

# Nowoczesne technologie wspomagające zarządzanie odpadami komunalnymi w smart city

## Ewa Bondar

Politechnika Białostocka, Wydział Inżynierii Zarządzania

e-mail: ewabondar@wp.pl

## Jakub Konon

Wyższa Szkoła Finansów i Zarządzania w Białymstoku

e-mail: kubakonon@gmail.com

## Danuta Szpilko

Politechnika Białostocka, Wydział Inżynierii Zarządzania

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

DOI: 10.24427/az-2022-0008

## Streszczenie

Miasta we współczesnym świecie stoją w obliczu szeregu wyzwań. Jednym z nich jest gospodarka odpadami komunalnymi, których ilość rośnie z roku na rok stwarzając problemy związane z ich odbiorem, selekcją, recyklingiem lub utylizacją. W inteligentnych miastach wdraża się szereg rozwiązań opartych na nowoczesnych technologiach, aby wspomóc gospodarkę odpadami. Celem artykułu jest identyfikacja dobrych praktyk w zakresie wykorzystania nowoczesnych technologii w gospodarce odpadami w smart city. W artykule przedstawiono przykłady zastosowania technologii, w tym Internetu Rzeczy, w praktyce zarządzania odpadami komunalnymi. Analiza i charakterystyka technologii została przygotowana na podstawie przeglądu literatury i stron internetowych.

## Słowa kluczowe

smart city, zarządzanie odpadami, Internet Rzeczy, system, technologie

## **Wstęp**

Rozwój miast to również rozwój przyszłej cywilizacji. Postęp w dziedzinach ekonomii, szeroko rozumianej technologii oraz znaczny wzrost liczby mieszkańców zdecydowanie wpływają na funkcjonowanie miast. Potrzeby obecnych pokoleń, nie zagrażając możliwościom zaspokajania potrzeb przyszłego pokolenia, można zapewnić poprzez zrównoważony rozwój opierający się na trzech fundamentach: ekonomicznym, społecznym i środowiskowym [Pawłowski, 2017]. Jego celem jest zapewnienie postępu gospodarczego przy jednoczesnej ochronie równowagi społecznej i środowiskowej [Rogall, 2010].

Ciągłe zmiany, pojawiające się problemy oraz nowe potrzeby społeczeństwa sprawiają, że wciąż poszukiwane są nowe rozwiązania usprawniające funkcjonowanie miast. Tworzone są kolejne koncepcje mające na celu poprawę jakości życia. Jedną z nich jest smart city, która wykorzystuje rozwiązania wciąż rozwijającej się technologii informacyjno-komunikacyjnej (ICT – Information and Communications Technology), aby poprawić wydajność infrastruktury miejskiej oraz stopniowo wprowadzać obywateli w świadome zarządzanie konieczne dla prawidłowego funkcjonowania miasta [Azkuna, 2012]. Rozwój inteligentnych miast widoczny jest dzięki inwestowaniu w kapitał społeczny oraz infrastrukturę komunikacyjną [Nam i Pardo, 2014]. Ma to na celu promowanie zrównoważonego postępu gospodarczego oraz wysokiej jakości życia, w tym umiejętnego gospodarowania zasobami naturalnymi, w ramach partycypacji obywatelskiej [Nijkamp, 2008; Szpilko i in., 2020]. Mimo powstawania kolejnych udogodnień technologicznych wciąż istnieją bariery uniemożliwiające budowę inteligentnych miast [Hollands, 2008]. Najważniejsze z nich to bariery organizacyjne, czyli niezintegrowane rozwiązania IT lub brak podejścia procesowego na poziomie urzędów [Dohler i in., 2011]. Istotne są też bariery finansowe i mentalne, między innymi problemy administracyjne wynikające z braku kwalifikacji, oczekiwanie szybkich i pozytywnych efektów, brak rozumienia koncepcji smart city czy obawa przed zmianą [Glasmeier i Christopherson, 2015].

Inteligentne miasta korzystają z wielu możliwości minimalizujących negatywny wpływ na środowisko, czasem wręcz poprawiając jego kondycję. Pozyskują energię ze źródeł odnawialnych w możliwie jak największym stopniu [Jankowska, 2015]. Ograniczają zużycie energii za pomocą najnowszych innowacji technologii oraz poprawiają jakość usług związanych z jej dostarczaniem [Stawasz i Sikora-Fernandez, 2015]. Zastosowanie ekologicznych rozwiązań ma na celu zapewnienie dobrej jakości życia obywateli oraz ich bezpieczeństwa [Mikulik, 2007].

Dobrze rozwinięty i sprawnie funkcjonujący system ekologiczny miasta jest jednym z podstawowych warunków zrównoważonego rozwoju obszarów zurbanizowanych i zapewnienia dobrych warunków życia. Często omawiany jest temat emisji gazów cieplarnianych, zanieczyszczenia wody lub wylesienia, jednak zapomina się o przybierającym na sile problemie jakim jest nieprawidłowa gospodarka odpadami. To zjawisko głównie dotyczy dużych miast, w których najbardziej widoczne są skutki konsumpcjonizmu oraz nadmiernej produkcji. Próbę walki z tym zjawiskiem podjęła Unia Europejska wdrażając politykę, kładącą nacisk na zamianę odpadów w zasoby. Strategia opiera się między innymi na prewencji, recyklingu, rezygnacji z nieoszczędnych i szkodliwych działań. Wyżej wymienione elementy i praktyki, skoncentrowane na segregacji śmieci i szeroko rozumianym dbaniu o porządek w miejscach publicznych, są składowymi wizji ekologicznego smart city. Gospodarka odpadami opiera się na takich filarach jak infrastruktura techniczna, sanitarna, transportowa i informatyczna [Stawasz, 2015]. Należy również uwzględnić jej nowoczesność oraz dopasowanie do aktualnych potrzeb miasta. Istnieje wiele rozwiązań technologicznych, które usprawniają cały proces zarządzania odpadami.

Celem artykułu jest identyfikacja dobrych praktyk w zakresie wykorzystania nowoczesnych technologii w gospodarce odpadami w smart city. W artykule przedstawiono przykłady wykorzystania technologii Internetu Rzeczy w praktyce zarządzania odpadami komunalnymi. Analiza i charakterystyka technologii została przygotowana na podstawie przeglądu literatury i stron internetowych.

## 1. Koncepcja smart city

Współcześnie postęp urbanizacji wymusza na miastach dostosowywanie się do ciągłych zmian i korzystania z różnorodnych technologii. Wraz ze wzrostem liczby ludności oraz rozwojem społeczno-ekonomicznym miast pojawiła się koncepcja smart city. Istnieje wiele definicji tego pojęcia. Jest ono badane pod względem różnych czynników, między innymi technicznych, ekonomicznych, środowiskowych i społecznych. Smart city jest definiowane jako miasto wykorzystujące technologie informacyjno-komunikacyjne w celu zwiększenia interaktywności i wydajności infrastruktury miejskiej i jej komponentów składowych, a także do podniesienia świadomości mieszkańców [Azkuna, 2012; Winkowska i in., 2019]. Caragliu i in. [2011] wartościują smart city jako miasto kładące nacisk na inwestowanie w kapitał ludzki i społeczny oraz odpowiednie zarządzanie posiadanymi zasobami. Inna wizja inteligentnych miast opiera się na cyfrowym fundamencie, czyli rozwiązaniach informatycznych, czujnikach i wbudowanych systemach [Schaffers i in., 2012]. Próby wy-

jaśnienia tego pojęcia podjął się także N. Komninos [2002], który stwierdził, że najważniejszymi czynnikami w inteligentnym mieście są innowacja, kreatywność i efektywne zarządzanie. Wyodrębnił on cztery główne obszary smart city. Pierwszym z nich jest kreatywna populacja realizująca działania wykorzystujące wiedzę. Drugi dotyczy sprawnego funkcjonowaniu instytucji i procedur dotyczących poszerzania wiedzy, adaptacji i rozwoju. Kolejnym obszarem jest rozwinięta infrastruktura, cyfrowa przestrzeń, e-usługi i narzędzia online. Ostatnim jest zdolność do innowacji, skutecznego zarządzania oraz rozwiązywania napotykaných problemów. Miasto inteligentne posiada instytucje badawczo-rozwojowe, rozwiniętą infrastrukturę cyfrową, dobrze rozwinięte szkolnictwo wyższe oraz najnowsze technologie komunikacyjne, które poprawiają ekonomiczne i środowiskowe aspekty obszarów miejskich [Komninos, 2002]. Smart city określane jest jako połączenie inteligencji cyfrowych sieci komunikacyjnych oraz oprogramowania [Albino i in., 2015; Pichlak, 2018]. Biorąc pod uwagę problem z określeniem uniwersalnej definicji inteligentnego miasta, należy zauważyć, iż obszar ten jest nadal nowy i wciąż eksplorowany. Należy jednak zauważyć, iż najczęściej powtarzające się w definicjach elementy to: kreatywne zarządzanie, innowacyjne rozwiązania oraz postęp technologiczny, który wspiera rozwój społeczny i ekonomiczny [Jonek-Kowalska, 2018].

Określonych zostało sześć podstawowych wymiarów koncepcji smart city, które są tożsame z wymiarami zrównoważonego rozwoju [Giffinger, 2007]. Są nimi:

1. smart economy – inteligentna gospodarka – opiera się na wykorzystywaniu innowacyjnych i elastycznych rozwiązań do poprawienia efektywności i produktywności danej gospodarki. Podstawowymi czynnikami są: innowacyjność, przedsiębiorczość, produktywność, globalność, elastyczność rynku pracy;
2. smart mobility – inteligentna mobilność – polega na wykorzystaniu kreatywności lub zaawansowanych technologii do zarządzania transportem i komunikacją, także cyfrową. Wskaźnikami są: wydajność transportu, stosowanie zrównoważonych rozwiązań, wykorzystanie transportu publicznego, lokalna i globalna dostępność transportu czy infrastruktura technologiczna;
3. smart environment – inteligentne środowisko – polega na odpowiedzialnym podejściu do środowiska oraz wykorzystaniu odnawialnych źródeł energii. Podstawowymi aspektami są na przykład ochrona środowiska, zrównoważone zarządzanie surowcami, zanieczyszczenie, inteligentne budynki, wykorzystanie czystej energii, konsumpcja wody, czystość powietrza czy ilość terenów zielonych w mieście;
4. smart people – inteligentni ludzie – w centrum zainteresowania jest człowiek, czyli źródło pozytywnych zmian. Kluczowe kwestie to edukacja na przykład

chęć podnoszenia kwalifikacji, kreatywność, między innymi zaangażowanie w życie publiczne czy wdrożenie społeczeństwa w aktualną technologię np. korzystanie ze smartfonów czy szybkiego Internetu;

5. smart living – inteligentne warunki życia – opiera się na poprawie jakości życia w mieście przez powszechny dostęp do szeroko rozumianych usług publicznych między innymi dostęp do mieszkań, ośrodków kultury, rozrywki, zapewnieniu bezpieczeństwa na przykład dzięki technologii do zapobiegania przestępstwom, opiece zdrowotnej, czyli wysokiej jakości służby zdrowia czy inwestycjach ulepszających warunki życia mieszkańców;
6. smart governance – inteligentne zarządzanie – to wielopoziomowy system zarządzania miastem, polegający na współpracy władz lokalnych oraz obywatele, na przykład poprzez wykorzystywanie e-usług, uwzględnienie budżetu obywatelskiego, budowę infrastruktury pro-obywatelskiej, lokalne strategie rozwojowe.

Kompleksowe wprowadzanie idei smart city i korzystanie z jej wszystkich aspektów opiera się na wdrażaniu wielowymiarowych strategii zawierających elementy wszystkich sześciu płaszczyzn.

Badając kwestie związane z inteligentnymi miastami B. Cohen wyróżnił ich trzy generacje [Cohen, 2015]. Pierwsza generacja skupia się na wdrażaniu nowych rozwiązań miasta inteligentnego dzięki technologiom ICT [Jedlińska, 2020; Szpilko, 2020]. Zdominowana jest nowymi technologiami, pozwalającymi na wzrost efektywności funkcjonowania miast [Kitchin, 2014]. Przykładem smart city pierwszej generacji są miasta zaprojektowane od podstaw jako eksperymenty technologiczne, jak np. Masdar w Zjednoczonych Emiratach Arabskich [Dziedzic, 2015] czy New Sangdo w Korei Południowej [Oh i Larson, 2011].

W smart city drugiej generacji istotną rolę odgrywają władze miasta. Ich zadaniem jest ciągle poszukiwanie rozwiązań, które okażą się najbardziej skuteczne i odpowiednie w danym mieście. To one określają kierunek rozwoju miasta oraz zakres proponowanych rozwiązań technologicznych. Realizacja koncepcji Smart City 2.0 jest widoczna w miastach, w których za pomocą technologii, realizowane są programy mające na celu poprawę ich i jakości życia mieszkańców. Są to między innymi czujniki informujące o wolnych miejscach parkingowych, szerokiej dostępności Wi-Fi czy sensory ochrony pieszych. Dobrym przykładem inteligentnego miasta drugiej generacji jest Rio de Janeiro, w którym aby rozwiązać problem bezpieczeństwa na ulicach poproszono firmę IBM o przygotowanie czujników i kamer monitorujących. Dzięki temu miasto może szybciej reagować i zapobiegać zagrażającym mieszkańcom zdarzeniom [Jedlińska, 2020]. Słabą stroną tych dwóch genera-

cji wskazywaną w literaturze jest lekceważenie roli mieszkańców we współtworzeniu środowiska życia i pracy. Najpopularniejszą generacją natomiast jest Smart City 3.0. W tym przypadku główną rolę odgrywa społeczeństwo. Miasto otwarte jest na nowe pomysły mieszkańców, a lokalna władza powinna stwarzać przestrzeń dla rozwoju obywateli. Smart City 3.0 oznacza skupienie się na ludzkim wymiarze miasta, na poziomie zadowolenia, spełnienia wymagań mieszkańców. W tej generacji łączy się wymiar społeczny z wymiarem cyfrowym. Pomysły i nowe potrzeby komunikowane przez społeczeństwo są kierowane do oferentów, którzy próbują sprostać ich wymaganiom projektując nowe rozwiązania. Przykładami tego typu miast są: Wiedeń, Vancouver, a także kolumbijskie miasto Medellin.

Jednym z bardzo ważnych aspektów smart city jest ochrona środowiska. Władze miast wciąż muszą mieć na uwadze jakość środowiska naturalnego, ponieważ przekłada się ona wprost na zadowolenie mieszkańców i spełnienie ich potrzeb. W tym celu wdraża się nowe udogodnienia, które mają sprawić, że skutki negatywnej działalności człowieka na środowisko będą mniej odczuwalne. Wdrożenie innowacji potrzebne jest w takich obszarach jak gospodarka, transport, planowanie czy zarządzanie kapitałem społecznym. Należy pamiętać, że jedynie dzięki wsparciu społeczeństwa możliwa jest realizacja strategii środowiskowych [Wan i in., 2017].

Strategie środowiskowe miast obejmują między innymi:

- wykorzystanie technologii z odnawialnych źródeł energii [Letaifa, 2015];
- alternatywne technologie ogrzewania gospodarstw domowych [Ekholm i in., 2014];
- dostarczanie ciepła z kogeneracji poprzez systemy ciepłownicze [Späth i Rohracher, 2015];
- planowanie i wdrażanie rozwiązań z zakresu zielonej infrastruktury w miejskiej przestrzeni publicznej [Röbler, 2015];
- projekty budowlane, które ograniczają zarówno nadmierną konsumpcję zasobów na etapie budowania i eksploatacji budynków, jak i emisję związanych z tymi działaniami zanieczyszczeń, na przykład poprzez stosowanie odpowiednich urządzeń [Xue i in., 2015];
- realizowanie filozofii zero odpadów.

Zarządzanie inteligentnymi miastami łączy takie obszary jak konkurencyjność, zrównoważony rozwój, zarządzanie mobilnością oraz zasobami ludzkimi. Wyżej wymienione elementy rozwijane są dzięki nowoczesnym technologiom i wysoko rozwiniętej automatyzacji. Na rynek wprowadzane są technologie ekologiczne, które ograniczają negatywne oddziaływanie na środowisko. Obejmują one techniki

kontroli zanieczyszczeń, produkty i usługi, które zużywają mniej zasobów lub wykorzystują je w lepszy sposób jak na przykład technologie energooszczędne. Takie rozwiązania minimalizują koszty oraz zmniejszają emisję zanieczyszczeń.

## 2. Technologie w smart city a ochrona środowiska

Wciąż poszukiwane są nowoczesne rozwiązania mające na celu zaspokojenie potrzeb obecnych miast i ich mieszkańców. Prognozy demograficzne wskazują na wzrastające zainteresowanie społeczeństwa życiem w miastach. ONZ przewiduje, że do 2050 roku aż 70% ludności będzie zamieszkiwało miasta [McGuirk, 2015]. Konsumpcyjny styl życia współczesnego społeczeństwa wpływa na gwałtownie postępującą degradację środowiska, co przejawia się pod postacią postępujących zmian klimatu. Skutkiem tego jest między innymi zanieczyszczenie powietrza, podnoszenie się poziomu wód czy ekstremalne zjawiska pogodowe. W raporcie Unii Europejskiej o stanie środowiska podkreślono, iż zadowalająca jakość życia nie zostanie uzyskana bez uwzględnienia ograniczeń Ziemi [Komisja Europejska, 2013]. Ekologiczna wizja promowana przez UE opiera się na niskoemisyjnym społeczeństwie, zielonej gospodarce o obiegu zamkniętym i odpornym ekosystemie. Niestety urbanizacja i jej skutki niosą za sobą przykre konsekwencje dotyczące środowiska naturalnego.

Zgodnie z koncepcją smart city inteligentne środowisko skupia się na ochronie powietrza, zasobach energetycznych, gospodarce wodnej oraz odpadami. Ochrona środowiska naturalnego w inteligentnych miastach opiera się na ochronie powietrza w miastach, zabudowie pozwalającej na „przewietrzanie miasta”, minimalizacji hałasu, budowie infrastruktury wodno-kanalizacyjnej, racjonalnym wykorzystywaniu wód głębinowych, dbałości o rzeki, zbiorniki wodne oraz tereny przyległe, parki i tereny zielone, racjonalnym gospodarowaniu przestrzenią, ochronie gruntu przed zanieczyszczeniami czy odpowiedniej lokalizacji obiektów infrastruktury i budownictwie mieszkaniowego [Stawasz i Sikora-Fernandez, 2015].

Rozwój społeczno-gospodarczy można ocenić dzięki określeniu poziomu innowacyjności oraz zaawansowania technologii, z których korzystają wybrane miasta czy kraje [Fusco Girad i in., 2009]. Technologie informacyjne i komunikacyjne uznawane są za wyznacznik sukcesu miasta [Caragliu i in., 2011]. Mają znaczący wpływ na jego rozwój, wykazują wzrost znaczenia kapitału społecznego oraz edukacji mieszkańców, a także poziomu ekologii [Lombardi i in., 2012]. Sektor ICT uważany jest za czynnik, który najbardziej wpływa na powstawanie miast o wysokim poziomie zaawansowania [Hollands, 2008]. Istnieje wiele rozwiązań technolo-

gicznych stosowanych w inteligentnych miastach. Jednym z najbardziej powszechnych są czujniki, które umożliwiają sterowanie, monitorowanie oraz optymalizację procesów [Hancke i in., 2013]. Ma to na celu między innymi ograniczenie zużycia zasobów naturalnych oraz negatywnego wpływu na środowisko naturalne. Korzystanie z czujników wiąże się również z minimalizacją kosztów w wielu sektorach. Innowacyjne rozwiązania pozwalają między innymi dokonać pomiaru parametru gazu czy wody bez ingerencji osób trzecich. Nowoczesne wersje sensorów oraz innych urządzeń pomiarowych są wciąż unowocześniane dzięki nanotechnologii [Ueno i in., 2007].

Ważnym elementem ICT, który sprawia, że miasta stają się bardziej przyjazne mieszkańcom jest coraz bardziej popularny Internet Rzeczy (IoT – Internet of Things), czyli inteligentne urządzenia z własnymi adresami IP, które zostały połączone w sieć z innymi urządzeniami za pośrednictwem Internetu [Miller, 2016]. Czujniki wysyłają zebrane dane w formie sygnałów do komputerów lub smartfonów, które mają w sobie wbudowane systemy pozwalające analizować i obserwować otoczenie. Urządzenia te mogą dzięki analizie zebranych danych prognozować i skłaniać do podjęcia odpowiednich decyzji. Czujnikiem może być GPS, czujnik natężenia ruchu, wilgotności czy temperatury. Informacje są wysyłane za pomocą technologii takich jak Wi-Fi, Bluetooth, NFC czy RFID. Internet Rzeczy stosowany jest między innymi w: logistyce, systemach bezpieczeństwa, budownictwie, energetyce czy inteligentnych domach [Lipski, 2015]. Wymienione rozwiązania wspierają komunikację „dalekiego zasięgu”, wymianę informacji, ale także monitorowanie warunków otoczenia. Gdy czujnik zarejestruje znaczącą zmianę na przykład wzrost temperatury, może zareagować (na przykład przez wyłączenie kotła grzewczego). Taka automatyzacja pozwala na ograniczenie zużycia zasobów naturalnych oraz oszczędności finansowe. Coraz szersze zastosowanie ma również komunikacja krótkiego zasięgu opierająca się na takich technologiach jak NFC i RFID. Identyfikacja radiowa wykorzystywana jest przy inteligentnych przystankach, parkingach, czy oświetleniu miasta. Natomiast NFC umożliwia wymianę informacji, danych między urządzeniami w obszarach miejskich smart city.

Obszary rozwiązań technicznych w smart city umożliwiają ciągły rozwój miast, a co za tym idzie, zaspokojenie potrzeb mieszkańców. Dzięki nowoczesnym technologiom możliwy jest postęp koncepcji smart poszerzanej o nowe kategorie, takie jak:

- inteligentne sieci elektroenergetyczne (smart grid technology) – sieć urządzeń opartych na systemach zdalnego, dwukierunkowego odczytu, dzięki którym można kontrolować dostawy energii, sprawniej nią zarządzać, szybciej reagować na awarie, regulować moce przyłączanych farm wiatrowych



czy biogazu oraz lepiej współpracować z krajowym systemem elektroenergetycznym [Kałuża, 2010]. W kwestii ogrzewania wykorzystywane są niskokosztowe, hybrydowe systemy grzewcze oraz technologie gromadzenia i utrzymywania ciepła. Takie rozwiązanie pomaga zmniejszyć zapotrzebowanie na energię, zmniejszyć liczbę nowobudowanych elektrowni konwencjonalnych oraz zminimalizować straty energii, wody czy temperatury;

- inteligentne budownictwo (smart building) – ta koncepcja jest rozwijana na wszystkich etapach cyklu życia budynku, skupiając się na fazie projektowania, budowy i eksploatacji. Już istniejące budynki są przygotowywane do zużycia możliwie jak najniższego poziomu zużycia energii [Strategic Energy..., 2022]. Inteligentny budynek łączy w sobie cechy zrównoważonego budynku i zielonego budynku. Szacuje się, że około 10% całkowitej emisji CO<sub>2</sub> budynku pochodzi z produkcji materiałów budowlanych, a 15% całkowitej emisji CO<sub>2</sub> podczas procesu budowlanego jest spowodowane brakiem inteligentnego podejścia logistycznego [European Committee, 2009]. Dlatego już przy projektowaniu analizowana jest efektywność energetyczna budynku z uwzględnieniem lokalizacji, infrastruktury miejskiej i warunków środowiskowych. Korzysta się przy tym z najnowocześniejszych technologii, ekologicznych materiałów oraz procesów budowlanych opartych na ICT;
- inteligentny transport (smart transport) – zawiera takie elementy jak: niskoemisyjny transport publiczny, inteligentne systemy sprzedaży biletów poprzez aplikacje, inteligentne systemy zarządzania ruchem, które pozwalają ograniczyć zanieczyszczenie powietrza spalinami oraz zapewnić bezpieczeństwo uczestników ruchu. Na przestrzeni ostatnich lat rozwinęły się również inicjatywy takie jak smart bikes, czyli wypożyczalnie rowerów miejskich. Dzięki wbudowanym nadajnikom GPS, lokalizacja roweru jest na bieżąco znana. Takie rozwiązanie zachęca mieszkańców miast do zdrowego trybu życia oraz ogranicza zanieczyszczenie powietrza [Nowicka, 2014];
- inteligentny pomiar wody (smart water metering) – zarządzanie wodą mające na celu eksploatację wody, na poziomie regionalnym lub miejskim, oparty na zrównoważonym rozwoju i samowystarczalności. Jest to możliwe dzięki kontrolującym technologiom informacyjnym oraz rozwiniętemu monitoringowi [Tadokoro i in., 2011]. Pomiar dokonywany jest dzięki inteligentnym licznikom, które przechowują i udostępniają dane z określoną częstotliwością. Skuteczność tego procesu opiera się na dobrze dobranych czujnikach i monitoringu systemu wodnego [Ntuli i Abu-Mahfouz, 2016]. Od-

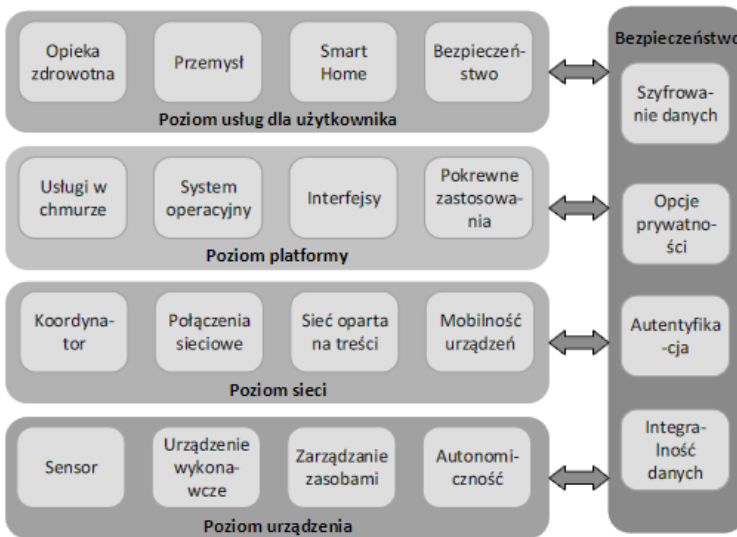
powiedzialna gospodarka wodna skutkuje zmniejszeniem wycieków i awarii, poprawą jakości wody oraz optymalizacją operacyjną [Howell i in., 2017].

Ważnym elementem smart city jest również inteligentna gospodarka odpadami (Smart Waste Management). Odpady są skutkiem nieefektywnego postępowania społeczeństwa i dowodem marnotrawienia zasobów [Zaman i Lehmann, 2013], dlatego siódmy ogólny unijny program w zakresie środowiska naturalnego do 2020 roku „Dobra jakość życia z uwzględnieniem ograniczeń naszej planety” skupił się na zamianie odpadów w zasoby [Komisja Europejska, 2013]. Do zamiany tej prowadzić mają takie działania jak: ponowne wykorzystywanie zasobów i recykling, rezygnacja z nieoszczędnych i szkodliwych praktyk. Optymalizacja procesu zarządzania gospodarką odpadami jest możliwa dzięki IoT, automatyce, uczeniu maszynowemu i analityce dostępnych zbiorów danych. Jednym z takich rozwiązań są sensory, które pozwalają mierzyć poziom wypełnienia pojemników na śmieci, tak żeby dzięki sieci komórkowej dane mogły zostać przesłane do przedsiębiorstwa, które jest odpowiedzialne w danej miejscowości za wywóz śmieci [Enevo, 2022b]. Posiadając dane można efektywnie planować odbiór odpadów, uwzględniając stan zapelnienia pojemnika. Takie rozwiązania sprawiają, że zwiększa się wydajność pracy oraz ogranicza koszty przedsiębiorstwa. Dzięki technologiom optycznym powstała również metoda identyfikacji rodzaju odpadów. W kosztach instalowane są kamery, które określają z jakiego materiału jest wrzucany produkt. Ta i inne technologie sprawiają, że powstaje coraz więcej inteligentnych miast. Takie rozwiązania pozwalają ograniczyć zużywanie zasobów naturalnych, zoptymalizować koszty świadczenia usług publicznych, takich jak wywóz odpadów, a także usprawnić transport miejski. Ta koncepcja właśnie sprawia, że miasta stają się bardziej nowoczesne, funkcjonalne oraz otwarte na potrzeby mieszkańców.

### **3. Technologie wspomagające zarządzanie odpadami komunalnymi**

Odpady komunalne, w szczególności stałe, są jednym z kluczowych zagrożeń dla środowiska [Shareefdeen i in., 2015]. Szacuje się, że do 2050 roku roczna produkcja odpadów stałych osiągnie około 3,4 miliarda ton, co oznacza koszt operacyjny zintegrowanej gospodarki odpadami w przybliżeniu równy 635,5 mld USD [Kaza i in., 2020]. Na tym przykładzie należy zauważyć, że nieodpowiednie zarządzanie odpadami wiąże się ze znaczącymi stratami dla miast. Należy również pamiętać, że poza czynnikami ekonomicznymi, błędy w gospodarce odpadami mogą skutkować bezpośrednimi zagrożeniami dla społeczności i środowiska. Przykładem są pożary wysypisk śmieci w dużych, zatłoczonych miastach [Tapashetti i in., 2016].

W związku z tym nieustannie opracowywane są metody i techniki wspierające efektywne zarządzanie odpadami. Jest to możliwe dzięki nowoczesnym technologiom i innowacyjnym rozwiązaniom, które mają na celu ułatwienie segregacji śmieci, ich transport, składowanie oraz przetwarzanie. Jednym z głównych rozwiązań jest szeroko rozumiany Internet Rzeczy (IoT – Internet of Things). Twórca technologii Radio Frequency Identification (RFID) – K. Ashton – określił IoT jako połączenie urządzeń sensorycznych z innymi komponentami sieci. Narzędzia te muszą posiadać moduł komunikacji bezprzewodowej i współpracują dzięki chmurze danych [Kołenda, 2015]. Powszechnie Internet Rzeczy znany jest jako platforma, która obejmuje inteligentne obiekty sieci, czujniki i technologie przetwarzania, które połączone działają jednocześnie, tworząc system, w którym inteligentne usługi są dostarczane wszystkim użytkownikom końcowym [Aswin Raaju i in., 2019; Szum, 2021]. Technologia IoT składa się z czterech poziomów zaprezentowanych na rysunku 1.



Rys. 1. Architektura Internet of Things

Źródło: [Krupanek i Bogacz, 2018].

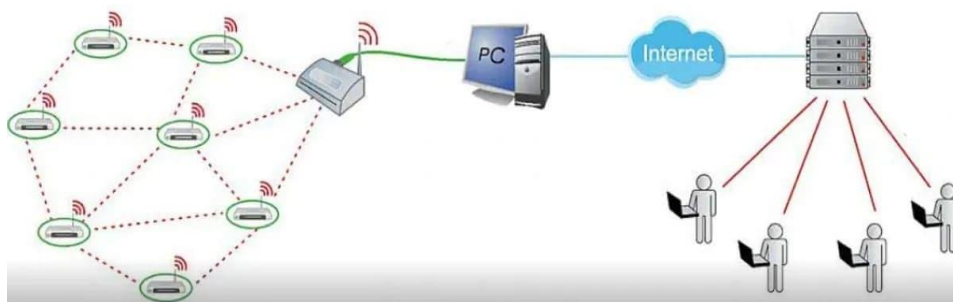
Pierwszy z poziomów to warstwa użytkownika (user service layer), czyli łącznik, dzięki któremu użytkownik otrzymuje dane z sieci. Struktura usługowa jest wykorzystywana w odniesieniu do konkretnej usługi i typu potrzebnych danych [Lee i in., 2017]. Kolejna warstwa, czyli platforma w chmurze ma za zadanie dostarczyć rozwiązania programowe i bazodanowe, wspierając w ten sposób warstwę usługową [Cha i in., 2016]. Czasem wymagane jest połączenie kilku platform, aby uzyskać

pożądany efekt. Należy jednak zaznaczyć, że najważniejszym aspektem jest dobry interfejs programisty (API – Application Programming Interface), który pozwala na odpowiednie programowanie systemu [AllSeen Alliance, 2014]. Kolejna ważna warstwa skupia się na sieci. Dzięki niej możliwa jest transmisja danych pomiędzy wybranymi elementami, czyli relacja użytkownik-platforma lub użytkownik-urządzenie. Sieć często dostarcza dane w czasie rzeczywistym, dlatego użytkownik na bieżąco odbiera informacje. Istotną kwestią jest tempo obiegu danych oraz rozmiar jaki zajmują. Ostatnią warstwę tworzą urządzenia, które są niezbędne do zbierania danych. Dzięki podłączeniu do sieci całej grupy urządzeń, mogą one wymieniać się zebranych bazami informacji.

Internet Rzeczy, innowacyjne technologie i rozbudowywane bazy danych coraz częściej pozwalają na optymalizację procesu zarządzania odpadami. To dzięki tym nowoczesnym rozwiązaniom możliwa jest poprawa wydajności oraz minimalizacja kosztów usług związanych z odpadami. Jednak aby ten proces był skuteczny, potrzebny jest sprawny transfer danych [Osseiran i in., 2016]. Komunikacja bezprzewodowa umożliwiająca wszechobecną łączność między maszynami może być wykorzystywana w różnych obszarach i cechować się precyzyjnymi wymaganiami. IoT zapewnia coraz to lepsze rozwiązania, które pozwalają na współpracę dużej ilości urządzeń, zapewniając przy tym niezawodność oraz opłacalność usługi. Rozwiązania maszyna-maszyna (M2M – machine-to-machine) opierają się na połączeniu technologii stosowanych w komunikacji elektronicznej i komputerowej [Tekbiyik i Uysal-Biyikoglu, 2011]. Dane znajdujące się w sieci zbierane są przez urządzenia posiadające moduły komunikacyjne. Są to wszelkiego rodzaju sensory i czujniki. Urządzenia komunikując się tworzą sieć M2M. Jest to możliwe dzięki sieci Low-Power-Wide-Area (LPWA) [Xylouris, 2017]. Sieć ta to zbiór technologii, które pozwalają na szeroko rozumianą komunikację przy stosunkowo niskich kosztach i niższym zużyciu energii [LoRa Alliance, 2015]. Wraz z szybkim rozwojem rynku IoT, sieć LPWA stała się jedną z jego najszybciej rozwijających się systemów. Powiązane są z nią technologie takie jak LTE Cat 1, Sigfox, Wave25, 3GPP, ZigBee, Thread, SubGHz, NFC, RPMA czy Z-Wave [Zwoździak i Szałata, 2018]. Dwie wiodące technologie tej sieci to LoRa oraz NB-IoT. Mimo, że obie cechuje korzystanie z wąskiego pasma radiowego, zmniejszenie prędkości połączenia kosztem większej liczby jednoczesnych połączeń, a także zwiększenie zasięgu z wysoką sprawnością energetyczną procesu komunikacji, to nadal istnieją aspekty, w których można dostrzec różnice.

LoRa (Long Range) jest to system komunikacji bezprzewodowej, rozległa sieć o małej mocy, której największymi zaletami są daleki zasięg transmisji sygnału oraz niski pobór mocy [Tian i in., 2019]. Działa w nielicencjonowanych pasmach, takich

jak 433 Hz, 868 Hz i 915 Hz a jej zasięg szacuje się na 15 km na terenie w obszarze niezabudowanym oraz do 5 km w obszarze zabudowanym [Dambal i in., 2019]. Jest niezwykle odporna na zakłócenia i może być odbierana na dużych odległościach dzięki modulacji bezprzewodowej opartej na technologii CSS (Chirp Spread Spectrum) [Lora, 2015]. Ten standard umożliwia transmisję danych od 0,3 Kb/s do 50 Kb/s. Moduł transmisji składa się głównie z węzła, bramy i serwera sieciowego. LoRa węzeł, czyli urządzenie końcowe, odpowiada za transmisję sygnałów elektrycznych, komunikacji pomiędzy elementami sieci. Bramka LoRa jako stacja transferowa przechowuje dane i sprawdza ich integralność, po czym wysyła zestawy danych do serwera sieci. Architektura przyjmuje topologie gwiazdy, co oznacza, że każdy węzeł i brama mogą się ze sobą komunikować w dwie strony (rys. 2) [LoRa Alliance, 2015]. Bez względu na miejsce docelowe użytkownika, węzeł LoRa łączy się z aktualną najbliższą bramą. To zmniejsza złożoność struktury sieci i sprawia, że zmniejsza się zużycie energii i wydłuża żywotność baterii wewnętrznej. Technologia ta jest coraz częściej stosowana w kontekście smart city oraz inteligentnej gospodarki odpadami.



**Rys. 2.** Współpraca urządzeń sieci IoT z zastosowaniem standardu LoRa

Źródło: [LoRa Alliance, 2015].

NarrowBand IoT (NB-IoT) to nowa technologia IoT obsługiwana przez publiczną komunikację mobilną sieci. Jest zintegrowana ze standardem Long-Term Evolution (LTE), ale może być traktowana jako nowy interfejs powietrzny [Schlienz i Raddino, 2016]. Standard NB-IoT zapewnia bardzo niskie zużycie energii. Obsługuje najnowsze zabezpieczenia 3GPP (3rd Generation Partnership Project). Standard zapewnia uwierzytelnianie na najwyższym poziomie oraz szyfrowanie danych i ochronę sygnalizacji. Pozwala to na użytkowanie urządzenia na tej samej baterii przez nawet 10lat. NB-IoT wiąże się z stosunkowo niskimi kosztami jednostkowymi i zapewnia szeroki zakres zasięgu. Ta technologia sieci

o małej mocy umożliwia łączenie się praktycznie w dowolnym miejscu, a także współpracuje z już istniejącymi sieciami komórkowymi [Routray i Hussein, 2019]. NB-IoT jest wykorzystywana do wdrażania dużej ilości połączonych urządzeń o niskiej złożoności, przeznaczonych do systematycznego przesyłania małych pakietów danych. Pozwala na bardzo dużą liczbę obiektów sieciowych na komórkę radiową (około 50 000 urządzeń) [Deutsche Telekom AG, 2016]. Wszystkie te elementy sprawiają, że technologia NB-IoT jest niezwykle atrakcyjna w kontekście jej wykorzystania w przestrzeni miejskiej.

Przedstawione standardy komunikacyjne dla sieci sensorycznych tworzących Internet Rzeczy są przydatne i efektywne, gdy nie jest istotna wielkość przesyłanych danych. To jednak nie umniejsza ich wartości. Doskonale sprawdzają się one między innymi w obszarach zarządzania odbiorem i wywozem odpadów. W kontekście gospodarki odpadami ostatnią, wspomnianą warstwę, stanowią pojemniki, które są podłączone do Internetu. Dzięki temu można monitorować na bieżąco ich stan. Do takiego pomiaru używane są czujniki ultradźwiękowe, komórkowe i czujniki gazu. Pierwszy typ urządzenia montuje się do pomiaru ilości śmieci oraz obiektów wokół. Drugi rodzaj sensorów jest odpowiedzialny za pomiar masy odpadów w śmietniku. Ostatni czujnik ma za zadanie sprawdzać, czy w pojemniku nie ma ognia lub dymu [Madakam i in., 2015]. Coraz częściej jest również wykorzystywany do sprawdzania poziomu wilgoci. Wszystkie zebrane dane są przetwarzane i analizowane w chmurze. Dzięki niej zakłady świadczące usługi związane z odpadami mogą ocenić czy śmieci są wrzucane do odpowiednich koszy i czy są sortowane w zalecany sposób. Podmioty te dzięki zamontowanym czujnikom również wiedzą kiedy należy opróżnić pojemniki, a także jak zaplanować optymalną trasę przejazdu śmieciarek.

Wraz z wzrostem innowacyjnych technologii ułatwiających i zachęcających mieszkańców miast do odpowiedzialnej gospodarki odpadami powstają przedsiębiorstwa proponujące nowe rozwiązania. Są nimi między innymi: Big Belly, Ecube Labs, Enovo, Vconsyst. Amerykańska firma Big Belly Smart Grid (Bigbelly) opracowała sieć inteligentnych śmietników (rys. 3) posiadających tryb zgniatający odpady oraz system monitorujący wnętrze kosza. Za pomocą integracji uczenia maszynowego oraz technik przetwarzania obrazu możliwe jest samodzielne określenie poziomu napełnienia zbiornika. Urządzenia mogą dodatkowo wysyłać wiadomości do właściciela z informacją o poziomie zapełnienia [Gil, 2018]. Śmieci wrzucane do pojemnika, stopniowo go zapełniają, a gdy zgromadzi się ich większa ilość, zostają zgniecione przez prasę. To sprawia, że można zmniejszyć częstotliwość opróżniania kosza. Dzięki temu objętość odpadów zmniejsza się o jedna czwartą. Innym innowacyjnym pomysłem jest zasilanie BigBelly energią słoneczną. Zasilana energią

słoneczną sprężarką Bigbelly jest jedyną inteligentną sprężarką odpadów, która zapewnia nawet dziesięć razy lepszą rzeczywistą wydajność w porównaniu do tradycyjnego pojemnika na śmieci. Mieści ona 600 litrów odpadów. Na pokrywie kosza zamontowane są ogniwa fotowoltaiczne. Zasilane są w ten sposób systemy monitoringu, GPS i prasa. Sprawia to, że kosz jest w pełni ekologiczny. Należy dodać również, że inteligentny kosz łączy się bezprzewodowo z wykorzystaniem standardu NB-IoT z aplikacją zarządzaną z chmury [Bigbelly, 2022].

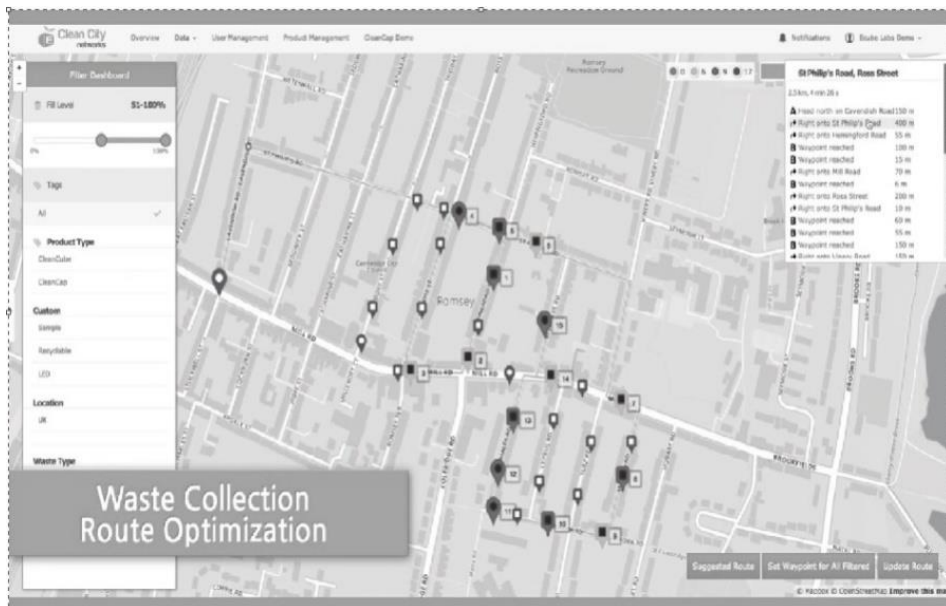


**Rys. 3.** Inteligentny kosz BigBelly Solar

Źródło: [Bigbelly, 2021].

Inne rozwiązania zaproponowało przedsiębiorstwo Ecube Labs. Posiada ono bazę ponad 300 klientów, rozmieszczonych w 57 krajach i tygodniowo przyjmuje 1 715 323 litrów odpadów [Ecube Labs, 2022]. Oferowanymi przez przedsiębiorstwo technologiami jest między innymi CleanCUBE, czyli zgniatarka śmieci zasilaną energią słoneczną, czujnik poziomu napełnienia o nazwie CleanFLEX oraz ultradźwiękowy sensor Clean Plus CAP, który przekazuje dane do systemu Ecube Labs zainstalowanego na dedykowanych serwerach. Do komunikacji między elementami służy standard telekomunikacyjny 2G i 3G. Elementem łączącym wszystkie produkty tej marki jest platforma zarządzania odpadami Clean City Networks (CCN) (rys. 4). CCN zapewnia monitoring stanu środowiska oraz inteligentny pulpit nawigacyjny. Oparta na sieci Web i hostowana w chmurze usługa Clean City Ne-

tworck jest dostępna, gdy klient posiada sprawną przeglądarką oraz dostęp do Internetu. Platforma zapewnia pełną kontrolę i wgląd w operacje związane z gospodarką odpadami.



Rys. 4. Clean City Network

Źródło: [Ecube Labs, 2022].

Jednym z liderów innowacyjnych rozwiązań w kategorii gospodarki odpadami jest fińskie przedsiębiorstwo Enevo, które wprowadziło na rynek czujnik ultradźwiękowy One Collect. Sensor ten cechuje się dużą elastycznością działania w kontekście otaczających go warunków. Sprawnie pracuje w zakresie temperatur od -40 stopni Celsjusza do nawet 85 stopni Celsjusza. Jest również odporny na wstrząsy oraz drgania i wszelkie zachlapania. Posiada on czujnik ruchu, który pozwala wykryć ewentualny pożar lub oznaki wandalizmu. One Collect zapewnia także niskie zużycie mocy (możliwy jest dziesięcioletni czas pracy akumulatorów), a także zgodność z niemal wszystkimi rodzajami pojemników. Czujniki dopasowane jest do potrzeb związanych z odpadami mieszanymi, bioodpadami lub elektroniką.

Technologię Enevo zastosowano w McDonald's w Nottingham. Przed wprowadzeniem zmian odpady były odbierane o stałych porach, niezależnie od stopnia wypełnienia pojemników. Zdarzały się również sytuacje gdy transport do wybranego



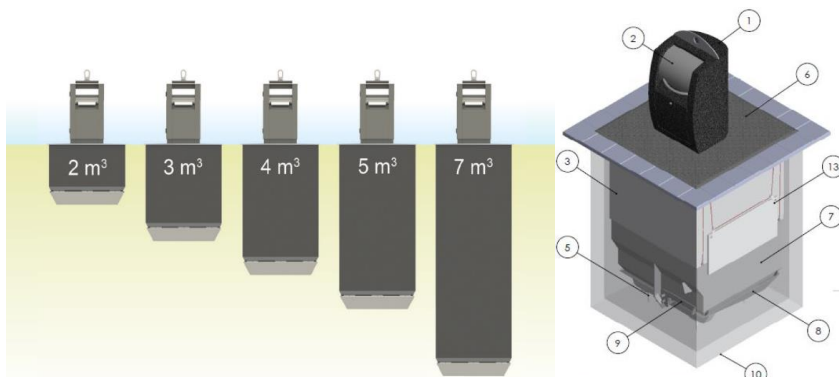
punktu został pominięty, co skutkowało stratami finansowymi oraz poważnym problemem dla zespołu zarządzającego. Rozwiązaniem tego problemu umożliwiły czujniki marki Enevo. Dzięki nim przedsiębiorstwo otrzymywało informacje kiedy należy opróżnić pojemniki oraz kiedy odbywa się odbiór odpadów. Jednocześnie w czasie rzeczywistym przekazywane były powiadomienia o wszelkich zagrożeniach lub błędach, wymagających korekty (rys. 5). Enevo zapewniła również bazę danych, na której opierały się dalsze działania i decyzje zarządu restauracji. Dzięki wprowadzonym zmianom odnotowano dwunastoprocentowy spadek kosztów wywozu odpadów [Crofts, 2018].



Rys. 5. System zbiórki odpadów

Źródło: [Enevo, 2022a].

Rosnące wymagania konsumentów sprawiają, że producenci pojemników muszą również brać pod uwagę estetykę swoich urządzeń. Odpowiedzią na potrzeby społeczności jest rozwiązanie marki VConsyst, czyli podziemne pojemniki na odpady. Koncepcja to polega na umieszczeniu odpowiedniego kontenera na odpady, który umiejscowiony jest pod ziemią na specjalnie przygotowanym stanowisku. Cała konstrukcja składa się z: kiosku wrzutowego (1), bębna wrzutowego (2), systemu bezpieczeństwa (3), przeciwwagi systemu bezpieczeństwa (4), stopy poziomującej (5), platformy chodnikowej (6), podziemnego zbiornika na odpady (7), drzwi zwalniających dno pojemnika (8), mechanizmu blokującego dolne drzwi (9) i z betonowego silosa (10) (rys. 6).



**Rys. 6.** Budowa pojemnika podziemnego

Źródło: [Świat Pojemników, 2015].

Gdy odpady trafiają do zsypu, spadają do pojemnika umieszczonego w wybetonowanym silosie pod ziemią. Fakt, że jest tam niższa temperatura sprawia, że śmieci nie rozkładają się w tak szybkim tempie. To ogranicza nieprzyjemny zapach wokół miejsca zbiórki odpadów. Drugim pozytywnym aspektem jest mała zajmowana powierzchnia. Kosz zajmuje obszar o wymiarach 1,65 m x 1,65 m. Dzięki podziemnemu zbiornikowi jest on w stanie pomieścić nawet 5 000 litrów odpadów. Oferowane pojemniki podziemne mają pięć rozmiarów i przystosowane są do zbiórki odpadów mieszanych oraz segregowanych. Kolejną zaletą tego rozwiązania jest wysoki poziom bezpieczeństwa. Budowa kłapy uniemożliwia dostania się tam zwierząt, a co z tym związane, roznoszenia śmieci po osiedlu [Eco-market, 2018]. Korzystanie z tego urządzenia opiera się na intuicyjnej komunikacji z użytkownikiem. Mieszkańcy wybranego osiedla otrzymują przepustkę, dzięki której otwiera się wrzutnię podziemnego kontenera. Zamykając bęben worek z całą zawartością automatycznie wpada do pojemnika, po czym na wyświetlaczu pojawia się komunikat dla użytkownika. Identyfikacja użytkowników możliwa jest dzięki technologii Chiplock. Pozwala ona również na rejestrację poziomu napełnienia na podstawie ruchu zaworu, a także zapis czasu i ilości wrzutów dokonanych przez określoną osobę. Wymiana danych jest zgodna z ustalonymi standardami STOSAG. W celu zapewnienia wygody użytkownikom stworzono moduł SmartData VConsyst Dynamics. Dzięki niemu można obserwować poziom napełnienia, moc baterii i czas opróżnienia kontenerów.

## Podsumowanie

Koncepcja smart city staje się coraz bardziej popularna. Jej celem jest poprawa jakości świadczonych usług publicznych i standardu życia mieszkańców oraz usprawnienie działania miasta jako systemu. Technologie wdrażane w inteligentnych miastach znajdują zastosowanie między innymi w budownictwie, infrastrukturze miejskiej, komunikacji miejskiej, gospodarce energetycznej, wodnej i coraz częściej w gospodarce odpadami. Skutkiem ich wdrożenia jest oszczędność energii, sprawniejsze zarządzanie ruchem ulicznym oraz poprawa stanu środowiska naturalnego. To wszystko ma wpływ na bezpieczeństwo i zdrowie mieszkańców miast oraz poziom satysfakcji i spełnienia ich potrzeb. To właśnie ich zadowolenie jest wskaźnikiem dobrze funkcjonującego inteligentnego miasta.

Ciągły rozwój inteligentnych miast jest możliwy dzięki kreatywnemu zarządzaniu, zebranych bazom danych, które usprawniają analizę sytuacji oraz nowoczesnym technologiom, które zwiększają efektywność i jakość proponowanych rozwiązań. Technologie informacyjne i komunikacyjne umożliwiają rozwój współczesnych miast poprzez innowacyjne rozwiązania wykorzystywane w miejskich systemach. Jednym z nich są czujniki, które pozwalają na monitorowanie oraz sterowanie procesami, co pozwala na lepsze zarządzanie miastem oraz minimalizację negatywnego wpływu na środowisko. Ważną technologią wpływającą na rozwój smart city jest Internet Rzeczy (IoT), czyli urządzenia w sieci połączone za pomocą Internetu. Rozwiązania te stosowane są w budownictwie, transporcie, inteligentnych domach, ale także w gospodarce odpadami. Dzięki nim proces segregacji, recyklingu i zarządzania odpadami jest znacznie wygodniejszy i skuteczniejszy. Powstała też baza standardów komunikacji takich jak LoRa, NB-IoT, które poprawiają efektywność urządzeń sensorycznych. To pozwala na dłuższy okres użytkowania wybranych urządzeń oraz ograniczenie zużycia energii. Wraz z rozwojem technologii pojawiają się nowe możliwości takie jak pomiar wypełnienia pojemników na śmieci czy identyfikacja rodzaju odpadów. Wspierają one efektywne zarządzanie wywozem śmieci i ich segregację. Powstają innowacyjne kosze, które zasilane są poprzez panele słoneczne lub posiadają tryb zginiatający odpady, co czyni je bardziej ekologicznymi. Coraz częściej na rynek wprowadzane są również platformy do świadomego zarządzania odpadami takie jak na przykład Clean City Networks.

## ORCID iD

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

## Literatura

1. Albino V., Berardi U., Dangelico R.M. (2015), *Smart Cities: Definitions, Dimensions, Performance, and Initiatives*, Journal of Urban Technology, 22(1), pp. 3-21.
2. AllSeen Alliance (2014), *Open Source IoT to advance the Internet of Everything*, USA.
3. 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.
4. Azkuna I. (2012), *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.
5. Bigbelly (2022), <http://bigbelly.com>
6. Caragliu A., Del Bo Ch., Nijkamp P. (2011), *Smart Cities in Europe*, Journal of Urban Technology, 18(2), pp. 65-82.
7. Cha S., Ruiz M.P., Wachowicz M., (2016), *The role of an IoT platform in the design of real-time recommender systems*, Proceedings of IEEE 3rd World Forum on Internet of Things, USA, pp. 448-453.
8. 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>
9. Crofts A. (2018), *How we saved McDonald's 12%*, [https://enevo.com/BLOG/HOW\\_WE\\_SAVED\\_MCDONALDS\\_12\\_44.HTM](https://enevo.com/BLOG/HOW_WE_SAVED_MCDONALDS_12_44.HTM)
10. Dambal V.A., Mohadikar S., Kumbhar A., Guvenc I. (2019), *Improving LoRa signal coverage in urban and sub-urban environments with UAVs*, International Workshop on Antenna Technology (iWAT), Miami, USA, pp. 210-213.
11. Deutsche Telekom AG (2016), *Narrow Band IoT. Groundbreaking in the Internet of Things report*, [https://www.b2b-europe.telekom.com/downloads/Telekom-B2B-NBIOT\\_whitepaper.pdf?](https://www.b2b-europe.telekom.com/downloads/Telekom-B2B-NBIOT_whitepaper.pdf?)
12. Dohler M., Vilajosana I., Vilajosana X., Llosa J. (2011), *Smart Cities: An action plan*, Proceedings of Barcelona Smart Cities Congress, Barcelona, Spain, pp. 1-6.
13. Dziedzic S. (2015), *Ekologiczne miasta przyszłości. Masdar City – studium przypadku*, Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego, 409, s. 264-276.
14. Eco-market (2018), <https://www.eco-market.pl/>
15. Ecube Labs (2022), <https://www.ecubelabs.com/references/>
16. Ekholm T., Karvosenoja N., Tissari J., Sokka L., Kupiainen K., Sippula O., Savolahti M., Jokiniemi J., Savolainen I. (2014), *A multi-criteria analysis of climate, health and*

- acidification impacts due to greenhouse gases and air pollution - The case of household-level heating technologies*, Energy Policy, 74, pp. 499-509.
17. Enevo (2022a), <https://www.zhaw.ch/en/engineering/institutes-centres/ine/smart-city-guide-main-page/description-of-applications/smart-waste/>
  18. Enevo (2022b), *Technology. We make waste easy and sustainability accessible and costs low*, [https://enevo.com/WASTE\\_ANALYTICS\\_TECHNOLOGY.HTM](https://enevo.com/WASTE_ANALYTICS_TECHNOLOGY.HTM)
  19. European Committee (2009), *ICT for a Low Carbon Economy Smart Buildings*, European Commission, Brussels, Belgium.
  20. Fusco Girad L., Lombardi P., Nijkamp P. (2009), *Creative urban design and development*, International Journal of Services Technology and Management, 13(2/3/3), pp. 111-115.
  21. Giffinger R. (2007), *Smart Cities: Ranking of European Medium-Sized Cities*, Centre of Regional Science.
  22. Gil J. (2018), *Big Belly – ekologiczne i oszczędne kosze na śmieci*, <https://swiatoze.pl/big-belly-ekologiczne-oszczedne-kosze-smieci/>
  23. Glasmeier A., Christopherson S. (2015), *Thinking about Smart Cities*, Cambridge Journal of Regions, Economy and Society, 8(1), pp. 3-12.
  24. Gotlibowska K. (2018), *Propozycja modelu miasta inteligentnego (Smart City) opartego na zastosowaniu technologii informacyjno-komunikacyjnych w jego rozwoju*, Rozwój Regionalny i Polityka Regionalna, 42, s. 67-80.
  25. Hancke G.P., de Carvalho e Silva B., Hancke Jr. G.P. (2013), *The Role of Advanced Sensing in Smart Cities*, Sensors, 13(1), pp. 393-425.
  26. Hollands R. (2008), *Will the Real Smart City Please Stand up?*, City, 12(3), pp. 303-320.
  27. Howell S., Rezgui Y., Beach T. (2017), *Integrating building and urban semantics to empower smart water solutions*, Automation in Construction, 81, pp. 434-448.
  28. Jankowska M. (2015), *Smart city jako koncepcja zrównoważonego rozwoju miasta – przykład Wiednia*, Studia i Prace Wydziału Nauk Ekonomicznych i Zarządzania, 42(2), s. 173-182.
  29. Jedlińska R. (2020), *Inteligentne miasta – wybrane zagadnienia*, w: Budziewicz-Guźlecka A. (red.), *Inteligentne miasta*, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego.
  30. Jonek-Kowalska I. (2018), *Zrównoważony rozwój inteligentnych miast. Dotychczasowe osiągnięcia i nowe wyzwania*, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Seria: Organizacja i Zarządzanie, 118, s. 237-246.
  31. Kałuża W. (2010), *Smart Metering i inne inteligencje*. Elektroenergetyka – Współczesność i Rozwój, 1(3), 93-96.

32. Kaza S., Yao L.C., Bhada-Tata P., Van Woerden F. (2020), *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to2050*, <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317>
33. Kitchin R. (2014), *Making sense of smart cities: Addressing present shortcomings*, Cambridge Journal of Regions. Economy and Society, 8(1), pp. 131-136.
34. Kolenda P. (red.) (2015), *Internet Rzeczy w Polsce*, Raport IAB Polska.
35. Komisja Europejska (2013), *Dobra jakość życia z uwzględnieniem ograniczeń naszej planety*, <http://ec.europa.eu/environment/pubs/pdf/factsheets/7eap/pl.pdf>
36. Komninos N. (2002), *Intelligent Cities: Innovation, Knowledge Systems and Digital Space*, Spon Press, London.
37. Krupanek B., Bogacz R. (2018), *Węzły końcowe systemów Internetu Rzeczy*, Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej, 59, s. 111-116.
38. Lee S.K., Bae M., Kim H. (2017), *Future of IoT Networks: A Survey*, Applied Sciences, 7(10), 1072, pp. 1-25.
39. Letaifa S.B. (2015), *How to strategize smart cities: Revealing the SMART model*, Journal of Business Research, 68, pp. 1414-1419.
40. Lipski J. (2015), *Internet rzeczy w zastosowaniu do sterowania produkcją*, w: R. Knosla (red.), *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji*, Polskie Towarzystwo Zarządzania Produkcją.
41. Lombardi P., Giordano S., Caragiu A., Del Bo C., Deakin M., Nijkamp P., Kourtit K., Farouh H. (2012), *An advanced triple-helix network model for smart cities performance*, [in:] Ozge Y. (ed.), *Green and Ecological Technologies for Urban Planning: Creating Smart Cities*, IGI Global, Hershey.
42. Lora (2015), Application Note #AN1200.22 LoRa™ Modulation Basics, Rev. 2. Semtech., <https://lora-developers.semtech.com/library/product-documents/>
43. LoRa Alliance (2015), *LPWA Technologies Unlock New IoT Market Potential*, *Machina Research*, <https://www.lora-alliance.org/portals/0/documents/whitepapers/LoRa-Alliance-Whitepaper-LPWA-Technologies.pdf>
44. Madakam S., Ramaswamy R., Tripathi S. (2015), *Internet of Things (IoT): A Literature Review*, Journal of Computer and Communications, 3(5), pp. 164-173.
45. McGuiirk J. (2015), *Radykalne miasta. Przez Amerykę Łacińską w poszukiwaniu nowej architektury*, Fundacja BęcZmiana, Warszawa.
46. Mikulik J. (2007), *Wizja bezpiecznego smart city*, Napędy i Sterowanie, 19(6), s. 100-103.
47. Miller M. (2016), *Internet Rzeczy. Jak inteligentne telewizory, samochody, domy i miasta zmieniają świat*, Wydawnictwo Naukowe PWN.

48. Nam T., Pardo T.A. (2014), *The Changing Face of a City Government: A Case Study of Philly311*, *Government Information Quarterly*, 31, pp. S1-S9.
49. Nijkamp P. (2008), *XXQ Factors for sustainable urban development: A systems economics view*, *Romanian Journal of Regional Science*, 2(1), pp. 1-19.
50. Nowicka K. (2014), *Inteligentne systemy transportowe a zarządzanie miastem*, w: M. Bryx (red.), *Innowacje w zarządzaniu miastami w Polsce*, Oficyna Wydawnicza Szkoły Głównej Handlowej w Warszawie.
51. Ntuli N., Abu-Mahfouz A. (2016), A simple security architecture for smart water management system, *Procedia Computer Science*, 83, pp. 1164-1169.
52. Oh M., Larson J.F. (2011), *Digital Development in Korea. Building an information society*, Routledge, London, New York.
53. Osseiran A., Monserrat J.F., Marsch P., Queseth O. (Eds.) (2016), *5G Mobile and Wireless Communications Technology*, Cambridge University Press, pp. 1-48.
54. Pawłowski A. (2017), *Rozwój zrównoważony – największe wyzwanie XXI wieku, Teoria i praxis zrównoważonego rozwoju. 30 lat od ogłoszenia Raportu Brundtland*, Towarzystwo Naukowe Franciszka Salezego.
55. Pichlak M. (2018), *Inteligentne miasta w Polsce – rzeczywistość czy utopia?*, *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Organizacja i Zarządzanie*, 127, s. 191-206.
56. Rogall H. (2010), *Ekonomia zrównoważonego rozwoju. Teoria i praktyka*, Wydawnictwo Zysk i S-ka, Poznań.
57. Röbber S. (2015), *Klimawandelgerechte Stadtentwicklung durch grüne Infrastruktur*, *Raumforschung und Raumordnung*, 73(2), pp. 123-132.
58. Routray S.K., Hussein H.M. (2019), *Narrowband IoT: An appropriate solution for developing countries*, ArXiv.
59. Schaffers H., Komninos N., Tsarchopoulos P., Pallot M., Trousse B., et al. (2012), *Land-scape and Roadmap of Future Internet and Smart Cities*, Technical Report.
60. Schlien J., Raddino D. (2016), *Narrowband Internet of Things*, [https://www.rohdeschwarz.com/fi/applications/narrowband-internet-of-things-white-paper\\_230854-314242.html](https://www.rohdeschwarz.com/fi/applications/narrowband-internet-of-things-white-paper_230854-314242.html)
61. Shareefdeen Z., Elkamel A., Tse S. (2015), *Review of current technologies used in municipal solid waste-to energy facilities in Canada*, *Clean Technologies and Environmental Policy*, 17(7), 1837e1846.
62. Späth P., Rohracher H. (2015), *Conflicting strategies towards sustainable heating at an urban junction of heat infrastructure and building standards*, *Energy Policy*, 78, pp. 273-280.
63. Stawasz D. (2015), *Koncepcja "smart city" a innowacyjne podejście do zarządzania sprawami publicznymi w mieście*, *Ekonomiczne Problemy Usług*, 121, s. 237-253.

64. 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.
65. Stawasz D., Sikora-Fernandez D. (2015), *Zarządzanie w polskich miastach zgodnie z koncepcją smart city*, Placet, Warszawa.
66. Strategic Energy Technologies Information System (2022), <http://setis.ec.europa.eu/about-setis/technology-roadmap/european-initiative-on-smart-cities>
67. Świat Pojemników (2015), *Podziemne pojemniki na odpady*, <https://swiatpojemnikow.pl/wp-content/uploads/2015/12/Pojemniki-podziemne-VConsyst.pdf>
68. Szpilko D. (2020), *Foresight as a Tool for the Planning and Implementation of Visions for Smart City Development*, *Energies*, 13(7), pp. 1-24.
69. Szpilko D., Szydło J., Winkowska J. (2020), *Social Participation of City Inhabitants Versus Their Future Orientation. Evidence From Poland*, *WSEAS Transactions on Business and Economics*, 17, pp. 692-702.
70. Szum K. (2021), *IoT-based smart cities: a bibliometric analysis and literature review*, *Engineering Management in Production and Services*, 13(2), pp. 115-136.
71. Tadokoro H., Onishi M., Kageyama K., Kurisu H., Takahashi S. (2011), *Smart water management and usage systems for society and environment*, *Hitachi Review*, 60(3), pp. 164-171.
72. Tapashetti A., Vegiraju D., Ogunfunmi T. (2016), *IoT-enabled airquality monitoring device: a low cost smart health solution*, 2016 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC), pp. 682-685.
73. 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), pp. 1587-1614.
74. 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*, in: Y. Wu, H. Huang, Ch.-X. Wang, Y. Pan (Eds.), *5G-Enabled Internet of Things*, Taylor & Francis Group, pp. 1-13.
75. 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), pp. 798-803.
76. Wan C., Shen G.Q., Choi S. (2017), *A review on political factors influencing public support for Urban environmental policy*, *Environmental Science & Policy*, 75(C), pp. 70-80.
77. 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), pp. 70-86.



78. Xue X., Zhang R., Zhang X., Yang R.J., Li H., (2015), *Environmental and social challenges for urban subway construction: An empirical study in China*, International Journal of Project Management, 33(3), pp. 576-588.
79. Xylouris A. (2017), *LPWA announcements increased significantly in 2016 and NB-IoT is at the forefront*, Analysys Mason Limited.
80. Zaman A.U., Lehmann S. (2013), *The zero waste index: a performance measurement tool for waste management systems in a 'zero waste city'*, Journal of Cleaner Production, 50, pp. 123-132.
81. 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 supporting municipal waste management in smart city**

### **Abstract**

Cities in the modern world are facing a number of challenges. One of them is the management of municipal waste, the amount of which is growing every year, creating problems related to its collection, selection, recycling or disposal. Smart cities are implementing a number of solutions based on modern technologies to support waste management. The aim of this paper is to identify good practices in the use of modern technologies for waste management in smart cities. The article presents examples of the use of technology, including the Internet of Things, in the practice of municipal waste management. The analysis and characterisation of the technologies is based on a literature review and websites.

### **Key words**

smart city, municipal waste management, Internet of Things, system, technology