami kształtują elementy/podsystemy odpowiedzialne za poszczególne etapy postępowania z odpadami. Zatem w systemie gospodarowania odpadami można wyodrębnić pojedyncze elementy/podsystemy a także procesy zachodzące wewnątrz nich oraz między nimi.

Procesy te następują po sobie w określonej kolejności. Brak lub niewłaściwe funkcjonowanie jednego z tych elementów lub procesów powoduje, że ogólny system nie spełnia stojących nad nim oczekiwań.

Tworzenie systemów logistycznych pozwala na osiągnięcie efektu synergii, polegającego na pozyskiwaniu większych korzyści z połączonych działań w stosunku do działań pojedynczych. Na funkcjonalność logistycznego systemu gospodarki odpadami wpływ mają różne czynniki, między innymi rozplanowanie przestrzenno-urbanistyczne danego obszaru, źródła powstawania odpadów, charakteru odpadów, ilości poszczególnych kategorii odpadów, czy też przepisy ogólnokrajowe czy też 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: infrastruktura dedykowana procesom postępowania z odpadami, sposoby gromadzenia odpadów, technologia pozwalająca na zbieranie danych oraz planowanie tras odbioru odpadów, przydzielanie odpowiednich środków transportu i organizację segregacji oraz przetwarzania, odzyskiwania i unieszkodliwiania odpadów.

Wyróżnia się dwie logistyczne struktury 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 mieć miejsce w nieokreślonym momencie (Lutek, Pastuszak i Banaś, 2019) (Witkowski, 2/2015). W dynamicznym modelu gospodarki odpadami uwzględnia się poniższe czynniki (Łukasik, Bril i Rydygier, 6/2017):

- zmiany w częstotliwości powstawania odpadów,
- możliwość fragmentarycznego lokalizowania obiektów systemu,
- ograniczenia przepustowości,
- możliwość wprowadzenia nowych koncepcji recykulacji odpadów,
- występowanie nowych miejsc pod lokalizację nowych obiektów systemu.

Tworzenie optymalnych i odpowiednio funkcjonujących logistycznych systemów gospodarowania odpadami jest skomplikowane ponieważ muszą one spełniać kryteria: techniczne, ekonomiczne, przyrodnicze i społeczne. Przy spełnianiu tych wymagań niezwykle pomocne okazują się być nowoczesne technologie. Miasta inteligentne są

rozwijane i oceniane w oparciu o kontekst techniczny. Podstawowa modyfikacja, zachodząca w inteligentnym mieście w stosunku do modelu tradycyjnego, tkwi w informatyczno-informacyjnej integracji wszystkich podsystemów miejskich na zasadzie wspólnej miejskiej platformy, będącej elementem pośredniczącym, który przy użyciu należytej infrastruktury umożliwia dostarczanie właściwych zasobów zaspokajających konkretne potrzeby. Za pomocą takiej platformy ITC transferowane są informacje zasilające system logistyczny miasta (Burska, 6/2012). Najbardziej popularnym narzędziem wykorzystywanym w tym zakresie jest monitoring potrzeb i zużycia zasobów realizowany poprzez inteligentne systemy pomiarowe. W obszarach gospodarowania miejskimi zasobami wodnymi, cieplnymi i energetycznymi bardzo duże znaczenie ma usuwanie i zagospodarowanie odpadów poprzez recykling lub wprowadzanie gospodarki o obiegu zamkniętym. Systemy te spełniają 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 zaplanowane w sposób optymalny. Ważnym czynnikiem wpływającym na poprawne funkcjonowanie logistycznego systemu gospodarowania odpadami jest infrastruktura miejska. Infrastruktura ta ma za zadanie zaopatrywać mieszkańców miast oraz ich obrzeży w energię elektryczną, wodę oraz ciepło, ale celem jej jest także odprowadzanie odpadów komunalnych i ścieków, które powstają jako skutek uboczny wymienionych procesów. W koncepcji *smart city* miasto na bieżąco udoskonala i modernizuje swoją infrastrukturę w celu zapewnienia ciągłości dostaw oraz minimalizowania jej energochłonności i kosztochłonności. Działania te mają prowadzić do zmniejszenia poziomu zanieczyszczenia środowiska i większego uodpornienia miasta na zdarzenia niepożądane.

Ekospalarnia w Krakowie jako przykład zastosowania nowoczesnych technologii w logistycznym systemie gospodarowania odpadami w koncepcji *smart city*

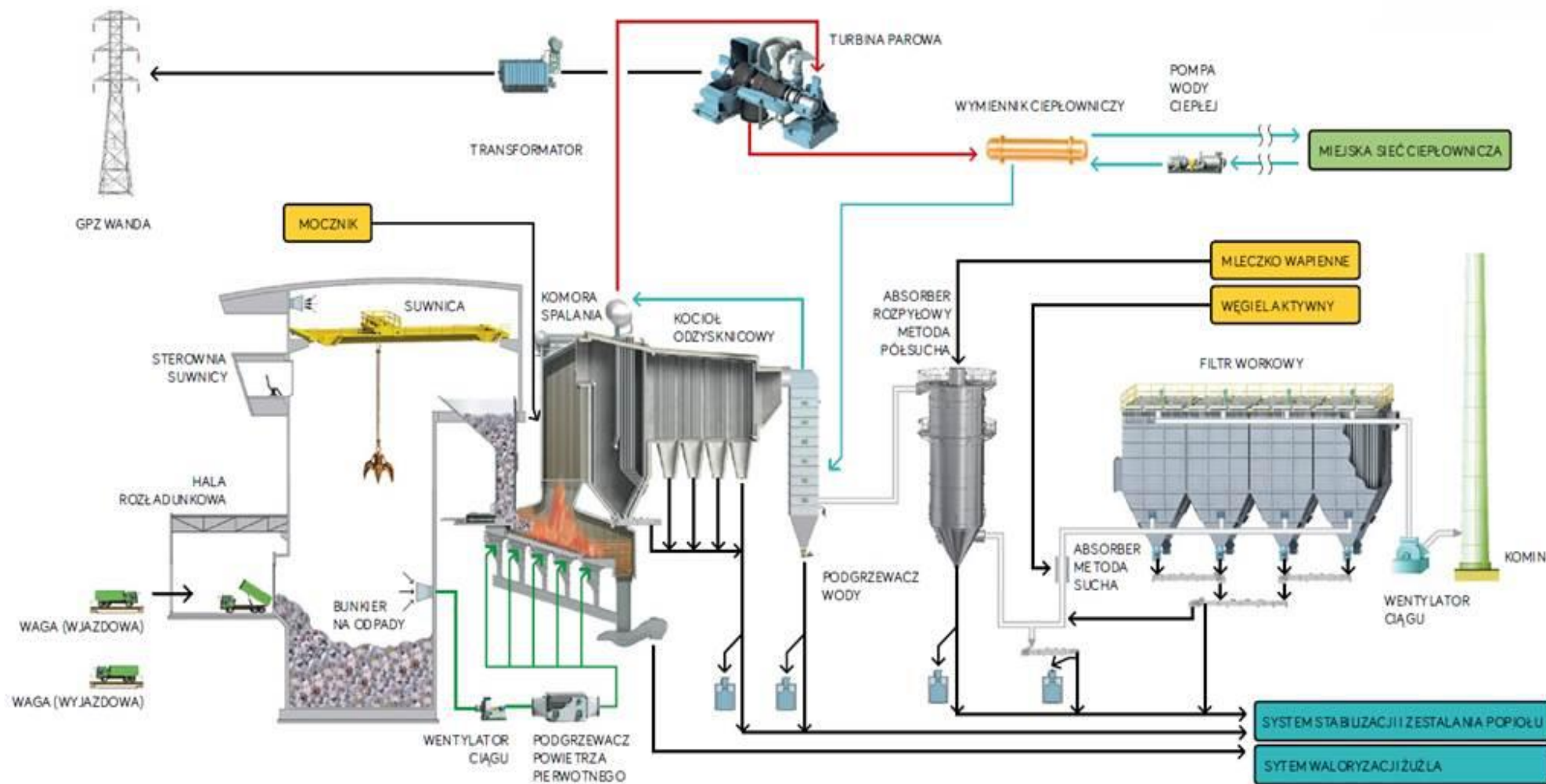
Efektywność gospodarki odpadami komunalnymi jest w dużej mierze oparta na odpowiednim systemie zorganizowania procesów logistycznych w jej obrębie.

Problematyczna 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, wartość ich wzrasta i mogą one znaleźć zastosowanie w przeróżnych gałęziach gospodarki (Krzywda, 2/2012).

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

Obecnie w nowoczesnych zakładach część odpadów komunalnych jest poddana procesom spalania przy jednoczesnym odzysku energii elektrycznej i cieplnej. Według analizy sporządzonej przez Główny Urząd Statystyczny w Polsce w 2019 roku przekształceni termicznemu zostało poddanych 2,920 tys. ton odpadów, co stanowiło 23% ogółu wytworzonych odpadów komunalnych.

Pierwszą i najważniejszą kwestią, jaką oczekuje się od spalarni jest redukcja jak największej ilości odpadów komunalnych, w celu całkowitego ograniczenia deponowania ich na składowisku. Zakład Termicznego Przetwarzania Odpadów powstał jako odpowiedź na potrzeby ekologiczne Krakowa i jest jednym z najważniejszych elementów miejskiego systemu gospodarki odpadami. Ekospalarnia została otwarta w 2015, ale w pełni funkcjonuje od czerwca 2016 roku. Za realizację tego projektu a także obecnie za prawidłowe funkcjonowanie i eksploatację tego zakładu odpowiada Krakowski Holding Komunalny S.A. Zakład Termicznego Przekształcania Odpadów w Krakowie stosuje technologię termicznego przekształcania odpadów, która jest sprawdzona, bezpieczna i najczęściej wybierana wśród nowoczesnych tego typu zakładów w Europie. Instalacja spełnia wymagania tzw. najlepszych dostępnych technik, gwarantując tym wysokie standardy ochrony środowiska (rys.1), 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. ton odpadów komunalnych (Wielgosiński i Czerwińska, 4(69)/2019).



Rysunek 1. Schemat technologiczno-funkcyjny spalarni w Krakowie

Źródło: G. Wielgoński, J. Czerwińska, *Spalarnie odpadów komunalnych w Polsce*, „Nowa Energia”, nr 4(69), 2019, s. 39

Ekospalarnia przyjmuje odpady jedynie z terenu gminy miejskiej Kraków. Można wyróżnić ich dwa rodzaje:

- komunalne odpady zmieszane - kod 20 03 01,
- odpady odrzucone w procesie segregacji - kod 19 12 12.

Średnio dobowo do spalarni przyjeżdża około 1000 ton odpadów, jednak są to ilości zmienne. Ciężarówki z odpadami na hali rozładunkowej przekazują odpady do bunkra, czyli żelbetowego zbiornika o pojemności 3,5 tys. ton. Odpady przyjmowane są jedynie od poniedziałku do piątku, jednak pojemność bunkra pozwala na zachowanie ciągłości pracy przez 7 dni w tygodniu, dzięki czemu zakład pracuje w ruchu ciągłym 24h/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 ton na godzinę, dzięki czemu zakład osiąga średnią niecałych 700 ton odpadów spalanych w ciągu doby. To właśnie po umieszczeniu odpadów w kotle rozpoczyna się proces termicznego przekształcania odpadów.

Proces ten przebiega według następujących faz (<https://khk.krakow.pl/pl/ekospalarnia/termiczne-przekształcanie-odpadow/proces-termicznego-przekształcania-odpadow/>, 2021):

- suszenie – w początkowym etapie 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 osiągnięte jest całkowite spalanie odpadów;
- zgazowanie – w tym procesie produkty lotne w temperaturze 1000°C utleniają się przez tlen cząsteczkowy, a sam proces w przeważającej części odbywa się w górnej strefie komory paleniskowej;
- dopalanie – jest to faza, której celem jest zminimalizowanie części niespalonych ilości dwutlenku węgla w spalinach; w strefie dopalania podaje się powietrze wtórne celem całkowitego spalania pozostałości; czas

przebywania spalin w tej strefie osiągającej minimum 850°C musi wynosić przynajmniej 2 sekundy.

Należy dodać, że podczas procesu spalania zredukowane jest około 75% masy objętości przekształcanych odpadów.

Proces spalania odpadów jest jedynie częścią funkcjonowania całego zakładu. Kolejnym bardzo ważnym etapem jest układ odzysku energii. W tym systemie główne urządzenie stanowi kocioł odzysknicowy z naturalnym obiegiem spalin, w którym zachodzi wymiana ciepła. Spaliny z wcześniejszych procesów termicznych zostają 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 zarówno energia elektryczna, jak i energia cieplna. Energia cieplna przejmowana jest przez Miejskie Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej 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 energię odnawialną czyli tzw. zieloną energię.

Podczas procesu termicznego przekształcania odpadów powstają spaliny, które występują w formie gazowej lub pyłowej i składają się głównie z dwutlenku węgla, pary wodnej, tlenu węgla, dwutlenku siarki, tlenków azotu oraz częściowo spalonych węglowodorów. Zanim jednak spaliny te trafią do atmosfery poddawane są starannemu, kilkietapowemu oczyszczaniu. Proces oczyszczania rozpoczyna się w już w komorze paleniskowej, gdzie spaliny poddaje się redukcji stężeń tlenków azotu polegającej na wtrysku przez specjalne dysze 25% roztworu mocznika do gorących spalin w komorze paleniskowej. Po tym zabiegu gazy spalinowe wprowadza się do systemu oczyszczania spalin poprzez 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 ze 180°C do około 140°C. Po procesach pól suchej 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, gdzie redukuje się pozostałości ze wcześniejszych etapów. Spaliny przy pomocy wentylatorów wyciągowych wprowadzane są do atmosfery kominem o wysokości 70 metrów. Wszystkie procesy oczyszczania skutecznie redukują zanieczyszczenia umożliwiając Ekospalarni oddanie ich środowisku 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 powoduje zanieczyszczeń powietrza, hałasu ani odoru (<https://khk.krakow.pl/pl/ekospalarnia/termiczne-przekształcanie-odpadow/proces-termicznego-przekształcania-odpadow/>, 2021)

Podczas procesów spalania uzyskiwane są również odpady procesowe. Średnio dobowo obiekt wytwarza około 150 ton żużla oraz mniej więcej 20-23 ton 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 zdaniem muszą jednak zostać odpowiednio przygotowane - żużel poddawany jest procesom waloryzacji, natomiast pyły i popioły procesom stabilizowania i zestalania. Dopiero po otrzymaniu aprobaty technicznej i pozytywnych wynikach wspomnianych procesów żużel może być 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 być przeznaczone do dalszej obróbki i być zagospodarowane w specjalistycznych instalacjach (<https://khk.krakow.pl/pl/ekospalarnia/termiczne-przekształcanie-odpadow/proces-termicznego-przekształcania-odpadow/>, 2021).

Ekospalarnia bez wątpienia jest obiektem nowoczesnym oraz bezpiecznym dla ludzi i środowiska. Bardzo ciekawym rozwiązaniem potwierdzającym nieszkodliwość zakładu było postawienie pasieki przy obiekcie. Pszczoły stanowią „marker” czystości otoczenia – tam gdzie te owady żyją i mają się dobrze, środowisko jest również przyjazne

dla człowieka. Pasieka jest ponadto dodatkowym urozmaiceniem ścieżki edukacyjnej, która funkcjonuje na terenie całego zakładu. Zakład dba również o transparentność wszelkich danych emisyjnych, które na bieżąco udostępniane są dla mieszkańców na stronie internetowej oraz na tablicach informacyjnych umieszczonych przed obiektem.

Korzyści z funkcjonowania Ekospalarni w Krakowie

Ekospalarnia w Krakowie spala rocznie ok. 220.000 ton odpadów i zajmuje pierwsze miejsce pod względem wydajności w kraju. Jej działalność pozwoliła uniknąć w latach 2016-2020 składowania 999.179 ton odpadów, co oznacza, że z początkiem bieżącego roku została przekroczona bariera 1 miliona ton 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 około 65.000 MWh energii elektrycznej. W celu lepszego zobrazowania należy nadmienić, że jest to ilość, która wystarczyłaby na całoroczne zasilenie wszystkich krakowskich tramwajów lub zaspokojenia potrzeb energetycznych miejskich wodociągów. W trybie kogeneracji zakład wytwarza również energię cieplną do 280.000 MWh rocznie, - co z kolei stanowi 10% rocznego zapotrzebowania systemu ciepłowniczego miasta. Zatem zakład swoim działaniem umożliwia wszechstronne czerpanie korzyści z unieszkodliwiania odpadów, ponieważ oprócz samego procesu spalania, w sposób ekologiczny zwiększa bezpieczeństwo energetyczne miasta. W 2017 roku Urząd Regulacji Energetyki wydał dla KHK S.A tzw. „zielone certyfikaty”, czyli świadectwa pochodzenia energii elektrycznej z odnawialnego źródła energii (<https://khk.krakow.pl/pl/ekospalarnia/informacja-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 w Baryczy. W 2017 na składowisku w Baryczy zdeponowano aż o 93,5% mniej odpadów niż w 2007 roku.

Zmodernizowany logistyczny system gospodarowania odpadami w Krakowie system, przyniósł poza wyżej wymienionymi również inne ważne korzyści. Pierwszą z nich jest wydzielenie paliwa alternatywnego RDF na wczesnym etapie segregacji

strumieni odpadów. Na przestrzeni ostatnich lat dostrzeżono dodatkowy walor w odpadach, które posiadają dużą wartość opałową. Dzięki temu obecnie takie odpady nie trafiają na składowiska, a 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 miejskich środków komunikacji, natomiast w Krakowie na obecnym etapie rozwoju wykorzystuje się go 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-klimatekomapa-inwestycji-ekologicznych/>, 2021)

Ekospalarnia, oprócz usprawnienia miejskiego systemu odpadowego i zintegrowania go z nowoczesnymi metodami unieszkodliwiania odpadów, wpłynęła również pozytywnie na inne obszary miasta. Dzięki niej ograniczono emisję dwutlenku węgla oraz metanu ze składowisk odpadów, zredukowano koszty unieszkodliwiania odpadów (w porównaniu do ich składowania), stworzono nowe miejsca pracy oraz przede wszystkim inwestycja ta umożliwiła miastu Kraków sprostanie wymaganiom prawnym i ekologicznym Unii Europejskiej (<https://khk.krakow.pl/pl/ekospalarnia/informacja-o-projekcie>, 2021). Dodatkowo instytucje miejskie takie jak m.in. MPK S.A., ZDMK lub MPEC S.S. mają możliwość na hurtowy zakup dużej ilości energii w niższych cenach, dzięki czemu odnoszą ogromne korzyści finansowe, które w porównaniu do cenników wynoszą w skali roku łącznie ponad 30 mln złotych (<https://khk.krakow.pl/pl/aktualnosci/duzy-moze-wiecej>, 2021).

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 roku zbiórka odpadów została zmodernizowana w taki sposób, aby zredukować do minimum przeznaczane do unieszkodliwiania termicznego odpady nadające się do odzysku (<https://mpo.krakow.pl/pl/mieszkanicy/selekcja>, 2021). Dzięki tej zmianie odpady komunalne na wstępie przydzielane są do konkretnych frakcji,

co w znacznym stopniu usprawnia późniejsze logistyczne zarządzanie danymi strumieniami odpadowymi.

Obszar transportu odpadów – kolejny element w logistycznym systemie gospodarowania odpadami odniósł bardzo istotnych korzyści dzięki Ekospalarni. Pierwszą rzeczą jaka pozytywnie wpłynęła na ten podsystem to lokalizacja obiektu. Ekospalarnia jest umiejscowiona przy ul. Giedroycia w Nowej Hucie. W wielokryterialnej analizie lokalizacja ta została uznana jako najkorzystniejsza (Krakowska Ekospalarnia. Zakład przekształcania odpadów w Krakowie, 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, niż wcześniejszy cel przewozów odpadowych czyli składowisko odpadów komunalnych Barycz znajdujące się na południowych obrzeżach Krakowa przy ul. Krzemienieckiej. Umiejscowienie Ekospalarni z pewnością przyczyniło się do zmniejszenia kosztów miejskich przewozów odpadów, a także zredukowano emisję zanieczyszczeń oraz ograniczono zatłoczenie na drogach. Miejsce można uznać za strategiczne również ze względu na bliskość odcinka drogi ekspresowej S7, który został oddany do użytku w czerwcu 2017 roku i stanowi zasadniczy łącznik infrastruktury transportowej. W uchwale opiniującej lokalizację Ekospalarni znalazł się również pakiet ponad 50 inwestycji koniecznych do zrealizowania w przypadku budowy zakładu. Do inwestycji wpisujących się w omawianą tematykę zaliczyć można liczne modyfikacje infrastruktury drogowej w obrębie obiektu w postaci modernizacji ulic, remontów skrzyżowań lub budowę parkingów, chodników oraz wiat przystankowych. W najbliższym otoczeniu ZTPO modernizacji zostały poddane m.in.: ul. Igołomska, ul. Giedroycia, ul. N. Marii Panny, ul. Klasztorna oraz ul. Podpięty. Remontom zostały poddane również inne ulice w dalszym otoczeniu, będące 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 Nowa Huta z dnia 29 stycznia 2009, 2009).

Powyższe inwestycje spowodowały zwiększenie drożności komunikacyjnej miasta co w dużym stopniu przełożyło się na usprawnienie procesów logistyczno-transportowych. Korzyści zostały osiągnięte nie tylko dla samej Ekospalarni oraz podrzędnych podmiotów dowożących i odbierających, ale przede wszystkim dla każdego uczestnika ruchu drogowego w omawianych rejonach.

Podsystem magazynowania odpadów w Krakowie po otwarciu ZTPO został wzbogacony o bunkier, który odpowiada za ciągłość pracy obiektu. Wcześniej proces magazynowania odbywał się jedynie w formie tymczasowej 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 dużo mniej skomplikowana ze względu na brak konieczności dostosowywania się pojazdów przywożących odpady do urządzeń je odbierających.

Średnioroczny współczynnik efektywności energetycznej w Ekospalarni nie spada poniżej 0,65 co oznacza, że zachodzące w niej procesy transformacji odpadów nie są procesami unieszkodliwiania, a odzyskiem (Lutek, Pastuszek i Banaś, 2019) (Witkowski, 2/2015). Jak już powyżej 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 zawartym 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 strony pozostałości po procesach spalania, po poddaniu odpowiednim czynnościom, są przekazywane do dalszego zagospodarowania, dzięki czemu oszczędzane są naturalne surowce. Jest to prawidłowe zoptymalizowanie procesu odzysku odpadów, które umożliwia KHK S.A. m.in. na sprzedaż energii jednostkom podporządkowanym w lepszych cenach. To z kolei przekłada się na spore oszczędności podmiotów takich jak np. MPK S.A. Takie korzyści finansowe mogłyby wpłynąć np. na obniżenie opłat za usługi przewozowe lub chociażby na zwiększenie budżetu przeznaczonego na różnego rodzaju innowacje, których wprowadzenie jeszcze bardziej zbliżyłoby miasto Kraków do osiągnięcia statusu inteligentnego miasta. Ten przykład pokazuje, że optymalizacja choćby jednego obszaru systemu odpadowego może przyczynić się do osiągnięcia korzyści logistycznych nawet poza ramami tego systemu.

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 znacznej 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.

Wnioski końcowe

Ekospalarnia to obiekt, dzięki któremu miasto Kraków odnosi korzyści na płaszczyźnie ekonomicznej, środowiskowej, energetycznej, edukacyjnej oraz logistycznej. Jest to najdroższa, ale zarazem bardzo trafna inwestycja Krakowa, która swoim działaniem i pozytywnym wpływem na wiele obszarów miejskich, zbliża go do osiągnięcia statusu miasta inteligentnego. Projekt ten jest idealnym przykładem dla innych miast w Polsce i na świecie. Jego rezultaty ukazują, że inwestowanie kapitału w nowoczesne technologie jest nie tylko opłacalne, ale pozwala także odnieść wieloobszarowe korzyści w systemach miejskich, będących solidnym fundamentem dla poprawy funkcjonowania miasta na tle zrównoważonego rozwoju. Dynamiczny postęp technologiczny w ostatnich latach powinien być głównym bodźcem do planowania i optymalnego wykorzystywania miejskich zasobów finansowych i technicznych w celach wdrażania wszelakich innowacyjnych rozwiązań z zakresu smart city. Wnioski te mogą sugerować, że władze miast stawiających na zrównoważony rozwój, powinny być świadome swoich zasobów i możliwości, a wszelkie działania mające na celu implementację nowoczesnych rozwiązań do systemów komunalnych, powinny mieć priorytetową wagę wśród wszystkich zaplanowanych projektów miejskich.

Bibliografia

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

Dyrektywa 2008/98/WE. (2008).

Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2018/851. (2018, maj 30).

Dyrektywa Rady 75/442/EWG. (1975).

Dz.U Nr. 3, poz. 6. (1980).

<https://infrastruktura.um.warszawa.pl/zielony-klimatekomapa-inwestycji-ekologicznych/>. (2021, czerwiec). Pobrano z lokalizacji <https://infrastruktura.um.warszawa.pl>.

<https://khk.krakow.pl/pl/aktualnosci/duzy-moze-wiecej>. (2021, czerwiec). Pobrano z lokalizacji <https://khk.krakow.pl>.

- <https://khk.krakow.pl/pl/ekospalarnia/informacja-o-projekcie> . (2021, czerwiec 5).
Pobrano z lokalizacji <https://khk.krakow.pl/>.
- <https://khk.krakow.pl/pl/ekospalarnia/informacja-o-projekcie>. (2021, czerwiec).
Pobrano z lokalizacji <https://khk.krakow.pl/>.
- <https://khk.krakow.pl/pl/ekospalarnia/termiczne-przekształcanie-odpadow/proces-termicznego-przekształcania-odpadow/>. (2021, czerwiec 5). Pobrano z lokalizacji <https://khk.krakow.pl/pl/>.
- <https://mpo.krakow.pl/pl/mieszkanicy/selekcja>. (2021, czerwiec). Pobrano z lokalizacji <https://mpo.krakow.pl/>.
- Janczewski. (2013). *Problematyka zarządzania logistycznego strumieniami powrotnymi*. Łódź: Akademia Humanistyczno-Ekonomiczna w Łodzi.
- (2009). *Krakowska Ekospalarnia. Zakład przekształcania odpadów w Krakowie*. Kraków: Krakowski Holding Komunalny. Pobrano z lokalizacji <https://bip.krakow.pl/> .
- Krzywda, D. (2/2012). Procesy logistyczne w gospodarce stałymi odpadami komunalnymi. *Logistyka*.
- Lutek, W., Pastuszek, Z. i Banaś, J. (2019). *Smart city: innowacyjny system zarządzania logistyką zwrotną w gospodarce odpadami komunalnymi*. Lublin: Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie.
- Lysenko-Ryba, K. (249/2015). Logistyka zawrotna jako źródło korzyści konkurencyjnych. *Studia Ekonomiczne. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach*.
- Łukasik, Z., Bril, J. i Rydygier, E. (6/2017). Gminne systemy gospodarowania odpadami komunalnymi w ujęciu logistycznym. *Logistyka*.
- Rodgers, D. S. i Tibben-Lembke, R. (1998). *Going backwards: Reverse Logistics Trends and Practices*. Nevada: Reverse logistics Executive Council.
- Sadowski, A. (4/2006). Reverse logistics w terminologii logistycznej. *Logistyka*.
- Szołtysek, J. (2009). *Logistyka zwrotna*. Poznań: ILiM.
- Uchwała Nr XXVIII/269/09 Rady Dzielnicy Nowa Huta z dnia 29 stycznia 2009. (2009, styczeń 29).
- Wielgoński, G. i Czerwińska, J. (4(69)/2019). Spalarnie odpadów komunalnych w Polsce. *Nowa Energia*.
- Witkowski, K. (2/2015). Aspekty logistyki odzysku i recyklingu tworzyw sztucznych. *Logistyka*.

Logistic system of waste management in the smart city concept on the example of the Eco-incineration plant in Cracow

Objective: The main aim of the article is to present modern solutions in the Smart City concept that allows the creation of optimal and logistically properly functioning solid waste management systems. The presentation is based on the example of the Eco-incineration plant in Cracow.

Research Design & Methods: An analysis of the subject was based on the method of literature analysis, the method of logical inference analysis, the analysis of theoretical and practical aspects of waste management, and a description of the factors determining them.

Findings: The analysis of the collected data shows that the use of innovative solutions related to transport, segregation, and solid waste processing, significantly improves the logistic waste management systems.

Implications/Recommendations: The publication justifies the sense of innovations implementation in the smart city concept, as they contribute to better urban management, facilitate life for inhabitants, and reducing the city's negative impact on the environment.

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

Keywords: waste, smart city, waste management, waste incinerations plant, modern technologies