

Nowoczesne technologie wykorzystywane w gospodarce odpadami komunalnymi w smart city

Ewa Bondar

Politechnika Białostocka, Wydział Inżynierii Zarządzania

e-mail: ewabondar@wp.pl

Klaudia Panasewicz

Politechnika Białostocka, Wydział Inżynierii Zarządzania

e-mail: klaudia.panasewicz@pb.edu.pl

Danuta Szpilko

Politechnika Białostocka, Wydział Inżynierii Zarządzania

e-mail: d.szpilko@pb.edu.pl

DOI: 10.24427/az-2023-0019

Streszczenie

We współczesnym świecie miasta stoją przed licznymi wyzwaniami, które muszą pokonać, aby poprawić jakość życia mieszkańców. Jednym z wyzwań jest gospodarowanie odpadami, które w świetle koncepcji smart city jest istotne, aby zapewnić ludziom lepsze życie w mieście. W tym celu stosuje się nowoczesne technologie, dzięki którym gospodarowanie odpadami komunalnymi staje się bardziej efektywne. Celem artykułu jest identyfikacja nowoczesnych technologii wykorzystywanych w gospodarce odpadami komunalnymi w smart city. W artykule przedstawiono przykłady wybranych technologii, w tym Internetu Rzeczy, wykorzystywanych w gospodarce odpadami komunalnymi. Charakterystyka tych rozwiązań została przygotowana na podstawie przeglądu literatury i stron internetowych.

Słowa kluczowe

smart city, gospodarka odpadami, nowoczesne technologie, zrównoważony rozwój

Wstęp

Globalizacja, rozwój nowoczesnych technologii oraz szeroko rozumianego biznesu napędzają powstawanie kolejnych trendów. Często stanowią one odpowiedź na negatywne skutki zmian cywilizacyjnych. Stały wzrost liczby ludności, zjawisko urbanizacji, pogłębiający się konsumpcjonizm oraz wzrost oczekiwań społeczności wobec władz spowodował tworzenie się kolejnych koncepcji, które mają na celu poprawę jakości życia ludności. Jedną z takich koncepcji jest smart city. Jej zasadniczym założeniem jest ulepszenie funkcjonowania miasta, aby spełniało ono wymagania mieszkańców. Jest to możliwe dzięki wykorzystaniu technologii informacyjno-komunikacyjnych w różnych dziedzinach życia miejskiego. Zamyśl inteligentnych miast obejmuje usprawniania w sześciu wymiarach: gospodarce, zarządzaniu, mobilności, społeczeństwie, warunkach życia oraz środowisku naturalnym. Wszystkie są ze sobą powiązane i wzajemnie na siebie oddziałują.

Coraz bardziej istotnym aspektem smart city staje się inteligentne środowisko. Działania w ramach tego obszaru skupiają się na odpowiedzialności względem środowiska naturalnego, rozsądnym korzystaniu z zasobów naturalnych, dbaniu o jakość powietrza i ograniczaniu zanieczyszczeń. Wyzwaniem staje się także logistyka zwrotna miast. Ze względu na stały wzrost liczby mieszkańców miast, zauważalny jest także wzrost liczby generowanych odpadów komunalnych. Skutkiem tego jest pogorszenie stanu środowiska naturalnego oraz obniżenie jakości życia. Warto zaznaczyć, że problem odpadów komunalnych ma wpływ na konkurencyjność miasta, jego pozycję w rankingach oraz wizerunek w oczach interesariuszy. Problem ten napędzany jest również ciągłą nadprodukcją oraz trendami wspomagającymi konsumpcjonizm. Aby zarządzanie odpadami komunalnymi w miastach było efektywne, poza wprowadzeniem norm prawnych regulujących procesy z tym związane, należy wdrożyć rozwiązania oparte na nowoczesnych technologiach. Takim innowacyjnym rozwiązaniem jest między innymi Internet Rzeczy (Internet of Things). Dzięki IoT możliwa jest optymalizacja kolejnych etapów gospodarki odpadami takich jak gromadzenie, zbiórka, transport czy przetwarzania odpadów komunalnych.

Celem artykułu jest identyfikacja i charakterystyka dobrych praktyk w zakresie technologii wykorzystywanych w gospodarce odpadami komunalnymi w smart city.

1. Koncepcja smart city i jej znaczenie w ochronie środowiska

Wraz z nasiloną urbanizacją, dynamiczną globalizacją oraz sprawniejszym przekazem informacji, miasta stają przed coraz to nowszymi wyzwaniami. Rezultatem

tego jest ciągła praca nad nowymi strategiami rozwojowymi, nowoczesnymi technologiami i innowacyjnymi projektami, które mają za zadanie usprawnić procesy skupione na obszarach wybranych miejscowości. Wciąż poszukiwane są nowe, efektywne rozwiązania, które wpłyną na poprawę jakości życia mieszkańców miast i zapewnią zrównoważony wzrost społeczno-gospodarczy. Jedną z odpowiedzi na potrzeby społeczności jest koncepcja smart city. Pierwsze przejawy inteligentnego miasta przypadają na XIX wiek i są następstwem wizji „miasta idealnego”, która powstała jeszcze w starożytnej Grecji. Na przestrzeni lat sformułowanych zostało wiele definicji „smart” miast. Należy zauważyć, że jest to koncepcja o stosunkowo krótkiej historii, a osoby podejmujące się próby określenia jej znaczenia rozpatrywały to pod różnymi względami, przez co powstało wiele teorii dotyczących tego samego zagadnienia. Trzy główne generacje smart city zostały określone przez Boyd’a Cohen’a [Cohen, 2015]. Pierwsza z nich skupia się na możliwych usprawnieniach wprowadzanych dzięki technologiom ICT (Information and Communications Technology – technologie informacyjno-komunikacyjne). Sprawny przepływ informacji umożliwia poprawę efektywności funkcjonowania miasta, a co z tym związane poprawę jakości życia mieszkańców [Kitchin, 2014]. Ze względu na różnice w świadomości urbanistycznej oraz dostępie do technologii, konkretne rozwiązania dopasowywane są do potrzeb oraz charakterystyk wybranych miast. Pewnego rodzaju ograniczeniem smart city 1.0. jest fakt, że przedsiębiorstwa z sektora IT proponują technologie, które nie są odpowiedzią na realne potrzeby miast. Traktują to jako inwestycję, produkt, który należy sprzedać. Często mieszkańcy, a nawet władze miasta nie są gotowi na wprowadzenie takiego rozwiązania. Wybrana innowacja staje się utrapieniem, a nie sposobem na poprawę jakości życia w danej miejscowości. Druga generacja smart city skupia się na roli władzy w funkcjonowaniu miasta. Jest ona odpowiedzialna za poszukiwanie konkretnych rozwiązań, które pozwolą uzyskać oczekiwane efekty w danej miejscowości. Innowacyjne technologie wspierają realizację strategii rozwojowych miasta, równocześnie poprawiając jakość życia społeczności. Po zidentyfikowaniu określonego problemu władze skupione są na wybraniu narzędzia, które odpowiednio użyte, zniweluje go. Zyskującymi na popularności propozycjami są czujniki rejestrujące m.in. poziom smogu w powietrzu, obecność pieszych czekających na przejściach czy chociażby wolne miejsca parkingowe. W tym wszystkim najważniejsze jest, aby władze były świadome realnych zagrożeń oraz wymaganych zmian w kontekście mieszkańców. Wadą smart city 2.0 jest fakt, iż mimo, że ten sposób działania jest bardziej świadomy i precyzyjny, wciąż nie jest to bezpośrednia komunikacja z mieszkańcami. Wszelkie decyzje podejmowane są na podstawie uwag osób rządzących i osób zajmujących się administracją.

Uzupełnieniem tego jest trzecia generacja inteligentnego miasta. Smart city 3.0 zakłada, że rozwój miasta zależy od samych jego mieszkańców. Oni poszukują rozwiązań problemu, który zauważają. Społeczność powinna być spójna i z założenia stale obserwować wszelkie zachodzące zmiany w funkcjonowaniu miasta. W tym przypadku, władze mają jedynie wspierać potencjał społeczności, usprawniać kanał komunikacji umożliwiając wcześniejsze podjęcie decyzji o następnych działaniach. Mieszkańcy poszukują technologii, które zapewnią poprawę danej sytuacji, jednak to nie jest główny element, na którym się skupiają. W koncepcji smart city 3.0 największy nacisk kładzie się na kapitał społeczny, edukację oraz stały rozwój. W inteligentnych miastach trzeciej generacji odpowiednie zarządzanie kapitałem ludzkim oraz efektywność świadczonych usług publicznych są równie ważne jak czynnik wzrostu gospodarczego czy technologicznego [Manville i in., 2014]. Zgodnie z tym powstała jedna z definicji smart city, w której określono, że technologie ICT są narzędziem wspierającym usługi publiczne, angażując przy tym władze miast, mieszkańców oraz innych interesariuszy. Tworzenie inteligentnego miasta wiąże się ze stałym inwestowaniem w kapitał społeczny, efektywnie eksponując konkretne zasoby ludzkie [Caragliu i in., 2011]. Podobną wizję smart city przedstawił N. Komninos, który opisując inteligentne miasta, zwrócił uwagę nie tylko na innowacje, cyfryzację oraz technologie komunikacyjne, ale także na efektywne zarządzanie, wysoki poziom szkolnictwa, umiejętności adaptacji i szybkiego uczenia się oraz kreatywność. Wyodrębnił on również cztery główne obszary smart city, które opierały się na efektywnym zarządzaniu, innowacji oraz kreatywności. Pierwszy z nich skupia się na kreatywności społeczeństwa działającego na bazie zdobytej wiedzy. Drugi obszar dotyczy instytucji naukowo-badawczych, efektywności ich działalności oraz wsparcia w poszerzaniu wiedzy i ciągłego samorozwoju obywateli. Następny obszar to głównie nowoczesna infrastruktura, cyfryzacja, e-usługi oraz narzędzia online do zarządzania informacją. Ostatnim obszarem jest odpowiednie zarządzanie, umiejętność płynnego rozwiązywania problemów oraz otwartość na innowacje i nowoczesne usprawnienia. To uwidacznia, że inteligentne miasta nie opierają się jedynie na rozwiniętej infrastrukturze, ale także na jakości komunikacji oraz świadomości obywateli, że mają realny wpływ [Kogan, 2014]. Wszystkie cztery obszary składają się na jeden cel, czyli poprawę jakości życia mieszkańców oraz wzrost ekonomiczny miasta i jego konkurencyjność. W celu określenia najbardziej inteligentnych miast co roku tworzone są różnego rodzaju rankingi. Jednym z nich jest Indeks Smart City, który stanowi ranking najbardziej inteligentnych miast na świecie. Raport Institute for Management Development z Singapore University for Technology and Design (SUTD) tworzony jest co roku i opiera się na wskaźnikach eko-

nomicznych, technologicznych oraz ocenie obywateli zamieszkujących wybrany obszar. Smart City Index 2021 wyodrębnił 10 „smart” miast: Singapur (Republika Singapuru), Zurych (Szwajcaria), Oslo (Norwegia), Tajpej (Tajwan), Lozanna (Szwajcaria), Helsinki (Finlandia), Kopenhaga (Dania), Genewa (Szwajcaria), Auckland (Nowa Zelandia), Bilbao (Hiszpania) [Smart City Index, 2021].

Osiągnięcie miana smart city kojarzone jest z wieloma czynnikami: technicznymi, ekonomicznymi, społecznymi, ekologicznymi, politycznymi, prawnymi, a także odnoszącymi się do wartości [Szpilko, 2020; Szpilko i in., 2020]. Obserwując dynamiczny rozwój technologii można uznać, że smart city to miasto, którego funkcjonowanie opiera się na technologii informacyjno-komunikacyjnej. Pozwala to na wsparcie infrastruktury miejskiej i jej części składowych oraz poprawę świadomości społeczeństw [Azkuna, 2012]. Duży nacisk kładzie się na konfigurację systemów cyfrowych sieci komunikacyjnych oraz wybranych oprogramowani [Albino i in., 2015]. Takie spojrzenie na smart city pokazuje istotę udziału innowacji informatycznych, systemów wewnętrznych oraz narzędzi pierwszego kontaktu takich jak czujniki, w rozwoju miasta [Schaffers i in., 2012]. Poziom innowacji inteligentnych miast zależy również między innymi od połączeń systemów miejskich, które swoje zastosowanie znajdują w gospodarstwach domowych, budownictwie czy szeroko rozumianej infrastrukturze miejskiej. To wszystko ma na celu zapewnienie bezpieczeństwa oraz większego komfortu mieszkańcom danych miejscowości [Mikulik, 2017].

Jednym z założeń smart city jest efektywne wykorzystywanie dostępnych zasobów, co ma na celu poprawę jakości życia obywateli w mieście [Winkowska i in., 2019]. Koncepcja ta obejmuje wszystkie obszary funkcjonowania miasta, nie tylko te techniczne aspekty takie jak zintegrowany transport czy zrównoważona gospodarka zasobami, ale również kwestie bezpieczeństwa i komfortu życia obywateli [Ciemcioch, 2016]. Aby stworzyć zrównoważone, inteligentne miasto wszystkie jego obszary muszą być równie rozwinięte i dopracowane. Jedynie dzięki ich współpracy i wzajemnemu oddziaływaniu możliwy jest stały rozwój miasta [Tosiek, 2017]. Zależnie od wybranego elementu rozwoju miasta, smart city rozpatruje się w inny sposób. W literaturze przedmiotu zwykle przedstawia się sześć podstawowych wymiarów definiujących tę koncepcję i porządkujących jej cechy wspólne dla wymiarów rozwoju zrównoważonego [Giffinger, 2007]. Są nimi: inteligentna gospodarka (smart economy), inteligentne zarządzanie (smart governance), inteligentna jakość życia (smart living), inteligentni ludzie (smart people), inteligentna mobilność transport i łączność (smart mobility), inteligentne środowisko (smart environment).

W smart city duży nacisk kładzie się na zrównoważoną gospodarkę zasobami. Ważnymi aspektami jest poziom emisji dwutlenku węgla, zużycie energii oraz świadomość ekologiczna społeczeństwa. W wielu sektorach tj. budownictwo, infrastruktura miejska, zakłady przemysłowe, inwestuje się w rozwiązania oparte na odnawialnych źródłach energii. W smart city istotna jest postawa obywateli, ich dbałość o środowisko oraz codzienne nawyki ograniczające zanieczyszczenie. Aby utrzymać środowisko w dobrej kondycji należy wciąż edukować obywateli, że zasoby naturalne to wartość, bez której inne wymiary smart city, szczególnie gospodarka, tracą możliwość rozwoju [Kumar, Dahiya, 2017]. W tym celu powstaje coraz więcej programów oraz akcji społecznych promujących ekologiczny styl życia.

Obecnie szczególnie ważny staje się ostatni wymiar smart city, czyli środowisko naturalne. Coraz większa część populacji decyduje się na życie w mieście, a nie na terenach podmiejskich, wsiach. ONZ przewiduje, że do 2050 roku 70% ludności będzie zamieszkiwało miasta. Postępująca urbanizacja oraz konsumpcjonizm mogą spowodować ogromne straty w jakości środowiska naturalnego w wielkich metropoliach oraz mniejszych miastach. Dynamiczny tryb życia mieszkańców i zatłoczenie terenu może spowodować zubożenie społeczeństwa w kwestii środowiska naturalnego. Zbyt szybki rozwój gospodarczy, ekonomiczny może okazać się szkodliwy wobec proekologicznych rozwiązań, co wskazywałoby wzajemne zagrożenie obu tym wymiarom. Obecnie największymi wyzwaniem przed jakimi stoi społeczeństwo to smog, zanieczyszczenie wody, emisja zanieczyszczeń oraz nadprodukcja odpadów. Aby uniknąć znaczącego pogorszenia stanu środowiska naturalnego władze miast zmuszone są do ciągłego poszukiwania rozwiązań, które będą minimalizować negatywne działanie ludności. Ekologiczne innowacje, opierają się na nowoczesnych rozwiązaniach technologicznych, narzędziach oraz usługach ograniczających negatywne oddziaływanie człowieka na środowisko [Letkiewicz, Szulc, 2022]. Rozpatrując problem zanieczyszczenia środowiska należy pamiętać, że jego wysoki poziom obniża komfort życia mieszkańców, dlatego istotna jest stała analiza obecnego stanu i natychmiastowa reakcja [Wan i in., 2017]. Unia Europejska zwraca jednak uwagę na ograniczenia Ziemi, które należy wziąć pod uwagę rozpatrując możliwość zmiany jakości życia ludności [Decyzja..., 2013]. Odpowiedni stan środowiska naturalnego, a co się z tym wiąże, niski poziom zanieczyszczenia powietrza, inteligentna energia oraz budownictwo, zrównoważona gospodarka zasobami oraz odpowiedzialna gospodarka odpadami komunalnymi to główne elementy inteligentnego środowiska (smart environment) [Augustyn, 2020]. Są to elementy, które mają realny wpływ na atrakcyjność miasta wobec możliwych przyszłych mieszkańców lub inwestorów. Aby zmierzyć poziom rozwinięcia części składowych środowiska naturalnego określono konkretne wskaźniki wspierające ich ocenę (tab. 1).

Tab. 1. Czynniki i wskaźniki inteligentnego środowiska

Czynniki	Wskaźniki
Odpowiednie warunki naturalne	Liczba godzin nasłonecznienia
	Udział powierzchni zielonych
Ochrona środowiska	Indywidualne działania na rzecz ochrony środowiska
	Opinia na temat ochrony środowiska
Zarządzanie zasobami	Efektywne wykorzystanie wody (z uwzględnieniem PKB)
	Efektywne wykorzystanie energii (z uwzględnieniem PKB)
Zanieczyszczenia	Smog
	Stężenie cząstek stałych w powietrzu
	Śmiertelne przypadki chorób dróg oddechowych na jednego mieszkańca

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Giffinger, 2007].

Ochrona środowiska w inteligentnych miastach to zestaw działań podejmowanych przed władze oraz świadomych zagrożeń obywateli. Smart environment to nie tylko recykling odpadów czy świadome wykorzystanie dostępnych zasobów. Zgodnie z tą koncepcją istotne są także troska o zielone tereny oraz zbiorniki wodne, dostosowana do obecnych standardów gospodarka przestrzenna oraz infrastruktura miejska [Stawasz, Sikora-Fernandez, 2015]. W odpowiedzi na wymienione wyżej wyzwania, władze miast podejmują się różnych działań strategicznych, dostosowanych do potrzeb obywateli. Strategie skupiają się na:

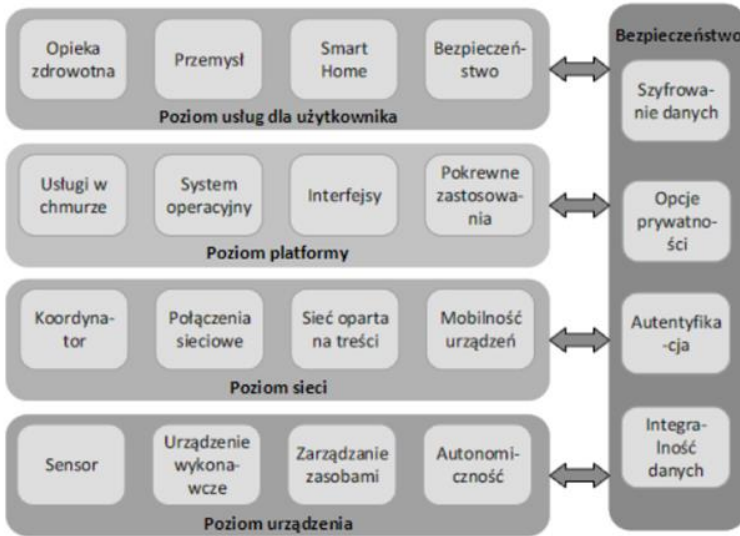
- używaniu technologii odnawialnych źródeł energii;
- filozofii zero odpadów;
- innowacyjnych rozwiązaniach wspierających zieloną infrastrukturę w miejskiej przestrzeni publicznej;
- systemach ciepłowniczych dostarczających ciepło z kogeneracji;
- inteligentnym budownictwie minimalizującym wykorzystanie zasobów oraz ograniczającym emisję zanieczyszczeń do środowiska naturalnego.

Należy pamiętać, że poza pro-ekologiczną polityką miasta niezwykle istotne są narzędzia, które pozwalają zachować środowisko w zadowalającym stanie, pomimo pojawiających się zagrożeń. Elementem wspierającym zachowanie środowiska w odpowiedniej kondycji oraz pozwalającym na tworzenie kolejnych usprawnień w tym sektorze jest technologia komunikacyjno-informacyjna. Sektor ten często traktowany jest jako wyznacznik rozwinięcia, innowacyjności oraz sukcesu miasta [Baraniewicz-Kotasińska, 2017]. Dzięki technologiom ICT możliwa jest wzajemna współpraca i dynamiczna wymiana informacji między różnymi instytucjami, sektorami [Gabrys, 2014]. To właśnie sieć połączonych ze sobą urządzeń cyfrowych stanowi podstawę funkcjonowania inteligentnego miasta. To dzięki niej możliwa jest stała wymiana informacji oraz natychmiastowe reagowanie.

2. Zastosowanie Internetu Rzeczy w gospodarce odpadami komunalnymi

Globalizacja, wzrost liczby ludności i ciągły rozwój technologii zwiększyły dynamikę procesów urbanizacji. W połączeniu z wysokim poziomem nadprodukcji powoduje to wytwarzanie nadmiernej ilości odpadów. Ten narastający problem znajduje się obecnie w czołówce globalnej polityki środowiskowej, która dąży do zrównoważonego rozwoju. Wiąże się między innymi z wykorzystywaniem różnego rodzaju innowacji w określonych obszarach funkcjonowania miast, takich jak gospodarka odpadami komunalnymi. Odpowiedzią na obecne potrzeby okazały się technologie informacyjno-komunikacyjne (Information and Communication Technology – ICT), które znalazły swoje zastosowanie zarówno w przedsiębiorstwach, domach obywateli jak i w środowisku miejskim, gdzie głównym celem jest optymalizacja funkcjonowania infrastruktury miejskiej. Coraz większą rolę odgrywają również w kontekście efektywnego zarządzania odpadami komunalnymi. Pozwalają usprawnić konkretne elementy takie jak zbiórka odpadów czy ich transport, ale również kwestie administracyjne. Często dzięki nim miasto ogranicza koszty związane z najbardziej wymagającymi procesami operacyjnymi. Co istotne, dzięki rozwiązaniom proponowanym w sektorze ICT możliwe jest lepsze poznanie zachowań mieszkańców, a przede wszystkim zapewnienie im edukacji, bezpieczeństwa i komfortu.

Ważną częścią ICT jest coraz bardziej popularny Internet of Things (IoT), co w dosłownym tłumaczeniu oznacza Internet Rzeczy. Pierwszą osobą, która określiła to pojęcie był K. Ashton, prekursor technologii Radio Frequency Identification (RFID). Przedstawił IoT jako integrację urządzeń sensorycznych z innymi elementami globalnej sieci [Ashton, 2009]. Internet Rzeczy obejmuje inteligentne elementy sieci, czujniki oraz technologie przetwarzania, które połączone tworzą system, w którym inteligentne usługi są dostarczane bezpośrednio do użytkownika [Aswin Raaju i in., 2019]. Takie urządzenia umożliwiają mierzenie, zbieranie i przetwarzanie danych pokazujących faktyczny stan. Ich funkcjonalność opiera się na module komunikacji bezprzewodowej, który zebrane dane kieruje bezpośrednio do chmury [Kolenda, 2015]. Do wymiany danych potrzebne jest połączenie urządzeń z odrębnymi adresami IP z serwerami sieciowymi za pomocą internetu [Miller, 2016]. Strukturę IoT, która składa się z czterech poziomów przedstawiono na rysunku 1.

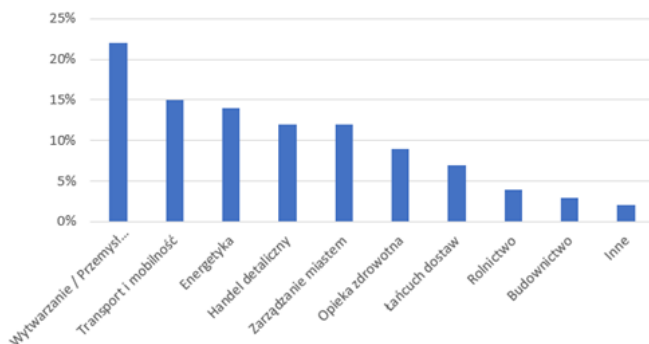


Rys. 1. Architektura Internetu Rzeczy

Źródło: [Krupanek, Bogacz, 2018, s. 111-116].

Pierwszym poziomem jest poziom urządzenia. Takim urządzeniem są różnego rodzaju czujniki pozwalające wykazać między innymi lokalizację, ruch czy warunki otoczenia takie jak temperatura lub wilgotność. Tego rodzaju narzędzia zbierające dane pozwalają na stałą obserwację, a co się z tym wiąże, natychmiastową reakcję w chwili zagrożenia. Stanowią one wstępny etap tego procesu. Zebrane dane kierowane są do drugiego poziomu, czyli poziomu sieci, często zwanym warstwą komunikacji. Jest to fundament całej budowy systemu, ponieważ gwarantuje transmisję danych w czasie rzeczywistym między wszystkimi elementami systemu: urządzeniem, platformą i użytkownikiem. Posiada ona standard zapewniający szybkość transmisji, oszczędność oraz odpowiedni rozmiar modułu komunikacyjnego połączonego z sensorem. Trzecim poziomem jest platforma. Jego zadaniem jest wsparcie warstwy usługowej za pomocą rozwiązań programowych [Cha i in., 2016]. Istnieje wiele rodzajów platform IoT, między innymi platformy sprzętowe, które zapewniają warunki do sterowania elementami czy platformy analizy danych pozwalające na dopasowanie się do typu rejestrowanych danych. Najistotniejszą kwestią funkcjonowania platformy jest odpowiedni interfejs programisty (ang. API – Application Programming Interface) potrzebny do oprogramowania systemu. W swojej ofercie zawierają platformy IoT takie marki jak Microsoft, Intel czy Google. Zwykle opiera się to na schemacie subskrybent – wydawca [Krupanek, Bogacz, 2018]. Ostatni jest

poziom usług ukierunkowanych na użytkownika. User service layer umożliwia przekazanie danych użytkownikowi. Do konkretnej usługi i typu potrzebnych danych dobrana jest odpowiednia struktura usługowa. Usługi Internetu Rzeczy są wykorzystywane między innymi w obszarze opieki zdrowotnej, budownictwie, logistyce 4.0 czy inteligentnych miastach [Chui i in., 2010]. Pozostałe obszary zastosowania Internetu Rzeczy przedstawiono na rysunku 2.

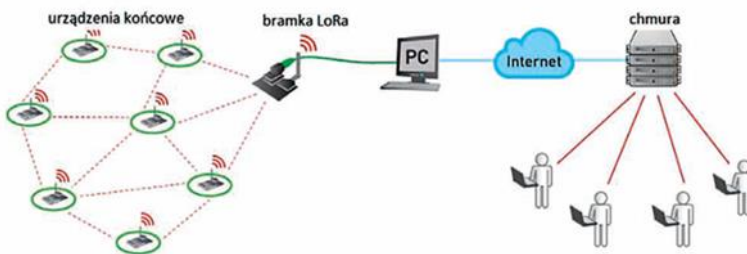


Rys. 2. Zastosowanie Internetu Rzeczy w konkretnych branżach

Źródło: [Scully, 2020].

McKinsey Global Institute szacuje, iż minimalna wartość Internetu Rzeczy na świecie w 2025 roku osiągnie poziom około 4 miliardów dolarów [McKinsey, 2015]. Ze względu na dynamiczny rozwój technologii społeczeństwo jest coraz bardziej zależne od inteligentnych urządzeń, które mogą zapewnić im lepszy komfort życia codziennego, ale również ochronić przed różnego rodzaju zagrożeniami. Powstają coraz bardziej innowacyjne rozwiązania, które pozwalają na integrację dużej ilości narzędzi, poprawiając tym samym pracę całego systemu. Aby cały proces wymiany danych między sensorem a obiektem końcowym działał efektywnie należy zapewnić sprawny transfer danych [Osseiran i in., 2016]. Elementem, który pozwala na rozwój sieci IoT, zwłaszcza pod względem obsługi wielu urządzeń takich jak czujniki lub elementy sterująco-monitorujące jak tablety czy komórki, jest komunikacja bezprzewodowa. Dzięki współpracy technologii komunikacji elektronicznej i komputerowej coraz bardziej rozwija się system maszyna – maszyna (M2M – Machine To Machine) [Tekbiyik, Uysal-Biyikoglu, 2011]. Urządzenia, dysponujące modułem komunikacyjnym zbierają dane i przekazują do kolejnych elementów sieci. W tym celu wykorzystywane są technologie szerokopasmowej sieci małej mocy (LPWAN – Low Power Wide Area Network) [Xylouris, 2017]. Jest to zbiór

technologii potrzebnych do sprawnej komunikacji przy stosunkowo niskich kosztach i niższym zużyciu energii [Sinha i in., 2017]. Najbardziej powszechne standardy LPWAN to LoRa, NB-IoT, Sigfox [Zwoździak, Szałata, 2018]. Pierwszy z nich, system komunikacji bezprzewodowej LoRa (ang. Long Range) to rozległa sieć małej mocy z dalekim zasięgiem transmisji sygnału, o niskim poziomie poboru mocy, z baterią wytrzymałą nawet do 20 lat użytkowania [Tian i in., 2019]. Jest to zależne od temperatury otoczenia oraz od częstotliwości wysyłania komunikatów. Jej zaletami jest wysoka odporność na zakłócenia i wrażliwość na dużych odległościach dzięki modulacji bezprzewodowej opartej na technologii CSS (Chirp Spread Spectrum) [AN1200.22.LoRa Modulation Basics, 2015]. Jej zakres działania to około 15 km w terenie niezabudowanym i 5 km w obszarze zabudowanym. Wykorzystuje nielicencjonowane pasmo częstotliwości (ISM 433 MHz, 868 MHz oraz 915 MHz) [Dambal i in., 2019]. LoRa zapewnia transmisję danych w zakresie 0,3 Kb/s – 50 Kb/s. Architektura sieci LoRaWAN przypomina topologię gwiazdy. Komunikacja może przebiegać w obu kierunkach, ale powszechnie jest to ruch z urządzenia końcowego do serwera [Sinha i in., 2017]. Pozwala to nie tylko na gromadzenie danych, ale również ich obróbkę oraz sterowanie urządzeniem. Budowa systemu opiera się na trzech elementach: węźle końcowym, bramie, serwerze sieciowym i serwerze aplikacji (rys. 3). Pierwszy z nich to urządzenie końcowe, które pośredniczy w komunikacji między punktami sieci. Proces opiera się na regulowanej transmisji sygnałów elektrycznych. W bramce zbierane są dane i przetwarzane, a następnie wysyłane są do głównego serwera sieci. Struktura sieci jest stosunkowo mała, co wiąże się z niższym wskaźnikiem zużycia energii.



Rys. 3. Architektura sieci IoT z zastosowaniem standardu LoRa

Źródło: [LoRa Alliance, 2015].

Kolejnym standardem ciągłej komunikacji w sieci Internetu Rzeczy urządzeń wyposażonych w czujniki w jest NB-IoT (Narrow Band IoT). Ta technologia opiera się na publicznej komunikacji mobilnej sieci, przy użyciu sieci telekomunikacyjnych

4G, która pozwala na optymalizację wykorzystania danych pakietowych (4 generacji, zwanej ang. LTE – Low Term Evolution) [Cruz i in., 2021]. To stosunkowo nowy standard, który zapewnia niskie zużycie energii (możliwe 10 lat zasilania baterią) oraz gwarantuje łączność przy sygnale ze stacji bazowej o poziomie niższym o około 23 dB niż w wypadku 2G [Panufnik, 2016]. Inną zaletą NB-IoT jest fakt, że bazuje na licencjonowanym paśmie, co gwarantuje globalny zasięg w sieciach LTE i łączność z praktycznie dowolnego miejsca eliminując zagrożenie szumów oraz zakłóceń z innych sieci. Standard ten pozwala utrzymywać odpowiednią jakość sygnału, przy jednoczesnym zapewnieniu bezpieczeństwa poprzez szyfrowanie danych. Charakterystyka modułu LTE Cat.NB1 umożliwia zamocowanie go bezpośrednio w urządzeniu końcowym, co wiąże się z rezygnacją stosowania komunikacji dwuetapowej, koncentratorów. Narrow Band IoT pozwala na integrację większej ilości urządzeń w celu regularnego przekazywania danych, jednak o ograniczonej wielkości [Deutsche Telekom AG, 2016]. Wyżej wymienione zalety, niskie koszty narzędzi oraz wysoka dostępność infrastruktury komunikacyjnej sprawiają, że standard NB-IoT zdobywa coraz większą popularność na rynku Internetu Rzeczy. Przykładowy moduł Narrow Band przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Moduł LTE Cat.NB1 BG96

Źródło: [SOS Electronic, 2022].

Konkurencją dla technologii LoRa oraz NB-IoT może stanowić SigFox. Standard ten oferuje bardzo szeroki zakres sygnału dzięki ultra wąskopasmowym sygnałom do komunikacji z urządzeniami, co przekłada się na niskie zużycie energii. Transmisja w tym standardzie wykorzystuje nielicencjonowane pasmo częstotliwości 868 MHz w Europie i 902-928 MHz poza nią [Hemjal, 2019]. SigFox pozwala generować dane pochodzące z wielu urządzeń bez potrzeby utrzymywania stałego połączenia z siecią. Urządzenia te nie są przydzielone do konkretnych stacji bazowych. Przesyłana wiadomość jest odbierana przez wszystkie stacje, do których do-

trze. Losowy dostęp do sieci eliminuje konieczność przesyłania danych i marnowania energii na potrzeby synchronizacji urządzeń. Urządzenia transmitują dane na losowej częstotliwości, a następnie przesyłają dwie kopie komunikatu na dwóch innych częstotliwościach w różnych odstępach czasu. Określane jest to mianem tzw. trybu różnicowania czasu i częstotliwości. Wadą tego rozwiązania jest możliwość jednorazowego transferu z małą ilością danych o rozmiarze 12 bajtów, gdzie razem z danymi potrzebnymi do kontroli transmisji wynik ten to nie więcej niż 26 bajtów [Piątek, 2018]. Następną kwestią jest fakt, iż jedno urządzenie może przesłać maksymalnie 140 komunikatów dziennie. Zaletą jaką jest daleki zasięg sieci wynika przede wszystkim z niskiej przepustowości danych, mocy wyjściowej urządzeń i czułości stacji bazowych. Sieć Sigfoxa działa w ponad 70 krajach. Łącznie obejmuje 17 milionów urządzeń i jest prowadzona przez samego Sigfoxa, albo przez firmy partnerskie [Sigfox, 2022] (rys. 5).



Rys. 5. Mapa państw w zasięgu sieci Sigfox

Źródło: [Sigfox, 2022].

Tab. 2. Porównanie właściwości standardu LoRa, NB – IoT i Sigfox

	LoRa	NB-IoT	Sigfox
Rok wprowadzenia	2012	2016	2009
Częstotliwość nadania [MHz]	863 – 870 Nielicencjonowana	700 – 900 Licencjonowana	868, 902, 928 Nielicencjonowana
Szybkość transmisji [kbps]	0.29 – 50 (DL/UL)	DL: 200 UL: 144	Uplink: 0.1 Downlink: 0.6
Zasięg [km]	10 – 15	<35	30 - 50
Szerokość pasmowa [kHz]	0.5 – 125	200	192
Czas oczekiwania [s]	1 – 2	2.08	<10
Dzienna liczba	Sieć publiczna:	120	

	LoRa	NB-IoT	Sigfox
komunikatów	Zależna od umów z operatorem; Sieć prywatna: bez limitu		140
Efektywność energetyczna [lata]	>10	>10	>10
Mobilność	Tak	Nie	Tak

Źródło: opracowanie własne.

Wraz z urbanizacją, wzrostem ludności i rozwojem technologii, wzrastają wymagania społeczeństwa. Człowiek coraz bardziej uzależnia swoje działania od nowoczesnych rozwiązań, które oferuje mu rynek. Wpływ Internetu Rzeczy można zauważyć każdego dnia, w życiu codziennym. Elementy IoT takie jak identyfikacja, wykrywanie, generowanie, przetwarzanie czy komunikacja, wspierają wiele usprawnień, z których korzysta ludność [Fallavi i in., 2017]. Rozwiązania Internetu Rzeczy widoczne są między innymi w przemyśle, produkcji, ale również w takich sektorach jak sektor zdrowia, energetyczny, wodny, budownictwa, transportu. IoT umożliwia również ciągłe udoskonalenia w inteligentnych miastach. Dzięki nim usprawnia się funkcjonowanie miast poprzez zmiany w ich infrastrukturze, transporcie oraz wszelkich usługach miejskich. Rzutuje to na poprawę jakości życia mieszkańców oraz ich bezpieczeństwa. Technologie IoT są coraz częściej wykorzystywane w kontekście ochrony środowiska naturalnego. Standardy komunikacyjne w sieci tworzącej Internet Rzeczy są przydatne i efektywne w kontekście zarządzania zbiórką i transportem odpadów (tab. 2). Zintegrowane w sieci urządzenia, które pozwalają na stałą analizę danych stają się kolejnym narzędziem optymalizującym gospodarkę odpadami. Ze względu na innowacyjne rozwiązania IoT, generację i analizę zebranych danych, automatykę i dynamiczny rozwój urządzeń mobilnych, zarządzanie odpadami może być o wiele bardziej efektywne niż przedtem. W tym obszarze najważniejszą rolę odgrywają urządzenia końcowe, czyli kosze wyposażone w czujniki, które są niezbędnym elementem w optymalizacji procesu zarządzania odpadami [Hancke i in., 2013]. Dzięki nim możliwe jest monitorowanie wybranych wskaźników oraz w razie zagrożenia, szybkie reagowanie. Czujniki regularnie zbierają informacje odnośnie stanu pojemnika i przekazują je w formie sygnałów do urządzeń posiadających systemy pozwalające na ich przetworzenie i dalszą analizę. Dzięki takiemu systemowi możliwe jest określenie obecnego stanu, odpowiedzenie na pytanie czy obecne działania przynoszą oczekiwane skutki, prognozowanie i po-

dejmowanie decyzje o ewentualnych zmianach. Schemat składa się z czterech etapów (rys. 6). Najpierw sensor zbiera dane odnośnie stanu odpadów, warunków w jakich się znajdują oraz lokalizacji pojemnika. Następnie za pomocą standardów komunikacji radiowej, sensor łączy się z wybranym serwerem lub serwerami chmury danych, aby można było przetworzyć pozyskane dane w potrzebne informacje. Oprogramowanie udostępnia otwarty interfejs programistyczny, który dopasowuje rozwiązania programistyczne do konkretnych wymagań, zapewniając przy tym połączenie wszelkich funkcjonalności. Przetworzone dane pozwalają ocenić stan wypełnienia pojemnika, rodzaj odpadów, wykryć zagrożenie takie jak pożar, zależnie od wykorzystanego czujnika. Po otrzymaniu informacji osoba zarządzająca procesem podejmuje decyzje o możliwym odbiorze odpadów.



Rys. 6. Architektura systemu inteligentnych pojemników na śmieci

Źródło: [Softeq, 2022].

Zależnie od potrzeb można wybrać czujniki ultradźwiękowe, komórkowe i czujniki gazu. Czujniki ultradźwiękowe informują o ilości zebranych w pojemniku odpadów, komórkowe sprawdzają ich masę, a czujniki gazu alarmują o występowaniu ognia [Madakam i in., 2015]. Informacje zebrane przy wykorzystaniu sensorów są wysyłane za pomocą takich technologii jak Wi-Fi, Bluetooth NFC czy RFID. Inne czujniki pozwalają określić aktualną temperaturę, wilgotność, a także lokalizację kosza na odpady – GPS (ang. Global Positioning System) [Vishnu i in., 2021]. Wbudowane sensory GPS pozwalają nie tylko określić miejsce w jakim znajduje się pojemnik, ale także zoptymalizować trasę śmieciarki wybierając tę najbardziej efektywną, ograniczając przy tym dodatkowe koszty usługi. Dzięki tej technologii możliwy jest również regularny podgląd na jakim etapie trasy znajduje się śmieciarka oraz rejestrowanie kolejnych punktów zbiórki. Innym usprawnieniem gospodarki odpadami jest technologia RFID (ang. Radio Frequency Identification) [Głowienka i in., 2020]. Przy wykorzystaniu fal radiowych, możliwe jest odczytywanie danych w czasie rzeczywistym, co pozwala na natychmiastową identyfikację kontenera.

Dane zakodowane w chipie zawierają unikalny identyfikator, dzięki czemu łatwo sprawdzić czy ilość pojemników się zgadza lub czy nie dokonano kradzieży. Oddzielny kod pojemnika zostaje automatycznie odczytany poprzez czytnik RFID w momencie odebrania odpadów. Sczytane przez terminal dane są automatycznie wyświetlane, po czym w systemie zapisują się informacje dotyczące między innymi czasu opróżniania konkretnego kontenera. Wykorzystanie technologii RFID pozwala na identyfikację pojemników na odpady, monitorowanie selektywnej zbiórki czy chociażby raportowanie i wykrywanie pewnych nieprawidłowości. Z danymi zebranymi poprzez sensory można w łatwy sposób dostosować między innymi zbiórkę odpadów. Automatyzacja pozwala również na natychmiastową reakcję systemu w razie zagrożenia takiego jak pożar. Innowacyjne sensory oraz pozostałe urządzenia pomiarowe są wciąż ulepszone dzięki nanotechnologii [Ueno i in., 2007]. Użycie czujników w kontekście gospodarki odpadami przynosi wiele zalet. Przede wszystkim pozytywnie wpływa na środowisko naturalne, ze względu na między innymi minimalizację zużycia zasobów naturalnych czy ograniczenie zanieczyszczenia środowiska poprzez nadmierny transport. Dzięki zamontowanym sensorom przedsiębiorstwo odpowiedzialne za transport odpadów wie kiedy należy opróżnić kosze, a także jak zaplanować optymalną trasę śmieciarek, minimalizując przy tym koszty i emisję zanieczyszczeń powietrza. Inwestycja w czujniki oznacza również ograniczenie kosztów świadczenia usług publicznych związanych z odbiorem i przeróbką odpadów, a także poprawę wydajności. Korzystanie z nich nie wymaga osób trzecich. Po zamontowaniu czujnik automatycznie gromadzi dane i wysyła je do chmury. Inną kwestią jest fakt, że wraz z rozwojem technologii, rynek proponuje coraz to nowocześniejsze rozwiązania. Dzięki temu możliwa jest choćby identyfikacja rodzaju materiału odpadów i ich następna automatyczna segregacja. Każde takie innowacyjne rozwiązanie pozwala na jeszcze bardziej efektywną gospodarkę odpadami. Wykorzystywanie przez miasta wyżej wymienionych technologii, jest zgodne z koncepcją smart city co pozwala na jednoczesny rozwój ekonomiczny i ekologiczny, przy stałym podnoszeniu komfortu życia mieszkańców miast.

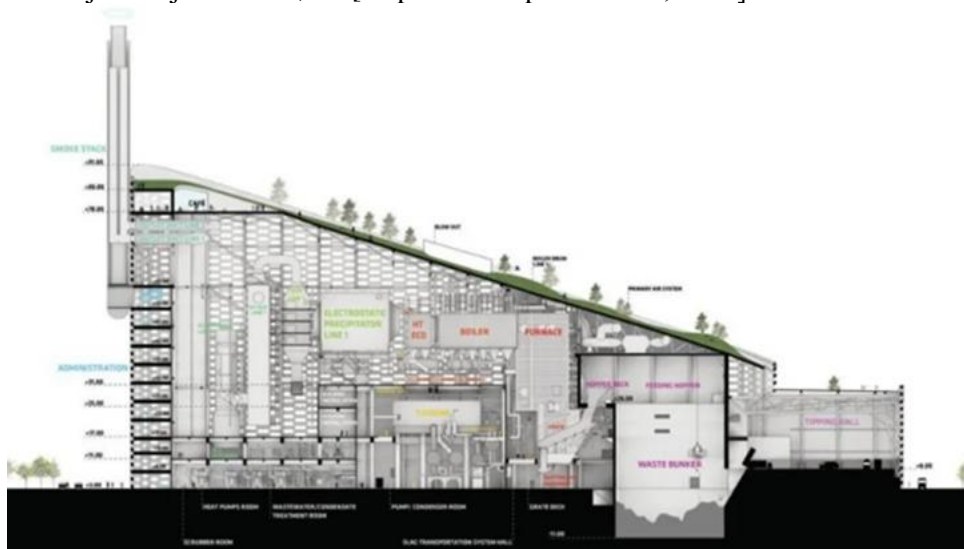
3. Charakterystyka wybranych nowoczesnych technologii wykorzystywanych w gospodarce odpadami komunalnymi

Narastający problem generowania coraz większej ilości odpadów dotyczy wszystkich krajów świata, jednak każde państwo odczuwa to w inny sposób i wprowadza różnego rodzaju działania mające na celu optymalizację ich wytwarzania. Równie ważnym problemem jest fakt, iż mimo coraz częstszego podejmowania tematu ekologicznych rozwiązań w gospodarce odpadami, wciąż nie widać znaczącej

poprawy w kwestii segregacji. Analizując dane dotyczące generowania i przetwarzania odpadów, które zawiera raport Global Waste Index można dostrzec pewne skrajności w kontekście wyników osiąganych przez kraje Europy. Zestawiając chociażby wskaźniki Szwecji, która stale dąży do maksymalnego odzyskiwania i przetwarzania odpadów, z wynikami Turcji, kraju, w którym głównym elementem gospodarki odpadami jest składowanie ich. Obecnie te różnice stają się jeszcze bardziej istotne, ponieważ Komisja Europejska wyznaczyła nowe cele w obszarze recyklingu i składowania odpadów. Zgodnie z dyrektywą 2018/850, która określa obowiązki dotyczące recyklingu oraz ograniczenia wielkości składowanych na wysypiskach odpadów komunalnych, państwa członkowskie Unii Europejskiej zobligowane są do podjęcia wszelkich działań, aby do 2030 r. odpady komunalne, które nadają się do recyklingu czy odzysku, nie były przyjmowane na składowiska odpadów. Natomiast do 2035 r. zobowiązane są do zagwarantowania, aby na składowiska odpadów komunalnych nie trafiało więcej niż 10% ilości wytwarzanych odpadów [Dyrektywa ..., 2018]. Określono również nowy poziom recyklingu odpadów komunalnych, który do 2030 r. zostanie zwiększony wagowo do 60%, a do 2035 r. wynik ten ma osiągnąć 65% [Wskaźnik ..., 2022]. Wyżej wymienione regulacje mogą stanowić wyzwanie dla niektórych krajów, jednak warto zaznaczyć, że część z nich już od dawna pracuje nad efektywnym zarządzaniem odpadami komunalnymi. Rozwój technologii oraz nowoczesne rozwiązania analityczne pozwalają na osiąganie lepszych wyników oraz poprawę jakości życia ludności.

Pionierami ekologicznych rozwiązań oraz zrównoważonej gospodarki odpadami są kraje skandynawskie, które wciąż tworzą innowacyjne projekty bazujące na nowoczesnych technologiach. Najlepszym tego odzwierciedleniem jest „Copenhill”, czyli projekt łączący elektrociepłownię wykorzystującą odpady komunalne oraz ośrodek sportowy. Sama spalarnia nazywana jest Amager Bakke. Znajduje się w stolicy Danii – Kopenhadze i stanowi kolejny krok w stronę osiągnięcia neutralności klimatycznej do 2025 roku. Budynek wpisuje się w kategorię „waste to energy plant”, co oznacza, że z pozyskanych z gospodarstw domowych wysoko energetycznych odpadów, wytwarza się energię elektryczną (rys. 7). Codziennie do zakładu przyjeżdża około 300 pojazdów z odpadami nienadającymi się do recyklingu, które od razu są rejestrowane w systemie oraz ważone. Odpady zamieszczane są w silosie, gdzie dwa chwytaki mieszają je do momentu uzyskania odpowiedniej struktury. Te zautomatyzowane urządzenia pracują całodobowo, co usprawnia cały proces. Następnie umieszczane są w piecach. Proces spalania przebiega w temperaturze 950-1000°C i zajmuje około 2 godzin. Piece posiadają oddzielne kotły, dlatego spaliny z pieców przekazują swoją energię cieplną bezpośrednio do wody w rurach kotła. Każdy kocioł produkuje do 137 ton pary w ciągu godziny. Wytworzona para wodna

gromadzona jest we wspólnej rurze parowej, skąd prowadzona jest do turbiny parowej. Ta natomiast zintegrowana jest z generatorem, dzięki któremu możliwe jest przekształcenie energii elektrycznej. Po wykorzystaniu ciśnienia oraz ciepła z pary, pozostaje energia cieplna, która jest wykorzystywana w sieciowych wymiennikach ciepła: woda z sieci ciepłowniczej jest podgrzewana w wymienniku ciepła, a następnie przesyłana do systemu ciepłowniczego [Denmark's ..., 2019]. Elektrociepłownia wytwarza energię z ponad 400 000 ton odpadów rocznie. Zależnie od zapotrzebowania na ciepło oraz cen prądu, generowane jest około 60 MW energii elektrycznej i 157-246 MW energii cieplnej. Uzyskana energia pozwala na dostawę prądu do około 50 000 gospodarstw domowych i ogrzanie 120 000 domów. Amager Bakke pozwala również zaoszczędzić 100 milionów litrów wody rocznie, a nawet odzyskać 100 ton popiołu, który wykorzystywany jest na budowach czy remontach. Zakład Amager Bakke umożliwia także ponowne wykorzystanie 90% odpadów metalowych. Efektywność energetyczna spalarni oceniana jest na poziomie 99%, natomiast redukcja emisji siarki 99,5% [Kopenhaska spalarnia ..., 2022].



Rys. 7. Przekrój budynku spalarni Amager Bakke

Źródło: [BIG Bjarke Ingels Group].

Copenhill to połączenie spalarni odpadów z ośrodkiem sportowym [Welcome ..., 2022]. Na dachu elektrociepłowni ulokowano sztuczny stok narciarski o długości 450 m, który dostępny jest przez cały rok. Wyznaczone są również trasy przeznaczone do joggingu i spacerów, a ich zwieńczeniem jest punkt widokowy. Jest to

przestrzeń publiczna wyposażona między innymi w ściankę wspinaczkową, kolejkę linową czy chociażby plenerową siłownię. Ośrodek uznawany jest również jako centrum edukacji rekreacyjnej i ekologicznej. Teren rozrywkowy obejmuje łącznie 16 000 m². Warto zaznaczyć, iż zakład przedstawiony na rysunku 7 otrzymał tytuł „Budynku Roku 2021” na prestiżowym konkursie architektonicznym „World Architecture Festival 2021”. Copenhill jest najlepszym przykładem motywacji Danii, która skupia się na zrównoważonym rozwoju, który zostanie uzyskany w momencie synchronizacji trzech wzajemnie na siebie wpływających aspektów takich jak innowacyjne technologie, świadome społeczeństwo oraz ekologiczne rozwiązania. Działania podejmowane przez władze Danii skupiają się na poprawie jakości życia mieszkańców, chroniąc przy tym środowisko naturalne korzystając z nowoczesnych narzędzi.



Rys. 7. Amager Resource Center w Kopenhadze

Źródło: [Iconic World ..., 2022].

Coraz częściej w celu usprawnienia funkcjonowania gospodarki odpadami wykorzystywane są inteligentne rozwiązania. Powoli wprowadzane są w kolejne etapy procesu zarządzania odpadami. Jednym z nich jest transport odpadów z miejsca zbiórki. W 2021 władze Kopenhagi podjęły decyzję o zainwestowaniu w elektryczne pojazdy odbierające odpady [Kopenhaga ..., 2022]. To rozwiązanie ma wesprzeć miasto w dążeniu do osiągnięcia neutralności pod względem emisji dwutlenku węgla do 2025 r. W 2022 r. zakupionych zostało 15 elektrycznych śmieciarek, natomiast

do 2025 r. ma ich być 100. Poza pojazdami władze rozbudowują również infrastrukturę ładowania. Przedsiębiorstwo Scania zapewnia miastu elektryczne pojazdy Scania L25. Śmieciarka ta cechuje się nisko zbudowaną kabiną miejską oraz silnikiem, którego moc ciągła wynosi 230kW (310 km), a szczytowa 295kW (400 km) [15 elektriske ..., 2022]. Harmonogram pracy pojazdów składa się z dwóch zmian, a między nimi następuje czas ładowania. Aby zapewnić jak najlepsze wyniki finansowe oraz ekologiczne, śmieciarki będą ładowane głównie nocą. Producent szacuje, że do 2025 r. elektryczne samochody będą stanowić około 10% sprzedaży pojazdów w Europie.

Innym rozwiązaniem, które powoli zostaje odkrywane, usprawniającym gospodarkę odpadami jest podziemny transport zebranych odpadów. Podziemny zautomatyzowany system odbioru i transportu odpadów jest coraz bardziej popularny w wielu szwedzkich dzielnicach. Przykładem zastosowania pneumatycznej zbiórki odpadów jest ekologiczne osiedle Sztokholmu, Hammarby Sjöstad. Osiedle powstało na terenach dzielnicy przemysłowej i jego podstawowym założeniem jest ograniczenie negatywnego wpływu na środowisko, dzięki między innymi zastąpieniu transportu samochodowego bardziej ekologicznymi rozwiązaniami. Takie rozwiązania zastosowano w gospodarce odpadami komunalnymi. W Hammarby Sjöstad wprowadzono dwa standardy tej technologii: stacjonarny oraz mobilny. Wizualizację systemu przedstawiono na rysunku 8.

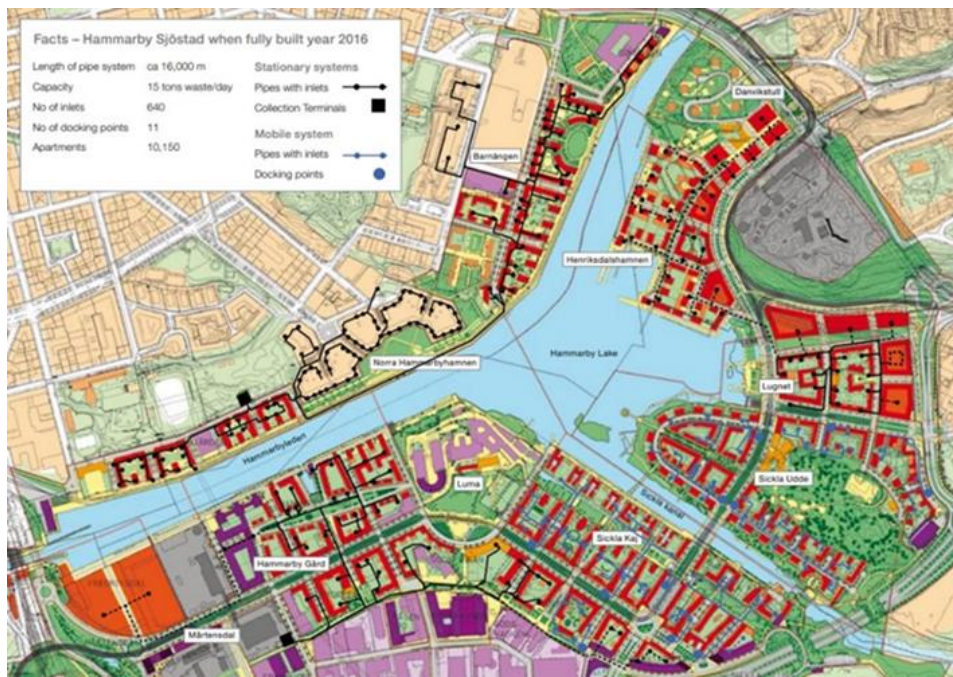


Rys. 8. Wizualizacja pneumatycznego systemu transportu odpadów komunalnych

Źródło: [Hammarby Sjöstad ..., 2022].

Działanie stacjonarnego pneumatycznego systemu transportu odpadów opiera się na kilku etapach. Pierwszym z nich jest zbiórka odpadów. Każdy mieszkaniec

wybranego bloku otrzymuje kartę dostępu, którą przykłada do czytnika, aby otworzyć pojemnik. Na osiedlach umieszczone są ogólnodostępne pojemniki podzielone na trzy kategorie: odpady zmieszane, bioodpady oraz papier. Odpady magazynowane są do momentu, gdy komputerowo sterowany zawór zostanie otworzony i rozpocznie się proces opróżniania. Gdy ich ilość w terminalu wejściowym przekroczy wskazany poziom, za pomocą pomp próżniowych odpady zasysane są do przeznaczonych kontenerów na konkretnej stacji. System pozwala na jednoczesną zbiórkę odpadów z kilku punktów. Frakcje odpadów są transportowane przez spójny system rur przy prędkości 70 km/h. Do transportu odpadów wykorzystuje się powietrze wytwarzane przez wentylatory, które wytwarzają podciśnienie. Powietrze dostaje się do rur pod ciśnieniem atmosferycznym, zatrzymuje odpady stałe i przenosi je do stacji zbiórki. W docelowych punktach zbiórki, zależnie od rodzaju, odpady zbierane są do określonych kontenerów, które dalej odbierane przez hakowce, kierowane są do miejsc dalszego gospodarowania na potrzeby odzysku i recyklingu takich jak centra recyklingu, składowiska czy spalarnie [Underground waste ..., 2022]. Jest również możliwość mobilnego odbioru odpadów. Działa bardzo podobnie jak system stacjonarny. Jednak w tym standardzie pojemniki są opróżniane pojedynczo i zasysane do systemu rur z prędkością 90 km/h. Ten system różni się także miejscem odbioru odpadów. W systemie mobilnym, odpady nie są transportowane do kontenerów, a przekazywane są bezpośrednio z rur do pojazdu zasysającego. Aby wprowadzić ten rodzaj podziemnej zbiórki odpadów należy ulokować punkty zbiórki w miejscach łatwo-dostępnych dla pojazdów. Rozwiązanie podziemnego transportu odpadów pozwala na stałe monitorowanie strumienia odpadów, eliminację przepelnionych pojemników czy ograniczenie zatorów na drodze w czasie odbioru odpadów przez śmieciarkę. Sieć gospodarki odpadami komunalnymi przedstawiono na rysunku 9. Podobne rozwiązania wprowadzono również w Finlandii, Holandii, Francji czy Hiszpanii.



Rys. 9. Architektura pneumatycznego systemu odpadów w Hammarby Sjöstad

Źródło: [Envac's, 2022].

Inteligentne rozwiązania zyskują coraz większą popularność w obszarze gospodarki odpadami. Badanie przeprowadzone przez Frost & Sullivan sugeruje, że inteligentne zarządzanie odpadami, oparte na wykorzystywaniu czujników oraz innych technologicznych innowacji w pojemnikach na odpady, może wzrosnąć do 5,42 mld USD do 2025 r. [Brinkley, 2020]. Rynek oferuje coraz więcej produktów do zbiórki odpadów, są to między innymi pojemniki sortujące, zagęszczające, zasilane energią słoneczną. Obecnie popularne stają się także podziemne pojemniki na odpady. Zamyśl ten skupia się na umieszczeniu kontenera na konkretny rodzaj odpadów pod ziemią, na specjalnie przygotowanym terenie. Takie rozwiązanie proponuje czeska marka Ekoplast. Wykorzystanie podziemnego pojemnika na odpady gwarantuje przede wszystkim lepszą estetykę infrastruktury miasta. Taki rodzaj pojemnika zajmuje zdecydowanie mniej przestrzeni, ale również zapewnić większy komfort mieszkańcom. Ze względu na fakt, że odpady gromadzone są pod ziemią, piesi nie odczuwają nieprzyjemnego zapachu wydobywającego się ze napełnionego śmietnika. Przedsiębiorstwo Ekoplast oferuje trzy pojemności pojemników 3m³, 4m³

i 5m³. Podziemne śmietniki przeznaczone są do zbiórki odpadów zmieszanych, bioodpadów, papieru, szkła oraz tworzyw sztucznych i metalu. Konstrukcja składa się z kilku elementów. Pierwszą z nich jest kiosk wrzutowy, zwany potocznie wrzutnią czy pilarem. W zależności od przeznaczenia kiosk może być w rozmiarze S, M, L. W bocznej części kolumny umieszczony jest otwór wrzutowy, regulowany metalową klamką. Kłapę można również otworzyć za pomocą stopki umieszczonej w dole kosza, dzięki czemu użytkownik nie musi dotykać dłońmi klamki. W celu autoryzacji na konkretnym osiedlu, można również skorzystać z opcji karty dostępu. Na górze pojemnika umieszczony jest hak. Dostępne są cztery rodzaje systemów opróżniania: 1-hakowy, 2-hakowy, 3-hakowy oraz kinshofer system. To za ich pomocą odbywa się rozładunek pojemników. Drugą częścią konstrukcji jest płyta podestowa o wymiarach 1600 x 1600 mm, na której stoi pojemnik. Wykonywana jest z kostki brukowej, stali ocynkowanej czy chociażby gumy. Kolejnym elementem jest wyjmowany, wewnętrzny zbiornik. Na jego dnie znajdują się drzwi otwierające dno pojemnika. Dzięki systemowi blokującemu dolne drzwi możliwe jest regulowanie opróżniania pojemnika. Ostatnim elementem jest betonowy silos, który chroni zbiornik przed naporem ziemi i wód gruntowych. Zależnie od rozmiaru ich masa wynosi 4t dla pojemności 3m³, 4,5t dla pojemności 4m³ oraz 5t dla 5m³. Jest to fundament systemu bezpieczeństwa. Zapewnia użytkownikom oraz pracownikom ochronę przed wpadnięciem do betonowego silosu. Dostępne są trzy rodzaje systemów bezpieczeństwa: kurtyna, system dwu-klapowy oraz podłoga. Użytkowanie podziemnych zbiorników na odpady jest intuicyjne i przynosi wiele korzyści. Jedną z nich jest fakt, że ze względu na umiejscowienie głównego zbiornika pod ziemią cała konstrukcja zajmuje mniej użytkowego miejsca, co poprawia estetykę infrastruktury miasta. Sam kosz wrzutowy zajmuje obszar 1600x1600mm, natomiast jego pojemność zależna jest od wysokości zbiornika poziomego. Inną kwestią jest neutralizacja nieprzyjemnego zapachu. Wyrzucane odpady trafiają do zsypu, a później do pojemnika w betonowym silosie, który zapewnia niższą temperaturę otoczenia. Dzięki temu rozkład odpadów jest spowolniony, a nieprzyjemny zapach nie przedostaje się na ulice. Zabudowany kosz ogranicza również zagrożenie wandalizmu oraz zainteresowaniem zwierząt. Przy tym rodzaju pojemnika nie są potrzebne zabezpieczenia takie jak zadaszenie lub zabudowa czy wiata [Elkoplast, 2022].



Rys. 10. Architektura podziemnych pojemników na odpady

Źródło: [Ekoplast, 2022].

Wartym uwagi jest również fakt, że pojemniki podziemne zapewniają stały monitoring. Coraz częściej inwestuje się w karty dostępu, dzięki czemu jedynie mieszkańcy określonych osiedli mogą korzystać z tych zbiorników. Takie rozwiązanie pozwala poznać ich potrzeby i dostosować się do nich. Równie istotnym elementem są czujniki, które umożliwiają monitorowanie poziom wypełnienia pojemników. Sensor może pracować w trudnych warunkach, ponieważ pracuje w szerokim zakresie temperatur i jest odporny na wszelkie drgania oraz zachlapania. Pozwala zmierzyć poziom wypełnienia w głębokości pojemnika w zakresie 1500-4500 mm. Możliwe jest także wczesne wykrycie pożaru, co zwiększa bezpieczeństwo mieszkańców. Komunikacja między elementami możliwa jest dzięki sieci takim jak LoRa-Wan, SigFox, GMS czy 4GLTE [Ekoplast, 2022]. Cały system pozwala na stałe gromadzenie i przetwarzanie danych, które pozwolą na lepsze zarządzanie całym procesem. Raporty stworzone na ich bazie umożliwiają poznanie rutyny mieszkańców oraz dopasowanie się do niej poprzez dopasowanie godzin zbiórki czy optymalizację tras śmieciarek. Wykorzystywanie czujników to obecnie podstawa efektywnej zbiórki odpadów. Na podstawie zbieranych w czasie rzeczywistym danych możliwe jest dostosowanie tras ciężarówek do realnych potrzeb. To pozwala na redukcję niepotrzebnej pracy śmieciarek, co prowadzi do minimalizacji kosztów operacyjnych oraz ograniczenia negatywnego wpływu na środowisko. Należy jednak pamiętać, że podziemne pojemniki to przede wszystkim rozwiązanie, które za pomocą technologii pozwala podnieść komfort życia mieszkańców spełniając ich wymagania.

Podsumowanie

Ze względu na stały wzrost liczby ludności na świecie oraz proces urbanizacji coraz większy nacisk kładzie się na jakość życia w miastach. Wciąż powstają nowe koncepcje, które mają za zadanie poprawić i ustabilizować funkcjonowanie miast. Jedną z nich jest smart city, czyli koncepcja inteligentnego miasta. Koncepcja ta jest stosunkowo nowa, ponieważ jej początki sięgają lat dziewięćdziesiątych XX wieku. Zakłada ona rozwój miasta w sześciu obszarach: gospodarce, zarządzaniu, mobilności, warunkach życia, społeczności oraz środowisku naturalnym. Ten ostatni wymiar staje się niezwykle istotny. Rozwój cywilizacji niesie ze sobą negatywne skutki, które można zauważyć obserwując zmiany środowiska naturalnego. Największymi wyzwaniem jest wykorzystywanie zasobów naturalnych, zanieczyszczenie powietrza oraz nadprodukcja odpadów komunalnych. Ten narastający problem skłania do szukania nowoczesnych rozwiązań, które poprawią obecną sytuację, poprawiając przy tym warunki życia w miastach.

Wykorzystywanie innowacyjnych rozwiązań technologicznych w aspekcie gospodarowania odpadami komunalnymi wiąże się z rozwojem społeczno-gospodarczym. Współcześnie wzrasta świadomość ekologiczna ludzi, co pozwala na wprowadzanie technologicznych zmian. Wykorzystuje się do tego różnorodne technologie jak np. Internet Rzeczy (IoT), czyli urządzenia w sieci, które są połączone za pomocą Internetu. Poprzez zastosowanie Internetu Rzeczy np. w czujnikach w koszach, można generować i analizować zebrane, dzięki którym proces gospodarowania odpadami staje się bardziej funkcjonalny. Jednak ze względu na wzmożoną ilość odpadów, którą ludzie produkują, kraje stosują też technologie, aby odzyskiwać i przetwarzać jak najwięcej odpadów. Projekty takie jak „Copenhill”, czy podziemny transport zebranych odpadów ukazują, iż zastosowanie nowoczesnych technologii jest niezbędne, aby efektywniej gospodarować odpadami komunalnymi w smart city.

ORCID iD

Klaudia Panasewicz: <https://orcid.org/0000-0002-3375-0890>

Danuta Szpilko: <https://orcid.org/0000-0002-2866-8059>

Literatura

1. 15 elektriske Scania skal samle skrald i København, <https://lastbilmagasinet.dk/artikler/scania-c63/15-elektriske-scania-skal-samle-skrald-i-koebenhavn-p53162> [25.10.2022].
2. Albino V., Berardi U., Dangelico R.M. (2015), *Smart Cities: Definitions, Dimensions, Performance and Initiatives*, Journal of Urban Technology 22 (1), s. 3-21.
3. ANI200.22.LoRa Modulation Basics (2015), Semtech. Wireless, Sensing And Timing Products, s. 4-9.
4. Ashton K. (2009), *That "Internet of Things" Thing*, RFiD Journal 22 (7), s. 97.
5. Aswin Raaju V., Mappillai Meeran J., Sasidharan M., Premkumar K. (2019), *IOT based Smart Garbage Monitoring System Using ZigBee*, Proceedings of the IEEE International Conference on System, Computation, Automation and Networking, ICSCAN, Pondicherry, India, s. 1-7.
6. Augustyn A. (2020), *Zrównoważony rozwój miast w świetle idei smart city*, Wydawnictwo Uniwersytetu w Białymstoku, Białystok, s. 120-122.
7. Azkuna I. (2017), *Smart Cities Study: International study on the situation of ICT, innovation and Knowledge in cities*, The Committee of Digital and Knowledge-based Cities of UCLG, Bilbao, 2012, s. 102.
8. Baraniewicz-Kotasińska S., *Smart city. Ujęcie nowych technologii w koncepcji inteligentnego miasta*, Nowoczesne Systemy Zarządzania 12 (3), s. 31-33.
9. Brinkley J. [2020], *Smart Bins Find Rising Adoption Driven by Innovative Technologies that Improve Costs and Efficiency*, <https://www.frost.com/news/press-releases/smart-bins-find-rising-adoption-driven-by-innovative-technologies-that-improve-costs-and-efficiency/> [27.10.2022].
10. Caragliu A., Del Bo Ch., Nijkamp P. (2011), *Smart Cities in Europe*, Journal of Urban Technology 18 (2), s. 65-82.
11. Cha S., Ruiz M.P., Wachowicz M., Tran L.H., Cao H. (2016), *The role of an IoT platform in the design of realtime recommender systems*, Proc. of IEEE 3rd World Forum on Internet of Things, USA, s. 448-453.
12. Chui M., Loffler M., Roberts R. (2010), *The internet of things*, McKinsey Quarterly 2 (2), s. 1-9.
13. Ciemcioch J. (2016), *Wybrane problemy zarządzania bezpieczeństwem SMART CITY*, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, Kraków, s. 101.
14. Cohen B. (2015), *The 3 Generations Of Smart Cities. Inside the development of the technology driven city*, <https://www.fastcompany.com/3047795/the-3-generations-of-smart-cities> [03.09.2022].

15. Cruz N., Cota N., Tremeceiro J. (2021), *LoraWAN and Urban Waste Management – A Trial*, *Sensors* 21 (6), s. 2-7.
16. Dambal V.A., Mohadikar S., Kumbhar A., Guvenc I. (2019), *Improving LoRa signal coverage in urban and suburban environments with UAVs*, International Workshop on Antenna Technology (iWAT), Miami, USA, s. 210-213.
17. Decyzja Parlamentu Europejskiego i Rady nr 1386/2013/UE z dnia 20 listopada 2013 r. w sprawie ogólnego unijnego programu działań w zakresie środowiska do 2020 r., *Dobra jakość życia z uwzględnieniem ograniczeń naszej planety*, 2013, s. 176-195.
18. *Denmark's Amager Bakke Waste-to-Energy Plant: a Global Model of Sustainable Design & Efficiency* (2019), <https://www.planningreport.com/2019/08/14/denmarks-amager-bakke-waste-energy-plant-global-model-sustainable-design-efficiency> [24.10.2022].
19. Deutsche Telekom AG (2016), *Narrow Band IoT. Groundbreaking in the Internet of Things report*, s. 4-5.
20. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/850 z dnia 30 maja 2018 r. zmieniająca dyrektywę 1999/31/WE w sprawie składowania odpadów.
21. *Elkoplust: Podziemne pojemniki, kontenery, śmietniki*, <https://www.elkoplust.pl/podziemne-kontenery-smietniki> [28.10.2022].
22. *Elkoplust: Underground containers*, [https://www.elkoplust.eu/media/files/catalog/item/files-218/Podzemn%C3%AD%20kont%201804%20\(EN\)%20v03.pdf](https://www.elkoplust.eu/media/files/catalog/item/files-218/Podzemn%C3%AD%20kont%201804%20(EN)%20v03.pdf) [28.10.2022].
23. Fallavi K.N., Kumar V.R., Chaithra B.M. (2017), *Smart waste management using Internet of Things: A survey*. In Proceedings of the 2017 International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC), Palladam, India, s. 60-64.
24. Gabrys J. (2014), *Programming environments: environmentality and citizen sensing in the smart city*, *Environment and Planning, Society and Space* 32, s. 30-48.
25. Giffinger R. (2007), *Smart Cities: Ranking of European Medium-Sized Cities*, Centre of Regional Science, s. 10-13.
26. Głowienka W., Jarosz M., Stoma M. (2020), *Technologia RFID - Koncepcja i Zastosowanie*, [w:] P.Z. Filipek, Kociubiński A., Mazurek P.W., Kołtunowicz T.N., Majcher J., Styła S., *Problemy współczesnej inżynierii. Wybrane zagadnienia elektrotechniki i elektroniki przemysłowej*, Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej Lublin, s. 73-74.
27. Hancke G.P., de Carvalho e Silva B., Hancke Jr. G.P. (2013), *The Role of Advanced Sensing in Smart Cities*, *Sensors* 13 (1), s. 393-425.
28. Hemjal A. (2019), *Sigfox based internet of things: technology, measurements and development*, Tampere University, s. 15.
29. Kitchin R. (2014), *Making sense of smart cities: Addressing present shortcomings*, *Cambridge Journal of Regions. Economy and Society* 8 (1), s. 131-136.

30. Kogan N. (2014), *Exploratory Research on success factors and challenges of Smart City Projects*, Asia Pacific Journal of Information Systems 24 (2), s. 141-189.
31. Kolenda P. (2015), *Internet Rzeczy w Polsce*, Raport IAB Polska, s. 8-11.
32. *Kopenhaga wybrała elektryczne śmieciarki Scania*, <https://truckfocus.pl/nowosci/59664/kopenhaga-wybrała-elektryczne-smieciarki-scania> [25.10.2022].
33. *Kopenhaska spalarnia odpadów produkuje energię i służy za stok narciarski. W mieście słynącym z designu nawet budynek spalarni musi być wyjątkowy*, <https://zielonagospodarka.pl/kopenhaska-spalarnia-odpadow-produkuje-energie-i-sluz-y-za-stok-narciarski-w-miescie-slynacym-z-designu-nawet-budynek-spalarni-musi-byc-wyjatkowy-472> [24.10.2022].
34. Krupanek B., Bogacz R. (2018), *Węzły końcowe systemów internetu rzeczy*, Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej 59, s. 111-112.
35. Kumar T.M.V., Dahiya B. (2017), *Smart Economy in Smart Cities*, International Collaborative Research: Ottawa, St. Louis, New Delhi, Varanasi, Vijayawada, Kozhicode, Hong Kong, Springer, s. 11-17.
36. Letkiewicz A., Szulc K. (2022), *W kierunku green smart city - case study Trójmiasta*, Współczesna Gospodarka 13 (1), s. 63-65.
37. LoRa Alliance (2015), *LPWA Technologies Unlock New IoT Market Potential*, Machina Research.
38. Madakam S., Ramaswamy R., Tripathi S. (2015), *Internet of Things (IoT): A Literature Review*, Journal of Computer and Communications 3 (5), s. 164-173.
39. Manville C., Cochrane G., Cave J., Millard J., Pederson J.K., Thaarup R.K., Liebe A., Wissner M., Massink R., Kotterink B. (2014), *Mapping Smart Cities in the EU*, Study, Directorate General for Internal Policies, Policy Department A: Economic and Scientific Policy, s. 17-31.
40. McKinsey Global Institute, *The Internet of Things: Mapping the value beyond the hype*, 2015, s. 5.
41. Mikulik J. (2017), *Wizja bezpiecznego smart city*, Napędy i Sterowanie 6, s. 100-102.
42. Miller M. (2016), *Internet Rzeczy. Jak inteligentne telewizory, samochody, domy i miasta zmieniają świat*, Wydawnictwo Naukowe PWN, s. 101.
43. Osseiran A., Monserrat J.F., Marsch P., Queseth O. (2016), *5G Mobile and Wire-less Communications Technology*, Cambridge University Press, s. 1-48.
44. Panufnik R. (2016), *Narrow Band IoT (NB IoT) – moda czy długo oczekiwane zmiany w komunikacji między maszynami?*, Elektronika Praktyczna 11, s. 62-64.
45. Piątek Z. (2018), *LoRaWAN i SigFox – dwa standardy sieci IoT*, <https://przemysl-40.pl/index.php/2018/07/30/lorawan-i-sigfox-dwa-standardy-sieci-iot/> [07.10.2022].
46. Schaffers H., Komninos N., Tsarchopoulos P., Pallot M., Trousse B., et al. (2012), *Landscape and Roadmap of Future Internet and Smart Cities*, Technical Report, s. 100.

47. Scully P. (2020), *Top 10 IoT Applications in 2020*, https://bowringj.people.cofc.edu/classes/csci%20362/docs/2020/DZone_IoT_2020.pdf [02.10.2022].
48. Sigfox, <https://www.sigfoxpoland.com/> [07.10.2022].
49. Sinha R.S., Wei Y., Hwang S.H. (2017), *A survey on LPWA technology: LoRa and NB-IoT*, *ICT Express* 3, s. 14-17.
50. Smart City Index 2021. *A tool for action, an instrument for better lives for all citizens*, <https://imd.cld.bz/Smart-City-Index-2021> [03.09.2022].
51. Softeq, <https://www.softeq.com/blog/how-smart-cities-are-leveraging-iot-for-waste-management> [08.10.2022].
52. *SOS Electronic – dystrybucja komponentów elektronicznych*, <https://www.soselectronic.pl/articles/quetcetel/modul-lte-nb-iot-bc95-idealny-poczatek-dla-wlasnego-urzadzenia-klasy-iot-1979> [06.10.2022].
53. Stawasz D., Sikora-Fernandez D. (2015), *Koncepcja smart city w teorii i praktyce zarządzania rozwojem miast*, [w:] D. Stawasz, D. Sikora-Fernandez (red.), *Zarządzanie w polskich miastach zgodnie z koncepcją smart city*, Placet, Warszawa, s. 241-247.
54. Szpilko D. (2020), *Foresight as a Tool for the Planning and Implementation of Visions for Smart City Development*, *Energies* 13, s. 1-24.
55. Szpilko D., Glińska E., Szydło J. (2020). *STEEPVL and Structural Analysis as a Tools Supporting Identification of the Driving Forces of City Development*, *European Research Studies Journal* 23 (3), s. 340-363.
56. Tekbiyik N., Uysal-Biyikoglu E. (2011), *Energy efficient wireless unicast routing alternatives for machine-to-machine networks*, *Journal of Network and Computer Applications* 34 (5), s. 1587-1614.
57. Tian Y., Li T., Song W., Fong S., Song L., Han J. (2019), *Smart power management Internet of Things system with 5G and LoRa hybrid wireless network*, [w:] Y. Wu, H. Huang, Ch.-X. Wang, Y. Pan (red.), *5G-Enabled Internet of Things*, Taylor & Francis Group, s. 1-13.
58. Tosiek D. (2017), *Zarządzanie bezpieczeństwem społecznym w Smart City*, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, Kraków, s. 102.
59. Ueno K., Hirose T., Asai T., Amemiya Y. (2007), *CMOS Smart Sensor for Monitoring the Quality of Perishables*, *IEEE Journal of Solid-State Circuits* 42 (4), s. 798-803.
60. *Underground waste: Vacuum System Takes Waste Management to a New Level*, <https://smartcitysweden.com/best-practice/8/underground-waste-vacuum-system-takes-waste-management-to-a-new-level/> [26.10.2022].
61. Vishnu S., Jino Ramson S.R., Senith S., Anagnostopoulos T., Abu-Mahfouz A.M., Fan X., Srinivasan S., Kirubaraj A. (2021), *IoT-Enabled Solid Waste Management in Smart Cities*, *Smart Cities* 4, s. 1004-1017.

62. Wan C., Shen G.Q., Choi S. (2017), *A review on political factors influencing public support for Urban environmental policy*, *Environmental Science & Policy* 75, s. 70-80.
63. *Welcome to copenhagen*, <https://www.copenhagen.dk/en> [24.10.2022].
64. Winkowska J., Szpilko D., Pejić S. (2019), *Smart city concept in the light of the literature review*, *Engineering Management in Production and Services* 11 (2), s. 70-86.
65. *Wskaźnik recyklingu odpadów komunalnych w Polsce i Europie*, <https://www.loe-cja.pl/raport-rynkowy/wskaźnik-recyklingu-odpadow-komunalnych-w-polsce-i-europie,239> [21.10.2022].
66. Xylouris A. (2017), *LPWA announcements increased significantly in 2016 and NB-IoT is at the forefront*, *Analysys Mason Limited*, s. 1-3.
67. Zwoździak J., Szałata Ł. (2018), *Współczesne metody wykrywania odorów wraz z modelowaniem ich przestrzennego rozkładu w systemach gospodarki odpadami*, [w:] A. Białowiec (red.), *Innowacje w gospodarce odpadami. Zagadnienia wybrane*, Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, s. 115-130.

Modern technologies used in municipal waste management in the smart city

Abstract

In today's world, cities have many challenges to overcome in order to improve the quality of life for residents. One of the challenges is waste management, which, in view of the smart city concept, is important to provide people with a better life in the city. To this aim, modern technologies are being used to make municipal waste management more effective. The purpose of the article is to identify modern technologies used in municipal waste management in the smart city. The article presents examples of selected technologies, including the Internet of Things, used in municipal waste management. The characteristics of these solutions were prepared on the basis of literature review and websites.

Key words

smart city, waste management, modern technologies, sustainable development