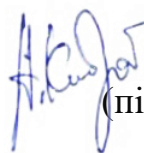


**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**  
**ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**  
**КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА ТЕХНОЛОГІЙ**

До захисту допущено  
Завідувач кафедри ІСТ  
Олександр КУЧАНСЬКИЙ



(підпис)

(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

“\_\_” червня 2022р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА**

спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології»

освітньої програми «Програмні технології інтернет речей»

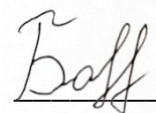
на тему: «Система аналізу та оптимізації маршруту вивозу сміття на базі спеціалізованого комунального підприємства "Київтелесервіс"»

Виконав: студент 4 курсу, групи ІР-41

(шифр групи)

Микола БОРИНЕЦЬ \_\_\_\_\_

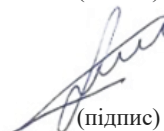
(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)



(підпис)

Керівник к.т.н., доцент Ростислав ЛІСНЕВСЬКИЙ \_\_\_\_\_

(посада, науковий ступінь, вчене звання, Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)



(підпис)

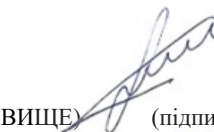
Консультант нормо контроль

к.т.н., доцент Ростислав ЛІСНЕВСЬКИЙ \_\_\_\_\_

(назва розділу)

(посада, вчене звання, науковий ступінь, Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

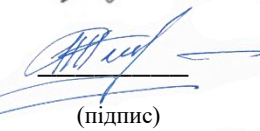
(підпис)



Рецензент директор ТОВ «Ліса Дизайн» Ірина ТИНДИК \_\_\_\_\_

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

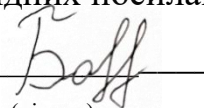
(підпис)



Засвідчую, що у пояснювальна записка не має запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Здобувач освіти \_\_\_\_\_

(підпис)



Київ – 2022 року

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**

**Факультет інформаційних технологій**

Кафедра Інформаційні системи та технології  
Освітній рівень Бакалавр  
Спеціальність 126 Інформаційні системи та технології  
Освітня програма Програмні технології інтернет речей

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
Завідувач кафедри ІСТ  
Олександр КУЧАНСЬКИЙ



«\_\_» \_\_ червня \_\_ 2022 року

**ЗАВДАННЯ**

**НА ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ БАКАЛАВРА**

Здобувач освіти: Микола БОРИНЕЦЬ

Група: ІР-41

**1. Тема кваліфікаційна робота бакалавра:** «Система аналізу та оптимізації маршруту вивозу сміття на базі спеціалізованого комунального підприємства "Київтелесервіс"».

Затверджена протоколом засідання кафедри ІСТ № 05/21\_22 від 03.12.2021 року

**2. Строк подання студентом готової роботи** – «26» червня 2021 р.

**3. Вихідні дані до роботи:** дослідження в області розумного управління відходами. Фізична модель системи аналізу та оптимізації маршруту вивозу сміття. Алгоритм розрахунку передбачуваного наповнення контейнера для сміття. Веб-застосунок для полегшення роботи диспетчера та водіїв транспортної компанії.

**4. Зміст роботи:** РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД І АНАЛІЗ СФЕРИ ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМИ АНАЛІЗУ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ МАРШРУТУ ВИВОЗУ СМІТТЯ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ (проблематика сфери управління відходами, аналіз

існуючих рішень, постановка задачі проектування); РОЗДІЛ 2 ОПИС АРХІТЕКТУРИ СИСТЕМИ АНАЛІЗУ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ МАРШРУТУ ВИВОЗУ СМІТТЯ (проектування фізичної моделі системи аналізу та оптимізації маршруту вивозу сміття, вибір компонентів системи); РОЗДІЛ 3 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ АНАЛІЗУ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ МАРШРУТУ ВИВОЗУ СМІТТЯ (налагодження збору даних, розробка алгоритмів обробки даних, створення інтерфейсу веб-застосунку).

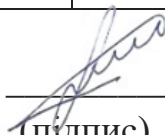
**5. Перелік графічного матеріалу:** схематичне зображення архітектури системи, схема фізичної моделі даних системи, блок-схема алгоритму створення сповіщень, блок-схема алгоритму розрахунку передбачуваного наповнення контейнера для сміття.

**6. Календарний план виконання роботи:**

<b>Етапи виконання кваліфікаційної роботи бакалавра</b>	<b>Термін виконання</b>	<b>Результат виконання</b>
1. Вибір тематики кваліфікаційної роботи бакалавра	до 03.12.2021	виконано
2. Наказ про затвердження тем кваліфікаційної роботи бакалавра та призначення керівників	03.12.2021	виконано
3. Розробка плану кваліфікаційної роботи бакалавра і його погодження з керівником	25.12.2021	виконано
4. Написання I розділу кваліфікаційної роботи	20.01.2022	виконано
5. Написання II розділу кваліфікаційної роботи	19.03.2022	виконано
6. Написання III розділу кваліфікаційної роботи	05.04.2022	виконано
7. Підготовка висновків і пропозицій	05.05.2022	виконано
8. Попередній захист кваліфікаційної роботи	07.06.2022	виконано
9. Перевірка на плагіат	15.06.2022	виконано
10. Нормоконтроль	17.06.2022	виконано
11. Рецензування кваліфікаційної роботи бакалавра і представлення роботи на кафедрі в друкованому вигляді	до 24.06.2022	виконано
12. Захист кваліфікаційної роботи бакалавра	24.06.2021	

Дата видачі завдання «03» грудня 2022 р.

Керівник роботи: к. т. н., доцент Ростислав ЛІСНЕВСЬКИЙ



(підпис)

Завдання прийняв до виконання:

Здобувач освіти на освітньому рівні «бакалавр» 4-го курсу групи ІР-41

Микола БОРИНЕЦЬ  
(Власне Ім'я, ПРИЗВИЩЕ)



(підпис)

**АНОТАЦІЯ**  
**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА**  
**ШЕВЧЕНКА**

Факультет інформаційних технологій  
Кафедра Інформаційних систем та технологій  
Освітня програма «Програмні технології інтернет речей»

Кваліфікаційна робота бакалавра Миколи БОРИНЦЯ

**Тема роботи:** «Система аналізу та оптимізації маршруту вивозу сміття на базі спеціалізованого комунального підприємства "Київтелесервіс"».

**Мета кваліфікаційної роботи бакалавра** – проектування та розробка системи аналізу та оптимізації маршруту вивозу сміття на базі спеціалізованого комунального підприємства "Київтелесервіс", розробка веб-застосунку для полегшення роботи диспетчера та водіїв транспортної компанії.

**Об'єкт дослідження** – елементи та складові системи автоматизації, побудованої на базі технологій та ресурсів, доступних на підприємстві "Київтелесервіс".

**Предмет дослідження** – розробка веб-застосунку для реалізації користувацького інтерфейсу системи аналізу та оптимізації маршруту вивозу сміття.

**Апробація результатів.** Було подано тези доповідей на VIII Міжнародну науково-технічну Internet-конференцію «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами», що відбулася 26 листопада 2021 року.

**Кваліфікаційна робота бакалавра складається** зі змісту, вступу, основної частини, яка включає три розділи, висновків, списку використаних джерел та додатків. Всього 63 сторінки.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** система, сміття, контейнер, давач, маршрут, координати, LoRaWAN, мережевий сервер, сервер застосунків, застосунок.

**Власні публікації:**

1) Боринець М.О., Лісневський Р.В. Автоматизована система аналізу та оптимізації маршруту вивезення побутових відходів на базі комунального підприємства. «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами»: матеріали VIII Міжн. наук.-тех. конф., 26 лист. 2021 р. Київ : НУХТ. С. 70.

## ANNOTATION

TARAS SHEVCHENKO NATIONAL UNIVERSITY OF KYIV

Faculty of Information Technology

Department of Information Systems and Technologies

Educational program “Software technologies of the Internet of Things”

Qualification work of bachelor Mykola BORYNETS

**The theme of the work** is “System of analysis and optimization of the garbage removal route on the basis of the specialized municipal company "Kyivteleservice”“.

**The purpose of the bachelor's qualification work** – design and development of a system for analysis and optimization of the garbage collection route on the basis of the "Kyivteleservice" specialized utility company, development of a web application to facilitate the work of the dispatcher and drivers of the transport company.

**The object of research** – the elements and components of the automation system, built on the technology and resources available at the "Kyivteleservice" company.

**Subject of research** – development of a web application for the implementation of the user interface of the system of analysis and optimization of the garbage collection route.

**Approbation of results.** Abstracts were submitted to the VIII International Scientific and Technical Internet Conference "Modern Methods, Information, Software and Technical Support of Management Systems of Organizational, Technical and Technological Complexes", which took place on November 26, 2021.

**The bachelor's qualification work consists of** a table of contents, introduction, main part, which includes three sections, conclusions, a list of sources and appendices. Total number of pages is 63.

**KEY WORDS:** system, garbage, container, sensor, route, coordinates, LoRaWAN, network server, application server, application.

### **Own publications:**

1) Боринець М.О., Лісневський Р.В. Автоматизована система аналізу та оптимізації маршруту вивезення побутових відходів на базі комунального

підприємства. «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами»: матеріали VIII Міжн. наук.-тех. конф., 26 лист. 2021 р. Київ : НУХТ. С. 70.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	10
1. Огляд і аналіз сфери застосування системи аналізу та оптимізації маршруту вивозу сміття. Постановка задачі.....	12
1.1. Сфера застосування системи аналізу та оптимізації маршруту вивозу сміття.....	12
1.2. Огляд існуючих аналогів систем розумного управління відходами... 14	
1.2.1. BrighterBins Smart Platform.....	14
1.2.2. Sensoneo Waste Collection Route Planning Solution. ....	18
1.2.3. Ecube Labs CleanCityNetworks. ....	21
1.2.4. Порівняння розглянутих аналогів. ....	24
1.3. Постановка задачі.....	25
Висновки до розділу 1. ....	27
2. Опис архітектури системи аналізу та оптимізації маршруту вивозу сміття.....	28
2.1. Мережа LoRaWan. ....	28
2.2. Вибір датчиків рівня наповнення контейнерів для сміття. ....	32
2.2.1. BrighterBins Fill-level detector.....	32
2.2.2. Dingtek DF703 Waste Bin Detector. ....	33
2.2.3. Netvox R718X Waste Bin Detector. ....	34
2.2.4. Тестування розглянутих датчиків.....	35
2.2.5. Результати порівняння датчиків. ....	37
2.3. Програмне забезпечення.....	38
2.3.1. Мережевий сервер ThingPark Enterprise. ....	38
2.3.2. Сервер застосунків ThingsBoard. ....	39
2.4. Загальна архітектура системи аналізу та оптимізації маршруту вивозу сміття. ....	39
Висновки до розділу 2. ....	41
3. Програмна реалізація системи аналізу та оптимізації маршруту вивозу сміття. ....	42
3.1. Фізична модель даних .....	42
3.2. Збір та обробка даних ультразвукових датчиків. ....	43
3.3. Розрахунок маршруту вивезення сміття. ....	47

3.4. Створення графічного інтерфейсу системи аналізу та оптимізації маршруту вивозу сміття. ....	49
3.5. Огляд отриманих результатів.....	52
3.5.1. Застосунок диспетчера транспортної компанії.....	52
3.5.2. Застосунок водія сміттєвоза.....	59
Висновки до розділу 3. ....	60
ВИСНОВКИ.....	61
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ.....	64
ДОДАТКИ.....	67

## ВСТУП

**Актуальність теми.** На сьогоднішній день, коли весь світ бореться за збереження екології навколишнього середовища, проблема засмітнення великих міст є однією з найбільш актуальних. Однією з першопричин цього є несвоєчасне спустошення сміттєвих контейнерів, через що сміття потрапляє за його межі та формує так звані «стихійні звалища». Окрім того, неправильне використання ресурсів автомобіля при вивозі сміття також призводить до збільшення шкідливих викидів в атмосферу та фінансових витрат, яких можна уникнути.

Технології інтернету речей є одним із доступних та ефективних засобів вирішення цих проблем. Зокрема, вдалим рішенням може стати система, що буде об'єктивно оцінювати загальну картину наповнення контейнерів та автоматично створювати маршрут їх вивозу, що буде оптимальним з точки зору ефективності спустошення та витрат часу на поїздку.

Саме тому, згідно з актуальністю проблеми, була сформульована **мета роботи**: проектування та розробка системи аналізу та оптимізації маршруту вивозу сміття на базі спеціалізованого комунального підприємства "Київтелесервіс", розробка веб-застосунку для полегшення роботи диспетчера та водіїв транспортної компанії.

**Об'єкт дослідження:** елементи та складові системи автоматизації, побудованої на базі технологій та ресурсів, доступних на підприємстві "Київтелесервіс".

**Предмет дослідження:** розробка веб-застосунку для реалізації користувацького інтерфейсу системи аналізу та оптимізації маршруту вивозу сміття.

*Для досягнення мети необхідно:*

- провести аналіз сфери застосування систем аналізу та оптимізації маршруту вивозу сміття;
- дослідити особливості та ресурси спеціалізованого комунального

підприємства «Київтелесервіс», які потрібно врахувати при проектуванні системи;

- розробити фізичну модель системи аналізу та оптимізації маршруту вивозу сміття;
- підібрати компоненти системи згідно розробленої фізичної моделі;
- розробити алгоритм обробки даних, включно з прогнозування наповнення контейнерів та створення маршруту їх вивозу;
- реалізувати графічний веб-інтерфейс користувача.

### **Апробація результатів роботи**

Було подано тези доповідей на VIII Міжнародну науково-технічну Internet-конференцію «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами», що відбулася 26 листопада 2021 року [22].

# **1. ОГЛЯД І АНАЛІЗ СФЕРИ ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМИ АНАЛІЗУ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ МАРШРУТУ ВИВОЗУ СМІТТЯ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ.**

## **1.1. Сфера застосування системи аналізу та оптимізації маршруту вивозу сміття.**

Проблема контролю за вивезенням сміття є актуальною для будь-якого міста. Згідно з даними міністерства розвитку громад та територій України за 2020 рік у країні утворилося майже 54 млн. м<sup>3</sup> (10 млн. тон) побутових відходів, і кожного року це значення зростає [1].

Окрім регулярного збільшення об'ємів сміття також малоефективним є процес його транспортування до спеціальних полігонів чи звалищ. Механізм управління таким процесом у більшості випадків не передбачає використання високих технологій. Оцінка необхідності спустошення смітника здійснюється згідно з досвідом, що накопичується роками, тобто ґрунтується на чистих статистичних даних і маршрут руху сміттевозу завжди залишається незмінним. Як наслідок, витрачається зайвий час та ресурси на обслуговування напівпорожніх чи переповнених баків, про що в тому числі може свідчити середній показник зношеності спецавтотранспорту на рівні 62% у 2020 році.

Іншою нагальною проблемою є питання своєчасності вивезення сміття, оскільки об'єм, який можуть вмістити контейнери, є обмеженим, а потік відходів завжди є безперервним. Якщо контейнери будуть переповненими, то сміття почне накопичуватися вже навколо них, що не лише викликає порушення екологічної ситуації навколо, а й значно ускладнює роботу бригади, що займається вивозом сміття. У свою чергу, це призводить до зайвих витрат людського ресурсу та часу, що виливається у небажані фінансові витрати, яких компанія могла б уникнути, забезпечивши контроль за своєчасністю спустошення контейнерів.

Технології Інтернету речей здатні вирішити усі зазначені проблеми. Їх

використання дозволяє не лише автоматизувати процес вивезення сміття, а й зробити його гнучким, динамічним та контрольованим.

Існує багато напрямків технологій, пов'язаних з розумним управлінням відходів. Одним із найпопулярніших варіантів реалізації такого підходу є використання давачів, що вказують рівень наповнення контейнера сміттям[2]. Зазвичай подібні давачі не вимірюють власне об'єм сміття, а тільки показники, які дозволяють його розрахувати. Тому вони не є самостійними пристроями, а потребують додаткових хмарних сервісів, що будуть проводити розрахунки.

Найбільш популярною реалізацією є використання давачів, що вимірюють відстань до сміття за допомогою лазерної чи ультразвукової сенсорики та дозволяють оцінити об'єм сміття на основі габаритів сміттевого баку. Такий сценарій є найпростішим та підходить для всіх видів твердих відходів на відміну від використання давачів ваги, які потребують знання щільності відходів та не можуть забезпечити точне вимірювання об'єму сміття.

Зібрані дані дозволяють виявляти закономірності наповнення контейнерів, робити прогнози чи контролювати частоту та якість вивозів сміття, що дозволяє більш обґрунтовано планувати як часто здійснювати вивіз з кожної локації. Деякі давачі також дозволяють виявити пожежу в контейнері за показником температури чи перекидання за допомогою акселерометру.

Більш технологічним рішенням є розумні смітники, які не тільки містять сенсори, а й здатні сортувати сміття чи спресовувати його для зменшення об'єму, що також оптимізує роботу сміттевозів, дозволяючи спустошити більше контейнерів з використанням меншої кількості автомобільної техніки. Для автоматичного сортування сміття використовуються технології штучного інтелекту, що допомагають розпізнати тип сміття та направити його у відповідний відсік [3]. Подібні рішення є більш дорогими у реалізації, але дозволяють значно зекономити кошти на великому проміжку часу.

Вершиною технологій у сфері управління та логістики відходів є

використання пневматичних підземних транспортних тунелів, що дозволяють відходам потрапляти напряму з контейнерів до складів зберігання чи заводів для переробки сировини. Подібні транспортні термінали були встановлені в Амстердамі з використанням стійких до корозії трубопровідних мереж, через які сміття за допомогою потоків повітря направляються до центрів переробки[4]. Таке рішення має найбільший рівень технологічної складності, але при цьому є найбільш оптимальним з точки зору логістики відходів, оскільки повністю виключає потребу у використанні сміттевозів, що у свою чергу дозволяє також покращити стан екології міста завдяки відсутності викидів горючих матеріалів, гучних звуків та можливості живлення від сонячних батарей.

## **1.2. Огляд існуючих аналогів систем розумного управління відходами.**

Для розуміння принципів побудови та функціонування майбутньої системи важливим є вивчення вже існуючих її аналогів. У даному пункті буде розглянуто три відомих платформи для розумного управління відходами, що дозволяють будувати маршрут для вивезення сміття та вже використовуються у багатьох великих містах, де активно розвиваються технології Інтернету речей.

### ***1.2.1. BrighterBins Smart Platform.***

Рішення бельгійської компанії BrighterBins поєднує у собі лазерні давачі рівня наповненості контейнера власного виробництва та платформу із застосуванням для перегляду даних, планування маршруту та відстеження його виконання за допомогою трекерів GPS [5]. Дана платформа вже використовується такими країнами як Естонія, Бельгія, Фінляндія, Швеція, Німеччина, Канада, Англія, Індія, Австралія та багатьох інших [6].

Використання такої системи дозволяє заощадити до 50% коштів на процесі збору сміття [7].

Окрім простих ультразвукових датчиків можуть використовуватися також лазерні, що дозволяють будувати 3Д модель поверхні сміття та більш точно розраховувати його об'єм у смітнику. Датчики здатні передавати дані за допомогою технологій Sigfox, NB IoT, LoRa, чи GSM, які за допомогою відкритого API передаються до платформи для подальшого аналізу та відображення.

Застосунок містить вкладки мапи, планування маршрутів, сповіщень, водіїв та чату.

Платформа дозволяє розподіляти контейнери за типом сміття. На головній сторінці міститься мапа з позначеними на ній сміттєвими баками, відсортовані сповіщення та список водіїв. В залежності від наповненості та стану сенсору відображаються сповіщення про повне заповнення, переповнені контейнери, сміття навколо та датчики, що не виходять на зв'язок. Також відображаються водії, що знаходяться у дорозі, в депо чи стоять на місці (рис. 1.1).

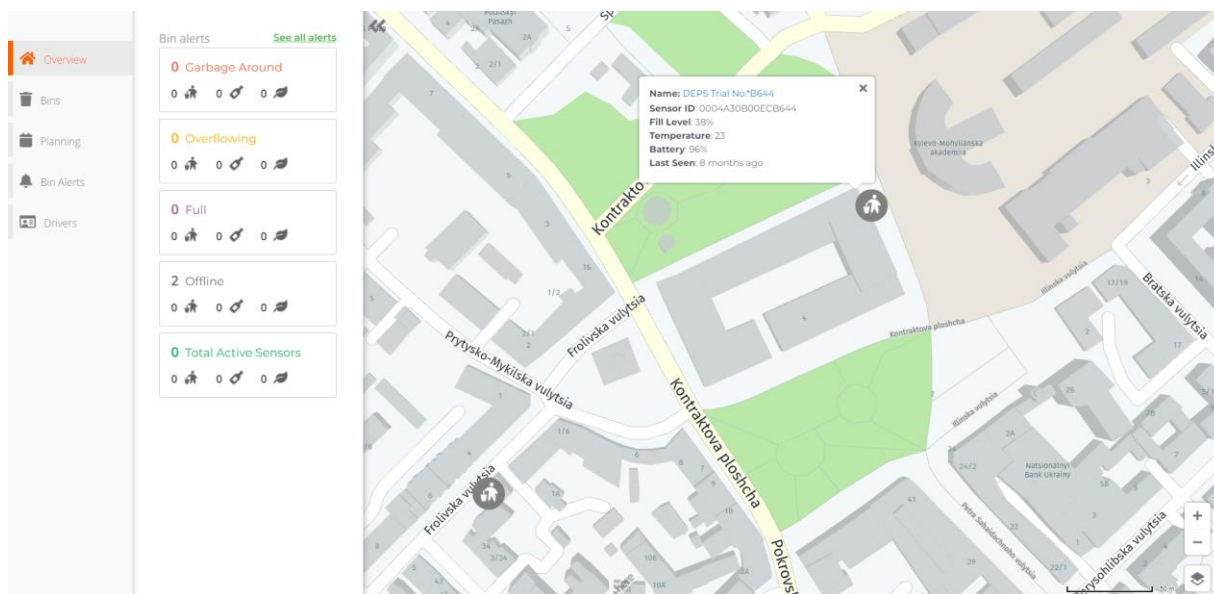


Рисунок 1.1 – Головна сторінка BrighterBins Smart Platform

На вкладці сповіщень відображаються усі контейнери та їх стан. Окрім поділу за типом сміття та станом існує можливість прив'язки до певного

району. Обравши зі списку необхідні контейнери можна власноруч створити маршрут для їх вивезення (рис. 1.2). Обрані контейнери можна додати до існуючого маршруту чи створити новий. Після вибору водія система розраховує маршрут, додає його до плану та надсилає водію.

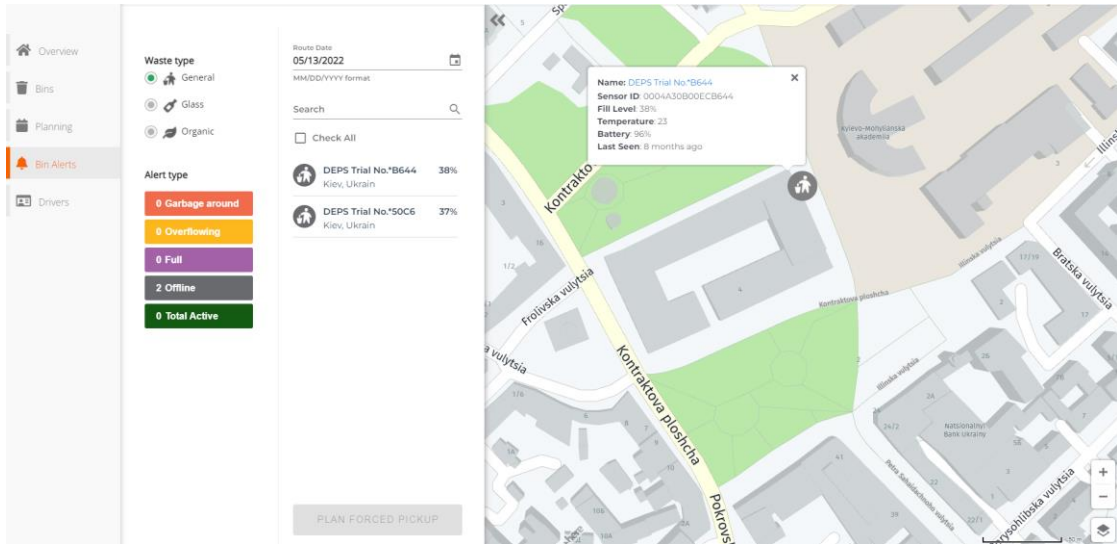


Рисунок 1.2 – Сповіщення у BrighterBins Smart Platform

Усі створені маршрути відображаються на панелі планування у вигляді календаря. Окрім маршрутів, створених вручну, система автоматично генерує маршрут для всіх контейнерів, передбачуване заповнення яких досягатиме заданої межі на момент вивезення (рис. 1.3).

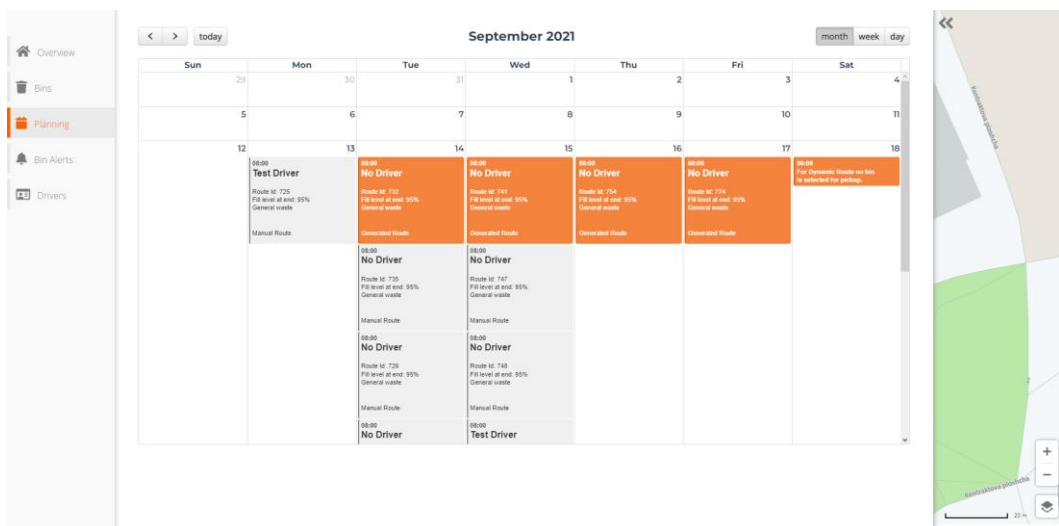


Рисунок 1.3 – Календар планування маршрутів вивезення сміття BrighterBins Smart Platform

Згідно з інформацією розробників, передбачення наповненості здійснюється на основі показників за попередній тиждень. Кожний маршрут можна переглянути на мапі та відредагувати у разі необхідності (рис. 1.4).

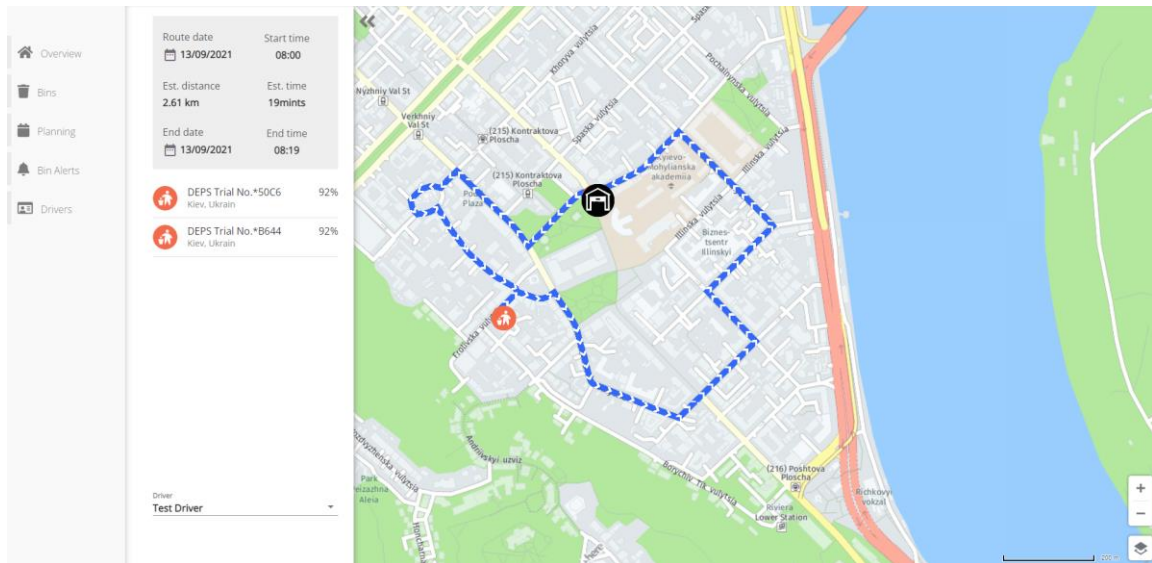


Рисунок 1.4 – Маршрут вивезення сміття BrighterBins Smart Platform

Для взаємодії диспетчера та водіїв використовується чат, куди водій може сповістити про перешкоди, що заважають виконанню роботи та прикріпити зображення для уточнення (рис. 1.5).

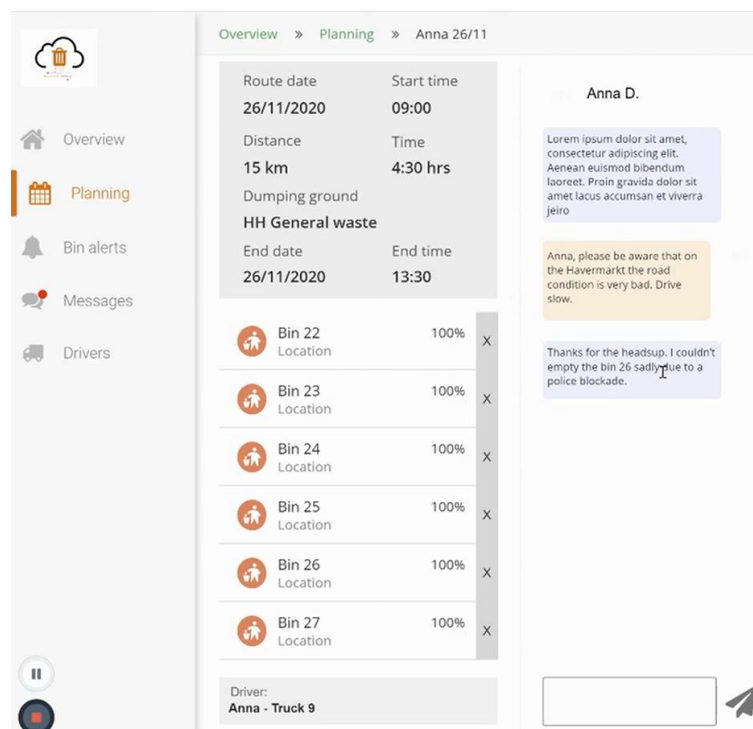


Рисунок 1.5 – Чат для взаємодії оператора з водіями у BrighterBins Smart Platform

### 1.2.2. Sensoneo Waste Collection Route Planning Solution.

Словацька компанія Sensoneo надає розумні рішення для управління відходами для міст і підприємств, щоб ефективно керувати життєвим циклом відходів і покращувати навколишнє середовище та добробут людей [8].

Рішення Sensoneo Route Planning дозволяє оптимізувати та автоматизувати планування маршрутів збору сміття. Воно поєднує в собі розумну систему управління відходами, що отримує дані з розумних датчиків чи міток, та програму для навігації водія. Система підтримує такі технології передачі даних як 4G, LTE, NB-IoT, LoRaWAN, GSM, SigFox чи CAT-M1 [9].

Усі контейнери відображаються на мапі, на якій можна побачити їх за допомогою функції перегляду вулиць від Google. Позначки на мапі мають вигляд зелених, оранжевих або червоних кіл. Число в колі означає останній вимір у відсотках. Також у таблиці відображається адреса розташування, тип сміття та наповненість за останній тиждень (рис. 1.6). Система передбачає, коли кожен контейнер буде заповненим на основі цих даних.

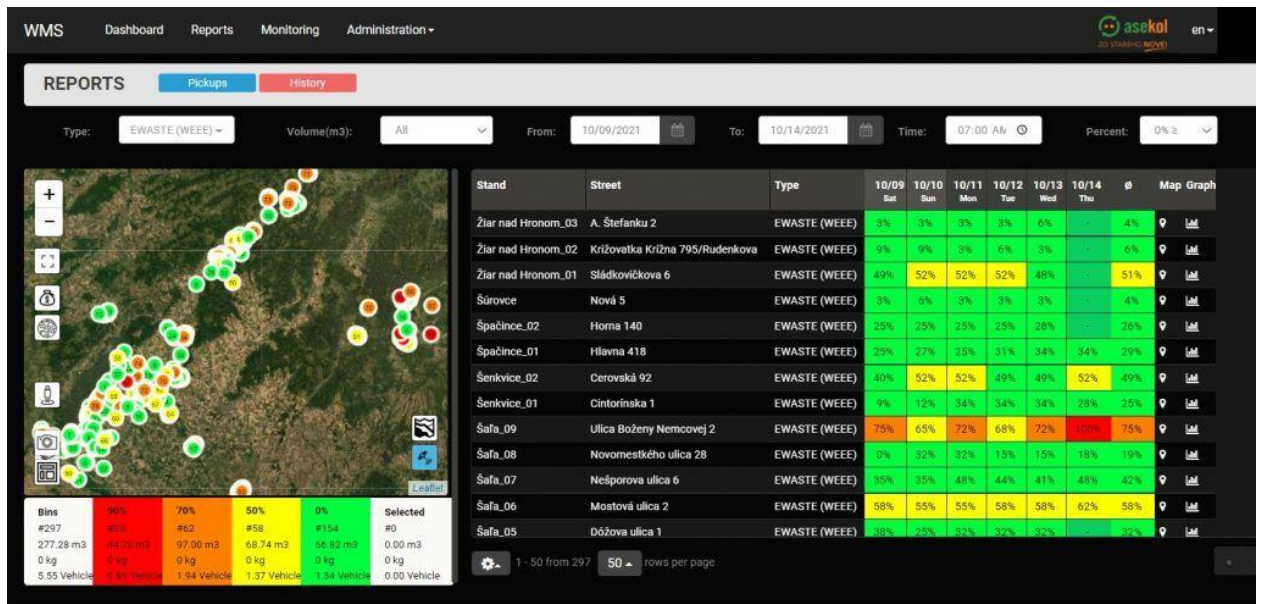


Рисунок 1.6 – Дашиборд оператора системи Sensoneo Route Planning

Для розрахунку маршруту визначається середня відстань на відрізок депо-контейнер-звалище і присвоюється рейтинг від 1 до 10, який використовується для визначення оптимального шляху.

В окремій таблиці відображаються вивезення кожного контейнеру за останній тиждень (рис. 1.7). Також можна переглянути наповненість на момент вивозу, щоб контролювати ефективність роботи сміттевозів (рис. 1.8). Значення більше 80% автоматично підсвічується як позитивне.

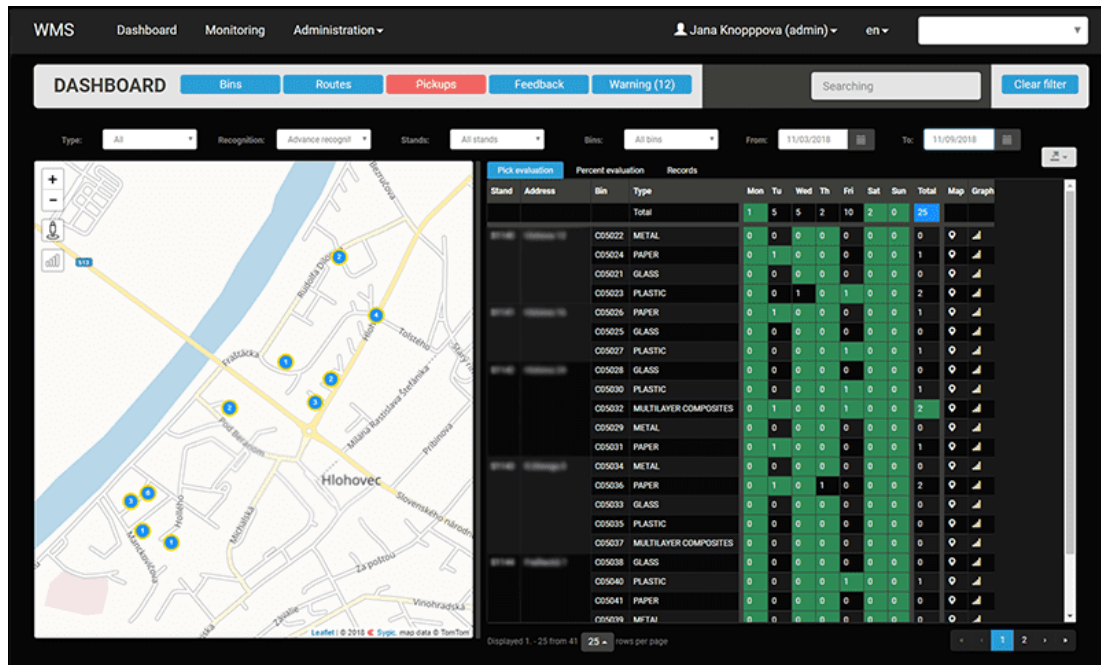


Рисунок 1.7 – Таблиця вивозів сміття з баків у системі Sensoneo Route Planning

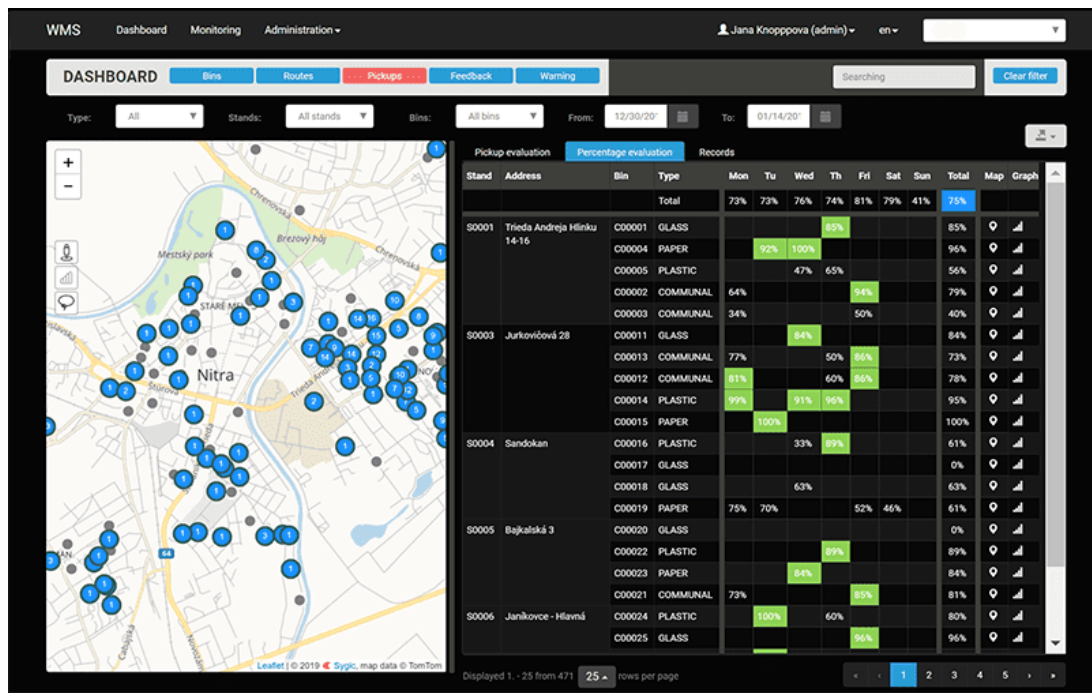


Рисунок 1.8 – Таблиця наповненості на момент вивозу у системі Sensoneo Route Planning

Формування маршруту є напівавтоматичним, оскільки необхідно самостійно обрати контейнери на основі показників поточного та прогнозованого наповнення. Інформація про кожний маршрут відображено у таблиці. Також можна переглянути запланований маршрут та порівняти його із фактичним маршрутом автомобіля, які позначаються різними кольорами (рис. 1.9).

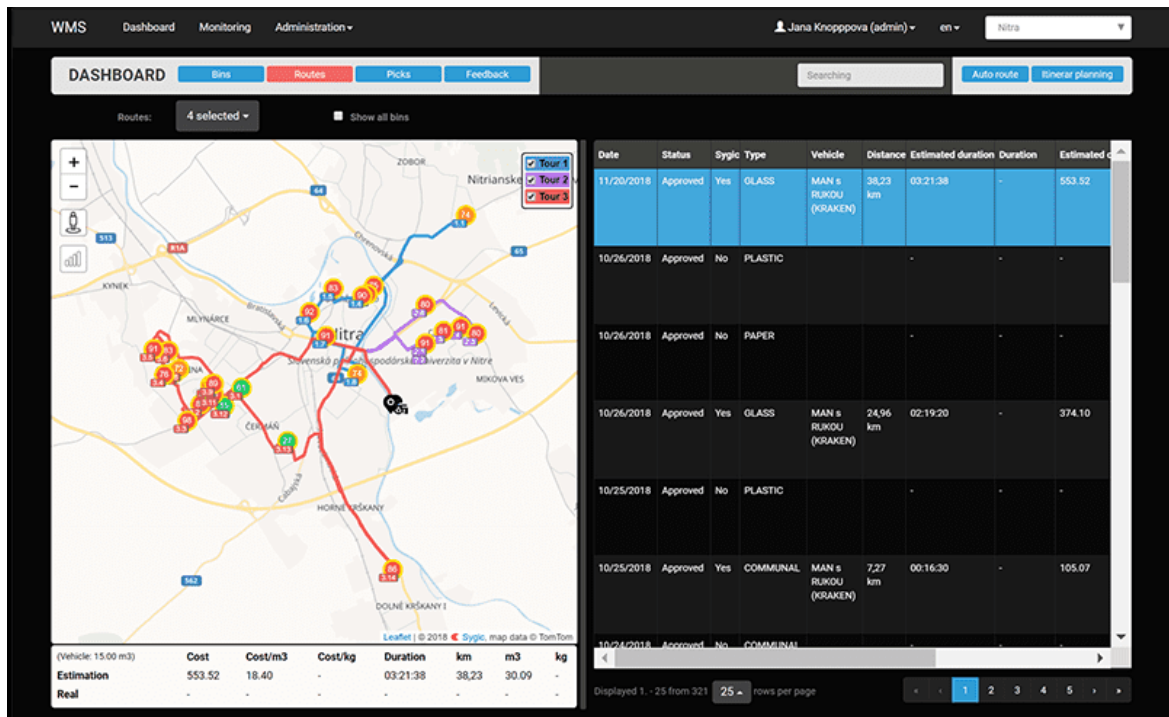


Рисунок 1.9 – Таблиця маршрутів у системі Sensoneo Route Planning

Система дозволяє також створювати декілька депо, до яких прив'язані машини та сміттєзвалища. Кожна машина має показники вартості за кілометр, м<sup>3</sup> сміття чи за годину, або фіксовану вартість (рис. 1.10), які використовуються для розрахунку вартості маршруту, враховуючи його тривалість, протяжність, об'єм та вагу сміття. На практиці використання даної системи дозволяє зменшити грошові витрати до 30% [7]. Також вказуються параметри часу, у який може працювати конкретний транспортний засіб, що будуть використані при розрахуванні маршруту.

The image shows a 'Vehicle' configuration window with the following fields and values:

Field	Value
Name	
Depot	NKS
Cost per km	0
Cost per hour	0
Fixed cost	0
Available from	07:00
Available to	16:00
Type	Standard
Description	

*Рисунок 1.10 – Параметри транспортного засобу в системі Sensoneo Route Planning*

### ***1.2.3. Ecube Labs CleanCityNetworks.***

Платформа CleanCityNetworks (CCN) південнокорейської компанії Ecube Labs надає середовище моніторингу, розумну інформаційну панель, аналітику та центр керування в одному пакеті.

Система використовує контейнери для сміття того ж виробника, що працюють на сонячних батареях, пресують сміття для зменшення його об'єму та мають сенсори, які вимірюють рівень наповненості та передають дані до платформи. Для передачі даних можуть використовуватися технології 3G/2G, LoRaWAN чи NB-IoT [10].

Платформа CCN надає стандартну інтерактивну мапу із відображенням контейнерів та кольоровою індикацією рівня їх наповненості, яка працює тільки для обраних за допомогою фільтрів контейнерів. Інші позначені на мапі мітками сірого кольору (рис. 1.11).

Маршрут формується для усіх обраних контейнерів після встановлення мітки місця відправлення (рис. 1.12). При цьому кінцева точка маршруту не задається і маршрут не повертається до початку, що є суттєвим недоліком,

оскільки для прямування до звалища доведеться користуватися іншими засобами навігації. Також немає можливості зберегти маршрут чи надіслати його водію. За таким сценарієм водій має сам формувати маршрут безпосередньо перед виїздом.

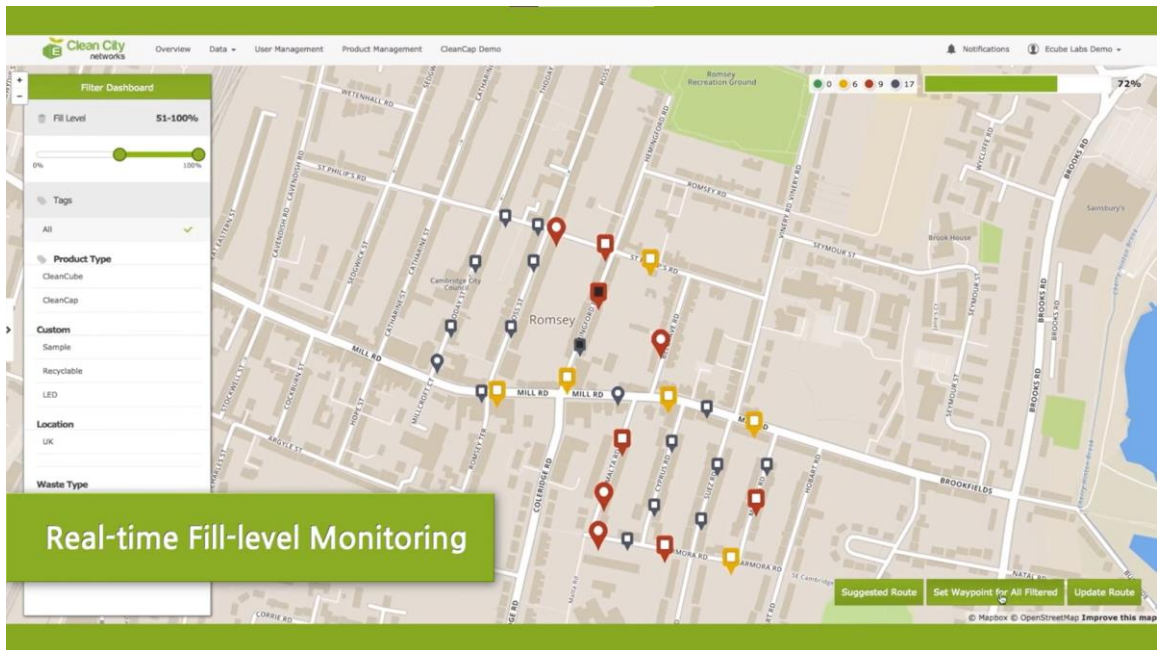


Рисунок 1.11 – Фільтрування контейнерів у платформі CCN

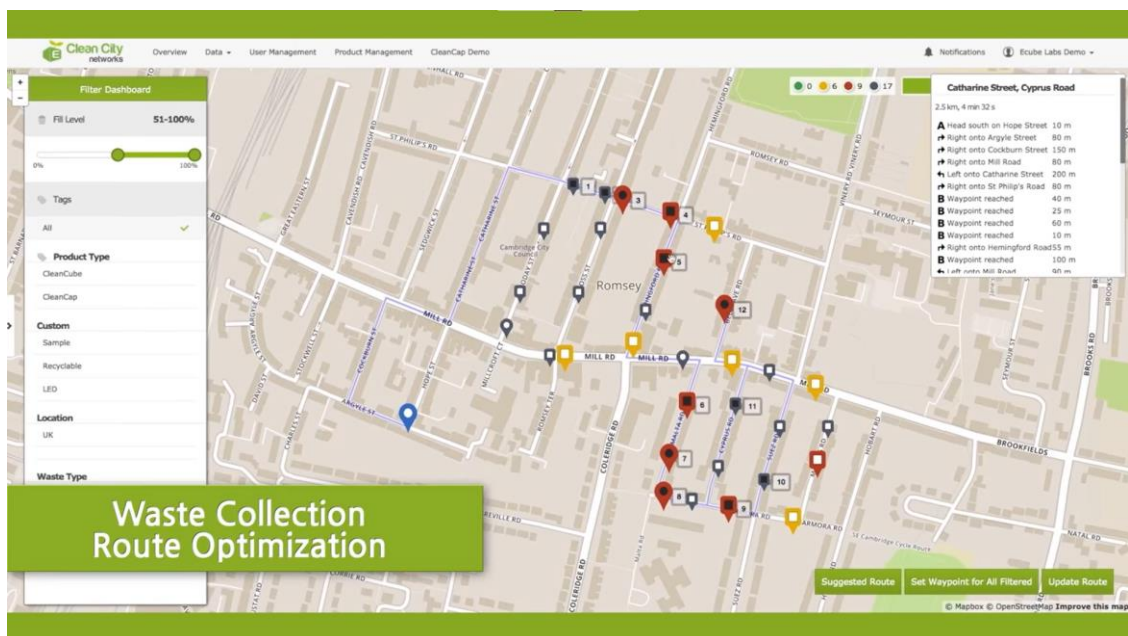


Рисунок 1.12 – Маршрут збору сміття у платформі CCN

Перевагою використання побудови маршруту на даній платформі є детальний покроковий опис та можливість змінити його у будь-який момент часу.

Особливістю платформи є можливість змінити налаштування параметрів роботи сенсорів та механізмів контейнера безпосередньо з програми у режимі реального часу (рис. 1.13).

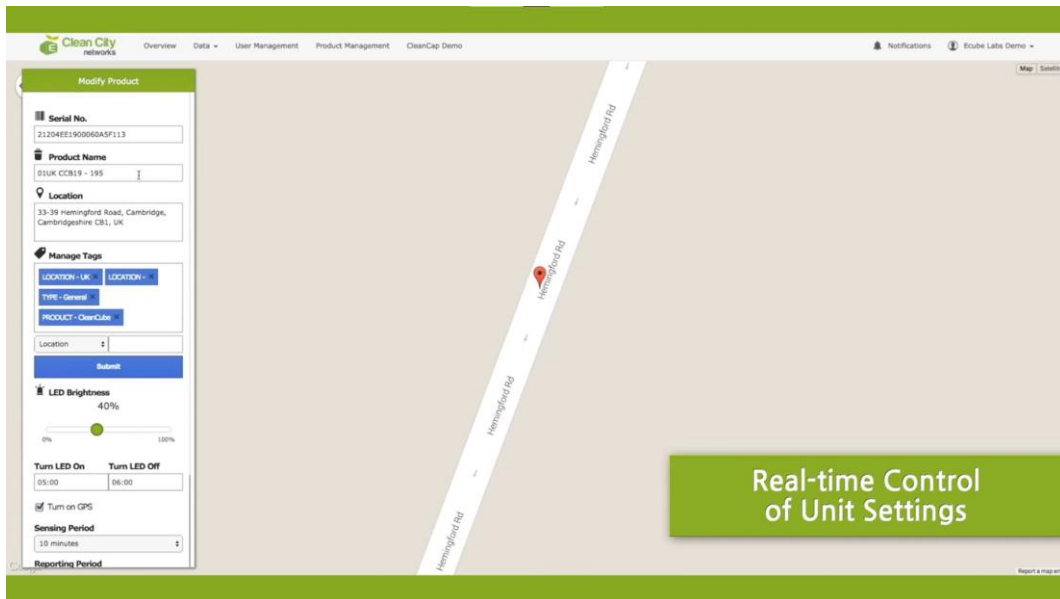


Рисунок 1.13 – Налаштування роботи сенсорів у платформі CCN

У розділі статистики можна переглянути середній час роботи контейнерів без збоїв, розподіл їх за наповненістю, кількість вивозів та середній час між ними для обраної групи (рис. 1.14).

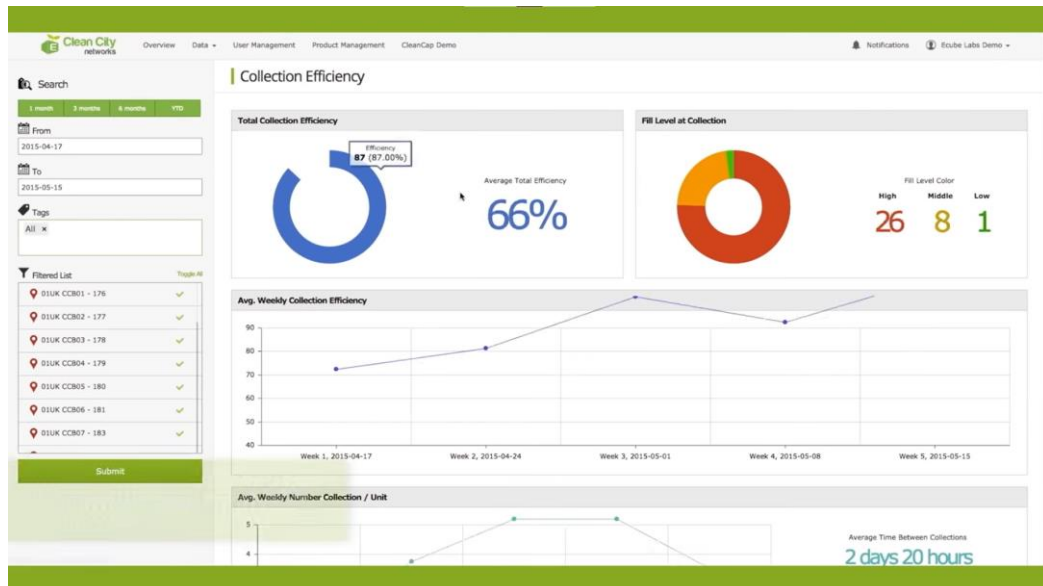


Рисунок 1.14 – Розділ статистики у платформі CCN

Також окрім звичної історії вивозів, платформа зберігає історію аварій та відмов кожного контейнера (рис. 1.15), що допомагає вчасно їх виправляти.

Reference No.	Description	Serial No.	Breakdown Type	Date
BA20150417	01UK CCB22 - 198	21204EE12000CSA7958	Battery	2015-04-17 16:56:31
PH20150418	01UK CCB03 - 178	21204EE13000996B294C	Photo	2015-04-18 16:40:32
ST20150419	01UK CCB08 - 184	21204EE180000E99FC4	Standby	2015-04-19 15:43:47
BA20150420	01UK CCB20 - 196	21204EE1000032541A74	Battery	2015-04-20 14:16:30
SA20150421	01UK CCB06 - 181	21204EE16000E901DDC3	Safety	2015-04-21 13:33:16
ST20150422	01UK CCB32 - 208	21204EE12000CS414A19	Standby	2015-04-22 13:19:04
EN20150423	01UK CCB14 - 190	21204EE140001E148DAE	Encoder	2015-04-23 11:51:15
SL20150424	01UK CCB01 - 176	21204EE1100077654860	Sleep	2015-04-24 11:07:43
BA20150425	01UK CCB15 - 191	21204EE1500069138038	Battery	2015-04-25 10:57:59
DO20150426	01UK CCB02 - 177	21204EE12000E66C19DA	Door	2015-04-26 10:09:36
FI20150427	01UK CCB28 - 204	21204EE180003C9F9246	Fire	2015-04-27 08:32:48
DO20150428	01UK CCB16 - 192	21204EE16000F01AECB2	Door	2015-04-28 08:02:38
ST20150429	01UK CCB04 - 179	21204EE14000070FBCF	Standby	2015-04-29 07:03:16
SA20150430	01UK CCB10 - 186	21204EE1000019794987	Safety	2015-04-30 05:59:55
DO20150501	01UK CCB13 - 189	21204EE1300080701800	Door	2015-05-01 05:34:48
SA20150502	01UK CCB18 - 194	21204EE1800017A2C185	Safety	2015-05-02 05:04:29
PH20150503	01UK CCB05 - 180	21204EE1500070088C79	Photo	2015-05-03 04:10:05
DO20150504	01UK CCB17 - 193	21204EE17000871DDC14	Door	2015-05-04 02:43:29
BA20150505	01UK CCB29 - 205	21204EE190004888A2D0	Battery	2015-05-05 02:38:04
SL20150506	01UK CCB19 - 195	21204EE1900060A5F113	Sleep	2015-05-06 01:03:57
UP20150507	01UK CCB07 - 183	21204EE170009E06ED55	Upper limit	2015-05-07 00:36:49
ST20150507	01UK CCB24 - 200	21204EE1400035390E60	Standby	2015-05-07 23:32:46
EN20150508	01UK CCB11 - 187	21204EE14000433E6E68	Encoder	2015-05-08 23:13:40

Рисунок 1.15 – Історія аварій контейнерів у платформі CCN

#### 1.2.4. Порівняння розглянутих аналогів.

Проаналізувавши та порівнявши аналоги систем розумного управління відходами (додаток А), можна побачити, що основні їх компоненти є схожими між собою та відрізняються окремими деталями. Такі системи використовують ультразвукові чи лазерні давачі, що вимірюють відстань від верхньої частини контейнера до самого сміття. На основі цих вимірів та висоти контейнера на програмній платформі розраховується наповненість у відсотках. Іноді додатково використовуються давачі ваги для обрахунку вартості маршруту вивозу.

Кожна платформа містить мапу з позначеними на ній контейнерами для сміття та актуальною інформацією про їх стан, що окрім поточної наповненості може включати прогнозовану наповненість, тип сміття, останню активність давача та графік наповнення за певний проміжок часу. Для зручності вони можуть бути розбиті на групи за районами міста, до якого належать. Також на карті може відображатися депо сміттевозів та полігон сміттєзвалища для зручності орієнтування.

Найбільше відмінностей зустрічається у механізмі побудови маршруту для вивозу сміття. Існують варіанти як з повною автоматизацією планування, так і з ручною роботою диспетчера з урахуванням рекомендацій програми. Для автоматичної побудови маршруту системою проводиться розрахунок передбачуваного наповнення контейнера з використанням даних на проміжку за попередні 7 днів, після чого визначаються контейнери, що підлягають вивозу у запланований час. При цьому в окремих випадках додатково можуть враховуватися характеристики сміттевозів, оскільки деякі з них можуть бути розраховані на менший об'єм сміття, ніж можуть містити всі контейнери при їх повному заповненні.

Важливою для систем, розрахованих саме на оптимізацію маршруту є можливість контролювати процес роботи сміттевоза на цьому маршруті. Досліджені у попередньому розділі системи використовують для цього такі елементи як історія вивозів по кожному контейнеру, порівняння запланованого маршруту з реальним за допомогою GPS трекерів, встановлених на сміттевозах та механізми зворотного зв'язку з водіями, такі як чат чи можливість завантажити фотографію з об'єкта та коментар. Для кращого розуміння економії ресурсів використовується розрахункова вартість маршруту з урахуванням витрат пального та часу, що займає маршрут.

### **1.3. Постановка задачі.**

Оскільки система створюється на базі конкретного комунального підприємства, важливим є врахування усіх його потреб, можливостей та особливостей роботи в напрямку.

Спеціалізоване комунальне підприємство «Київтелесервіс» належить до комунальної структури міста Київ та підпорядковується Департаменту інформаційно-комунікаційних технологій виконавчого органу Київської міської ради [11]. Основним напрямком діяльності є надання телекомунікаційних послуг в межах міста, в тому числі в напрямку підтримки

та розгортання мереж Інтернету речей для розвитку технологій розумного міста.

Послуги мереж Інтернету речей надаються переважно для потреб інших комунальних підприємств міста. Розроблена система аналізу та оптимізації маршруту вивезення сміття була створена для майбутньої автоматизації даного процесу на підприємстві «Київкомунсервіс», що спеціалізується на вивезенні твердих відходів.

На даний момент підприємство вже має власну систему планування вивозів сміття, яка базується на даних про наповненість сміттєвих контейнерів, отриманих від давачів. При цьому сам процес планування не має жодної автоматизації. Для створення маршруту диспетчер може тільки на власний розсуд обрати контейнери, які необхідно спустошити, базуючись на поточних даних чи показнику середньої наповнюваності за тиждень. Така процедура є малоефективною, особливо при довгостроковому плануванні, оскільки такого набору вхідних даних є недостатньо для прийняття оптимального рішення та через людський фактор можуть виникати ситуації з пропущеними чи випадково обраними локаціями для вивозу.

Окрім того, наразі підприємство не має єдиного механізму для побудови власне маршруту. Водій тільки отримує перелік адрес для виїзду та повинен планувати свій маршрут власними зусиллями, що також призводить до зайвих витрат часу, пального та ресурсів автомобіля.

Враховуючи усі перераховані особливості, кінцевою метою розробки є система аналізу та оптимізації маршруту вивозу сміття з використанням давачів рівня наповнення контейнерів для сміття та програмною частиною, що містить застосунок для диспетчера транспортної компанії та окремий застосунок для водія сміттєвоза.

Диспетчер повинен мати змогу переглядати стан контейнерів, на основі побачених даних створювати запланований маршрут для водія та здійснювати контроль за своєчасним спустошенням контейнерів. Побудований маршрут

повинен бути оптимальним з точки зору максимальної ефективності спустошення переповнених контейнерів та мінімізації витраченого часу на саму поїздку. Також маршрут повинен формуватися виходячи з прив'язки контейнерів до району міста, оскільки підприємство має окремі контракти з різними районами Києва та здійснює вивіз сміття окремо для кожного району.

У застосунку водія повинен відображатися запланований маршрут з можливістю використання засобів навігації для здійснення виїзду згідно такого маршруту. Головною метою є полегшення саме навігації на дорозі з використанням загальнодоступних та зрозумілих програмних засобів.

### **Висновки до розділу 1.**

У даному розділі було розглянуто сферу застосування систем розумного управління відходами, складовою яких є система аналізу та оптимізації маршруту вивозу сміття. Для цього було виконано:

1. Виявлення основних проблем даної сфери, пов'язані зі своєчасністю спустошення контейнерів, оптимальністю побудови маршруту їх вивозу, механізмами, що для цього використовуються, та вплив цих проблем на екологію довкілля.

2. Порівняльний огляд існуючих аналогів систем розумного управління сміттям, обов'язковим критерієм при виборі яких була наявність механізмів побудови та планування маршруту вивозу сміття.

3. Постановка задачі згідно з потребами та наявними ресурсами спеціалізованого комунального підприємства «Київтелесервіс» на основі виявлених загальних рис та особливостей функціонування аналогів системи.

## 2. ОПИС АРХІТЕКТУРИ СИСТЕМИ АНАЛІЗУ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ МАРШРУТУ ВИВОЗУ СМІТТЯ.

Підприємство «Київтелесервіс» має власну мережу, побудовану на технології LoRaWAN, в межах міста Київ. Ця мережа на 2022 рік має покриття у всіх районах міста та використовується для розгортання систем розумного міста. На рис. 2.1 можна побачити карту покриття цієї мережі. Саме тому розроблена система створювалася на базі цієї мережі та всі давачі і програмне забезпечення були обрані такі, що є сумісними з технологією LoRaWAN, та вся архітектура системи побудована на базі цієї технології.

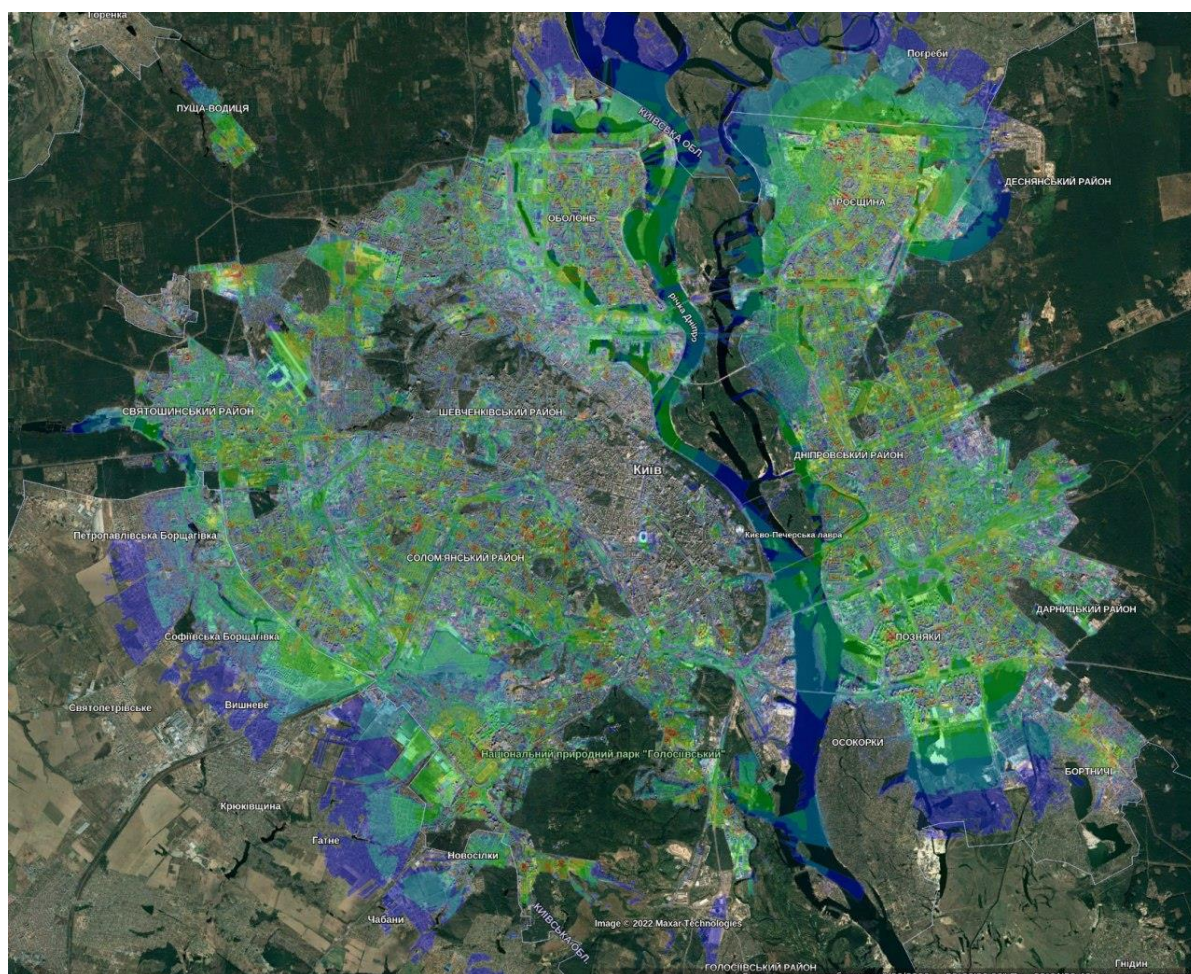


Рисунок 2.1 – Карта покриття мережі LoRaWAN в місті Київ

### 2.1. Мережа LoRaWan.

Специфікація LoRaWAN належить до класу глобальних мереж малої потужності LPWAN та призначена для бездротового підключення «речей» до

регіональних, національних або глобальних мереж і орієнтована на основні вимоги до Інтернету, такі як двонаправлений зв'язок, наскрізна безпека, мобільність та послуги локалізації. [12]

Дана технологія дозволяє розгортати з'єднання типу M2M (машина – машина) на відстані до 20 км при швидкості передачі даних до 50 Кбіт/с та дозволяє досягти мінімального споживання енергії кінцевими пристроями, що дозволяє їм автономно працювати декілька років від одного акумулятора типу АА.

У Європі система працює на частоті 868,8 МГц, що характеризується високою проникною здатністю та дозволяє легко розгортати мережі у межах міста, де на шляху передачі даних може знаходитися велика кількість перешкод. Швидкість передачі даних знаходиться у діапазоні 0,3 – 50 Кбіт/с та може автоматично змінюватися для збільшення часу автономної роботи пристрою. Вибір швидкості відбувається на основі якості покриття мережі та об'єму даних, що необхідно передати.

Для забезпечення безпеки даних, що передаються у мережі LoRaWAN, використовується дворівневе шифрування різними ключами AES-64 та -128.

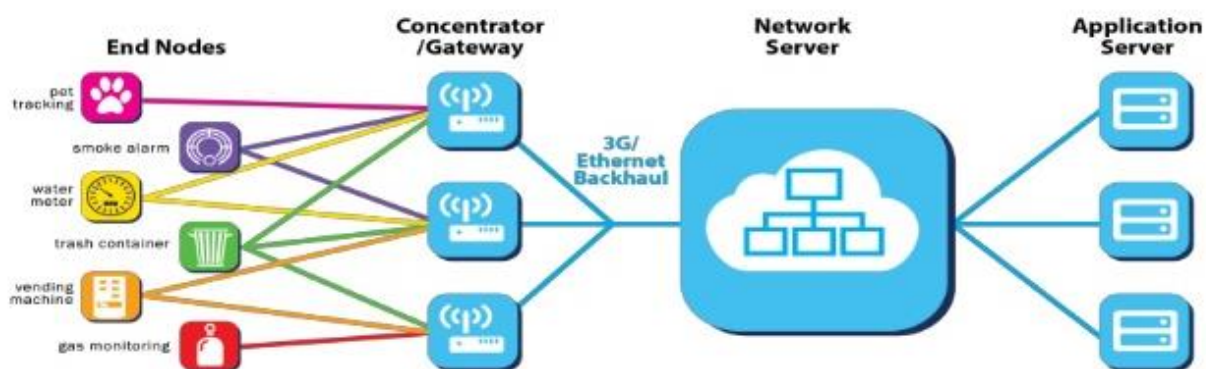
Характерною особливістю технології є поділ кінцевих пристроїв на три класи – А, В та С, що використовуються для різних задач. Клас А визначає режим роботи пристрою в LoRaWAN за замовчуванням. Кінцевий пристрій передає дані на шлюз короткими посилками за заданим графіком, і після кожної передачі даних на певний короткий період відкриває вікно прийому для команди, що надходить від сервера. Такий варіант передачі даних є найбільш економним, оскільки у випадку, коли команда від сервера не надходить, пристрій переходить у режим сну.

У пристроях класу В виділяється додаткове вікно, що відкривається за розкладом, який синхронізується за часом з мережею. Таким чином, сервер має можливість відправляти дані у заздалегідь зазначений час.

Пристрої класу С мають майже безперервно відкрите вікно, що закривається тільки під час передачі даних. Такі пристрої споживають найбільшу кількість енергії, але більше підходять для задач, які вимагають передачі великої кількості низхідних даних з мінімальною затримкою.

Давачі, що використовувалися при розробці системи, відносяться до класу А, оскільки керування ними не обов'язково повинне здійснюватися у режимі реального часу, проте таке рішення забезпечить більш тривалу роботу батареї давача.

Окрім кінцевих пристроїв (end node), що призначені для управління та вимірювання показників, архітектура мереж LoRaWAN також включає шлюзи (gateway), мережевий сервер (network server) та сервер застосунків (application server) (рис. 2.2). [13]



*Рисунок 2.2 – Архітектура мережі LoRaWAN*

Шлюзи – це пристрої, що отримують дані від кінцевих пристроїв та передають їх до транзитної мережі (Ethernet, WiFi і т.д.). Декілька таких пристроїв утворюють зону покриття мережі та забезпечує двонаправлену передачу даних між кінцевими пристроями та сервером. У мережі LoRaWAN кінцеві пристрої не прив'язані до конкретного шлюзу, що дозволяє обирати оптимальний шлюз для відправки даних.

Покриття підприємства «Київтелесервіс» включає 395 базових станцій Tektelic Kona Macro MICO1CEU868 (рис. 2.3). Зв'язок з мережевим сервером здійснюється за допомогою GSM зв'язку з використанням сім-карт.



*Рисунок 2.3 – LoRaWAN шлюз Tektelic Kona Macro MICO1CEU868*

Мережевий сервер призначений для керування мережею, у тому числі задає алгоритм вибору швидкості передачі даних, залежно від якості покриття та розміру даних.

Сервер застосунків використовується для віддаленого управління кінцевими пристроями, збору, обробки та зберігання необхідних даних, отриманих від них через мережевий сервер.

Таким чином, технологія LoRaWAN повністю підходить для реалізації розроблюваної системи, оскільки вона є відкритим стандартом, має великий радіус покриття, працює у відкритому діапазоні частот з хорошою проникною здатністю, не потребує додаткових витрат на обслуговування SIM-карт, забезпечує надійне шифрування даних та підтримується багатьма провідними компаніями. Єдиним недоліком можна назвати низьку швидкість передачі даних, однак для поточних потреб міста вона є цілком достатньою.

## 2.2. Вибір давачів рівня наповнення контейнерів для сміття.

Вибір давачів для системи здійснювався серед ультразвукових давачів з підтримкою технології LoRaWAN. Ультразвуковий давач вимірює відстань до об'єкта за допомогою ультразвукових хвиль. Він використовує перетворювач для надсилання та отримання ультразвукових імпульсів. Звукові хвилі високої частоти відбиваються від предмета, створюючи чіткі ехо-картини [14]. З урахуванням часу, за який повертається хвиля, та швидкості звуку відбувається розрахунок відстані до об'єкта.

При виборі давачів було враховано їх технічні характеристики, експериментально перевірено точність вимірювань та енергоспоживання елементів живлення.

### 2.2.1. *BrighterBins Fill-level detector.*

Давачі BrighterBins (рис. 2.4) – це бездротові пристрої контролю рівня наповнення контейнера для твердого сміття та основний продукт бельгійської компанії SmartEnds.



Рисунок 2.4 – *BrighterBins Fill-level detector*

Оскільки ультразвукові хвилі відбиваються від будь-якої поверхні, що зустрічається на шляху, для правильності вимірювань важливо правильно встановити такий давач у контейнері для сміття та підібрати правильний розмір. Для даного давача ширина і довжина контейнера повинні бути більшими або дорівнювати 60% висоти контейнера. Максимальна дальність вимірювання становить 4,5 метри [15]. Основною перевагою при встановленні

є рухома голівка сенсора, що повертається на 90° і дозволяє встановлювати давачі у контейнерах різної форми як на кришці, так і на боковій стінці.

Такі давачі можуть працювати при температурі від -20 °C до +70 °C та мають рівень захисту від пилу та води за стандартом IP67, тобто є повністю пилонепроникними та захищені від впливу води при зануренні на глибину до 1 метра на час до 30 хвилин [16].

Для передачі даних давачі можуть використовувати технології Sigfox, NB IoT, LoRaWan, чи GSM. Конфігурація для LoRaWan дозволяє одному пристрою працювати до 7 років на вбудованому літій тіонілхлоридному акумуляторі на 20000 мАг.

Налаштування давача дозволяють змінити частоту передачі даних від 30 хвилин до 24 годин із кроком в 10 хвилин, або в залежності від наповнення – 25%, 50% чи 75%. Для розрахунку відсоткового відношення давач має параметри висоти, ширини та довжини контейнера. Окрім наповнення дані, що передаються включають заряд батареї та температуру для попередження перегрівання давача чи загоряння сміття.

### ***2.2.2. Dingtek DF703 Waste Bin Detector.***

DF703 Waste Bin Detector (рис. 2.5) – це ультразвуковий давач нового покоління для вимірювання рівня наповнення контейнерів для сміття від китайського виробника Dingtek [17].



*Рисунок 2.5 – Dingtek DF703 Waste Bin Detector*

Одним із недоліків даної моделі давачів є відсутність елементів кріплення до контейнера та неможливість регулювання напрямлення сенсору, через що давач необхідно кріпити строго горизонтально, що підходить не для всіх типів контейнерів. Максимальна дальність вимірювання становить 4 м, що є достатнім як для вуличних, так і для підземних контейнерів. При цьому заявлена виробником точність вимірювання складає до 3 мм. Також даний давач має максимальний рівень захисту від пилу та води за стандартом IP68.

Окрім відстані даний давач також вимірює температуру всередині контейнера та власний кут нахилу за допомогою акселерометру з точністю до 2°. При цьому користувач отримує пряму сповіщення про пожежу в контейнері, його перекидання чи переповнення. Налаштування дозволяють змінити частоту вимірювань та порогові значення, при яких давач надсилає сповіщення.

Для передачі даних можуть використовуватися технології Nb-IoT, LoRaWAN, SigFox, GPRS чи 4G. Конфігурація для LoRaWAN є пристроєм класу A. Живлення давача відбувається за допомогою вбудованої батареї ємністю 8500 мАг.

### ***2.2.3. Netvox R718X Waste Bin Detector.***

R718X Waste Bin Detector (рис. 2.6) є єдиним ультразвуковим давачем рівня наповнення смітника від тайванського виробника Netvox. Даний пристрій має тільки одну конфігурацію та підтримує тільки технологію LoRaWAN у якості пристрою класу A [18].

Корпус давача містить кнопку живлення та кріплення, але при цьому розташовувати давач необхідно вертикально, оскільки ультразвуковий випромінювач направлений строго вниз та може здійснювати виміри під кутом  $80^{\circ} \pm 15^{\circ}$ .



*Рисунок 2.6 – Netvox R718X Waste Bin Detector*

Вимірювання відстані може здійснюватися у діапазоні від 20 см до 3,5 метрів. Відстань від 0 до 20 см є сліпою зоною для даного пристрою. Заявлена точність таких вимірів становить  $\pm 12$  см, що є значною похибкою та може негативно впливати на роботу системи.

Окрім відстані датчик може вимірювати температуру в смітнику в діапазоні  $-40^{\circ}\text{C}\sim 85^{\circ}\text{C}$  та здатен працювати при таких температурах, чого може бути достатньо для виявлення пожежі. Вагомим недоліком пристрою є відсутність захисту від води, тому він може працювати тільки при умові, що вологість навколишнього середовища не буде перевищувати 90% та не буде утворюватися конденсат. Живлення здійснюється за допомогою двох паралельно підключених літійових акумуляторних батарейок ємністю 2400 мАг, життєвий цикл яких становить 4,7 років.

Налаштування дозволяють змінити тільки частоту вимірювань.

#### ***2.2.4. Тестування розглянутих датчиків.***

Для того, щоб протестувати поведінку розглянутих датчиків, було встановлено по одному екземпляру кожного з них в однакових умовах в контейнерах для пластикових відходів, як зображено на рис 2.7. Контейнер має форму куполу та має два отвори для сміття. Головною проблемою є металевий трос механізму відкривання кришки контейнера, що знаходиться на шляху розповсюдження ультразвукових хвиль та може негативно впливати на

точність вимірювань. Такі умови є максимально стресовими для проведення вимірювань, тому на такому прикладі можна переконатися, що давач буде правильно працювати навіть при найменш вигідних умовах.

У додатку Б наведено графіки результуючих показників давачів за проміжок часу, на якому вони знаходилися в даних контейнерах, які наповнювалися сміттям та не були спустошені. Проаналізувавши ці графіки, можна побачити, що показники всіх давачів не є ідеальними, оскільки на шляху вимірювань може опинитися металевий кабель чи сміття, що застрягло або було розподілене нерівномірно.

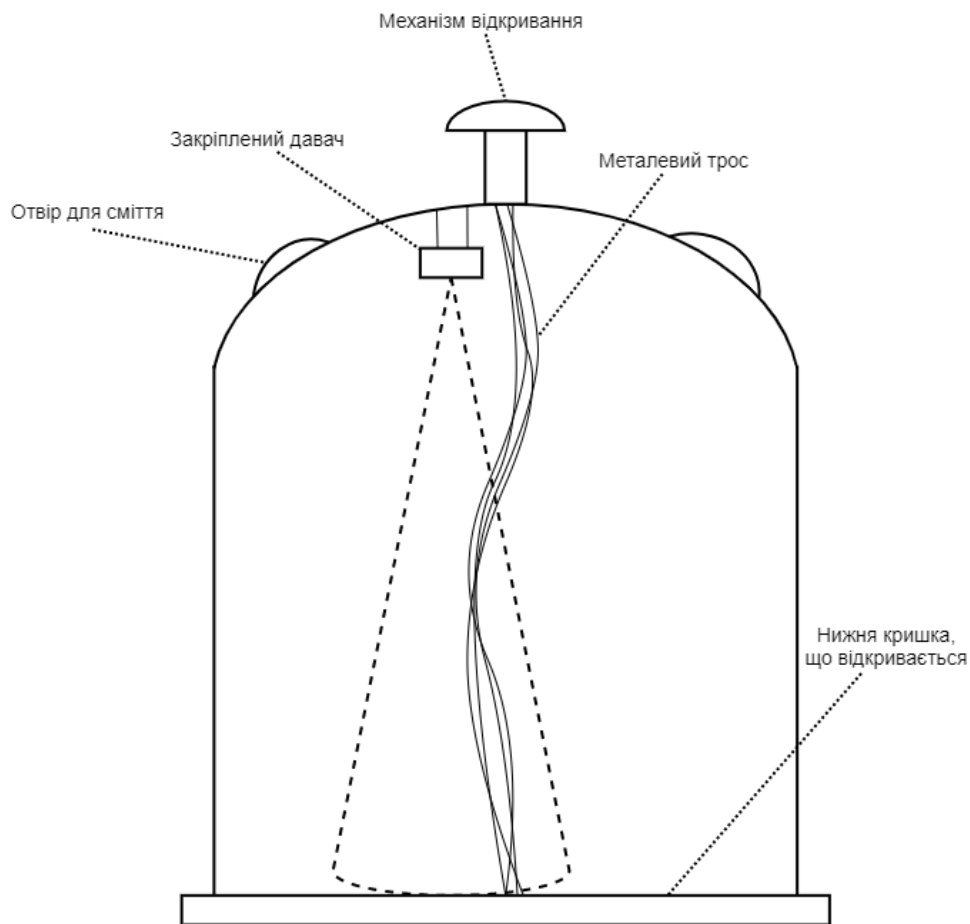


Рисунок 2.7 – Схема розміщення давача в контейнері

Для того, щоб побачити більш реальну картину наповнення контейнера, необхідно прибрати такі аномальні значення та провівши лінію тренду для отриманою функції (жовта штрихована лінія на графіках). Це свідчить про те, що при розробці логіки системи необхідно враховувати такі специфічні особливості вимірювань.

Аналізуючи кількість аномальних значень, неозброєним оком можна помітити, що давач BrighterBins має найменшу їх кількість, показники давача DingTek є більш хаотичними, тому з них важко вилучити корисні дані, а в давача Netvox хибною є більша частина показників, хоча при цьому їх можна набагато легше виявити. Такі результати будуть безпосередньо впливати на остаточний вибір типу давачів, що будуть використовуватися при побудові системи.

### ***2.2.5. Результати порівняння давачів.***

У додатку В наведено таблицю порівняння давачів, що розглядалися. З цієї таблиці можна побачити, що всі давачі належать до пристроїв LoRaWAN класу А. Це обумовлено тим, що немає жодної необхідності в зміні їх налаштувань в режимі реального часу та цілком задовольняє потреби розроблюваної системи.

Найменш придатним для цієї системи є давач Netvox R718X Waste Bin Detector, оскільки він програє іншим в точності вимірювань, ємності елемента живлення, не має захисту від потрапляння пилу та води та демонструє неякісну роботу в польових умовах.

Дачач Dingtek DF703 Waste Bin Detector має найкращі показники за всіма параметрами, окрім ємності елемента живлення. Також, на відміну від двох інших, він має механізм сповіщення про пожежу чи перекидання, але ці значення не є важливими для системи, що розробляється. Основним чинником, який змушує відхилити цей варіант є нестабільна поведінка сенсору, що негативно впливає на збирання даних та змушує проводити багато маніпуляцій з ними.

Тому найкращим варіантом, який буде використовуватися при розробці системи, є давач BrighterBins Fill-level detector, оскільки він має достатньо точний сенсор, акумулятор великої ємності та дозволяє коригувати процес вимірювання завдяки поворотному механізму сенсора.

### **2.3. Програмне забезпечення.**

Архітектура технології LoRaWAN передбачає наявність мережевого серверу та серверу застосунків, що потребують програмного забезпечення. СКП «Київтелесервіс» використовує платформи ThingPark та ThingsBoard, програмне забезпечення яких встановлене на власних серверах підприємства.

#### ***2.3.1. Мережевий сервер ThingPark Enterprise.***

У якості мережевого сервера для створеної системи виступає платформа ThingPark Enterprise від французької компанії Actility. Дана платформа призначена для промислового Інтернету речей, тому дозволить підключити достатню кількість пристроїв для створеної системи. Вона забезпечує захищений двонаправлений зв'язок з давачами через базові станції LoRaWAN та автоматично здійснює керування часом передачі даних. Для цього розраховується показник фактору розповсюдження (Spreading factor) на основі показників якості сигналу, таких як рівень шуму та сила сигналу. Цей показник має значення від 7 (найкращі умови) до 12 (найменш оптимальні умови) та визначає відповідний час перебування давача в ефірі. Такий алгоритм допомагає зменшити споживання енергоносія при більш оптимальних умовах для передачі даних.

Зібрані дані надсилаються до серверу застосунків за допомогою інтеграції з використанням протоколу HTTP [19] у форматі JSON чи XML об'єкту. Кінцевих точок отримання даних може бути декілька одночасно, або повідомлення будуть надсилатися по чергові до тих пір, поки не будуть доставлені успішно до однієї кінцевої точки з найвищим пріоритетом серед доступних. Такий механізм дозволяє забезпечити резервні джерела обробки даних у випадку відмови основного, щоб не втрачати цінні дані.

Також дана платформа дозволяє створювати окремі тарифи для кожного клієнта, встановлюючи для нього обмеження на використання мережі та вартість послуги.

### ***2.3.2. Сервер застосунків ThingsBoard.***

У якості сервера застосунків виступає платформа ThingsBoard однойменної американської компанії. Дана платформа є зручним та гнучким інструментом для створення веб-застосунків з великою кількістю методів візуалізації та можливістю налаштування логіки обробки даних. Інтерфейс програми є здебільшого графічним, але для більш глибокої розробки в окремих елементах використовується мова програмування JavaScript [20].

Для обробки отриманих даних та перетворення їх на реальні показники використовуються декодери, що прописуються мовою JavaScript та дозволяють підлаштувати систему під будь-яку структуру вхідних повідомлень.

Для подальшої обробки отриманих показників використовуються ланцюги правил, які можна призначити кожному типу пристроїв. Вони включають механізми роботи з базою даних, агрегації даних та взаємодії з зовнішніми системами і дозволяють створювати власну логіку за допомогою створених користувачем скриптів.

Веб-застосунки створюються у вигляді дашбордів, що складаються з віджетів, які можна обрати з існуючої бібліотеки чи створити власноруч, знаючи базову структуру. Механізм ієрархії клієнтів дозволяє створювати різні рівні доступу до застосунку в залежності від ролі користувача.

## **2.4. Загальна архітектура системи аналізу та оптимізації маршруту вивозу сміття.**

Схематичне зображення архітектури системи наведено на рис. 2.8. Як видно зі схеми, ультразвукові датчики, встановлені у контейнерах для сміття,

збирають з них телеметрію та передають у вигляді висхідних повідомлень за протоколом LoRaWAN до всіх шлюзів LoRa, які знаходяться у зоні їх досягнення.

Шлюзи передають зібрані повідомлення до мережевого сервера по мережі GSM за допомогою встановленої сім-карти.

Повідомлення, що отримує мережевий сервер, направляються на сервер застосунків за допомогою інтеграції за протоколом HTTP, на якому створюються застосунки для відображення даних та керування давачами.

Користувач отримує доступ до застосунку за допомогою кінцевих пристроїв, які мають доступ до мережі Інтернет. Доступ до застосунків здійснюється за протоколом HTTP.

Для управління давачами користувач змінює налаштування за допомогою інтерфейсу застосунку. Після цього сервер застосунків звертається до мережевого серверу за допомогою POST HTTP запитом, у якому надсилається низхідна команда для давача та номер порту давача, на який надсилається повідомлення.

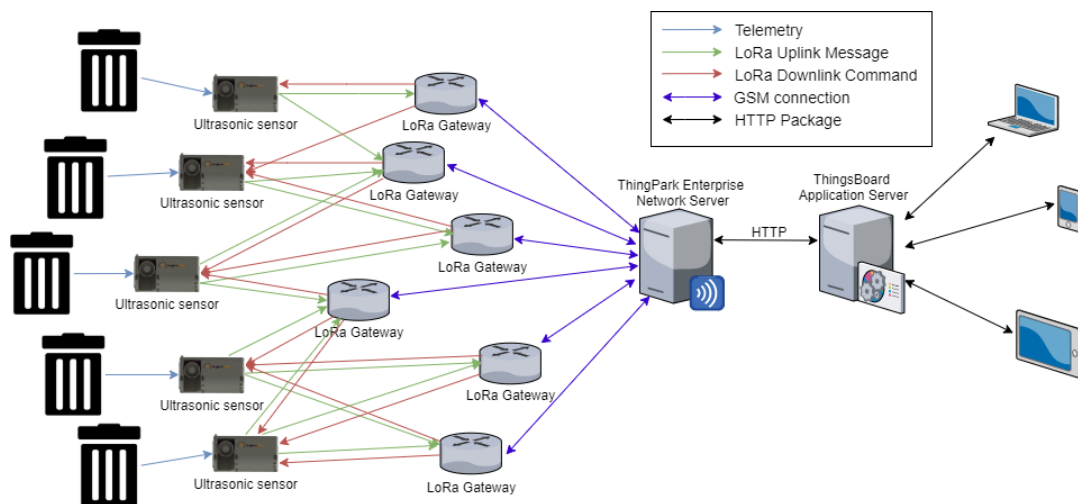


Рисунок 2.8 – Архітектура системи аналізу та оптимізації маршруту вивозу сміття

Мережевий сервер додає запит у чергу та надсилає, коли давач повідомить, що він готовий приймати команду. Повідомлення доставляється через шлюз, який має найкращий рівень зв'язку із давачем. Давач підтверджує

успішне отримання пакету з командою на надсилає відповідь, якщо вона передбачена командою.

## **Висновки до розділу 2.**

У даному розділі було створено фізичну модель системи аналізу та оптимізації маршруту вивозу сміття на базі власної мережі LoRaWAN підприємства «Київтелесервіс». Для цього було виконано:

1. Огляд особливостей технології LoRaWAN, її базову архітектуру, спосіб передачі даних та типи кінцевих пристроїв.
2. Порівняння трьох моделей давачів рівня наповнення контейнера для сміття від різних виробників.
3. Тестування давачів у критичних для вимірювання умовах
4. Вибір ультразвукових давачів, що найкраще задовольняють потреби системи.
5. Опис обраного програмного забезпечення, якого потребує система та за допомогою якого буде створено веб-застосунок з інтерфейсом для користувача.
6. Опис архітектури розроблюваної системи.

### 3. ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ АНАЛІЗУ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ МАРШРУТУ ВИВОЗУ СМІТТЯ.

#### 3.1. Фізична модель даних

На рис. 3.1 зображено фізичну модель даних системи, побудовану на базі моделі даних платформи ThingsBoard.

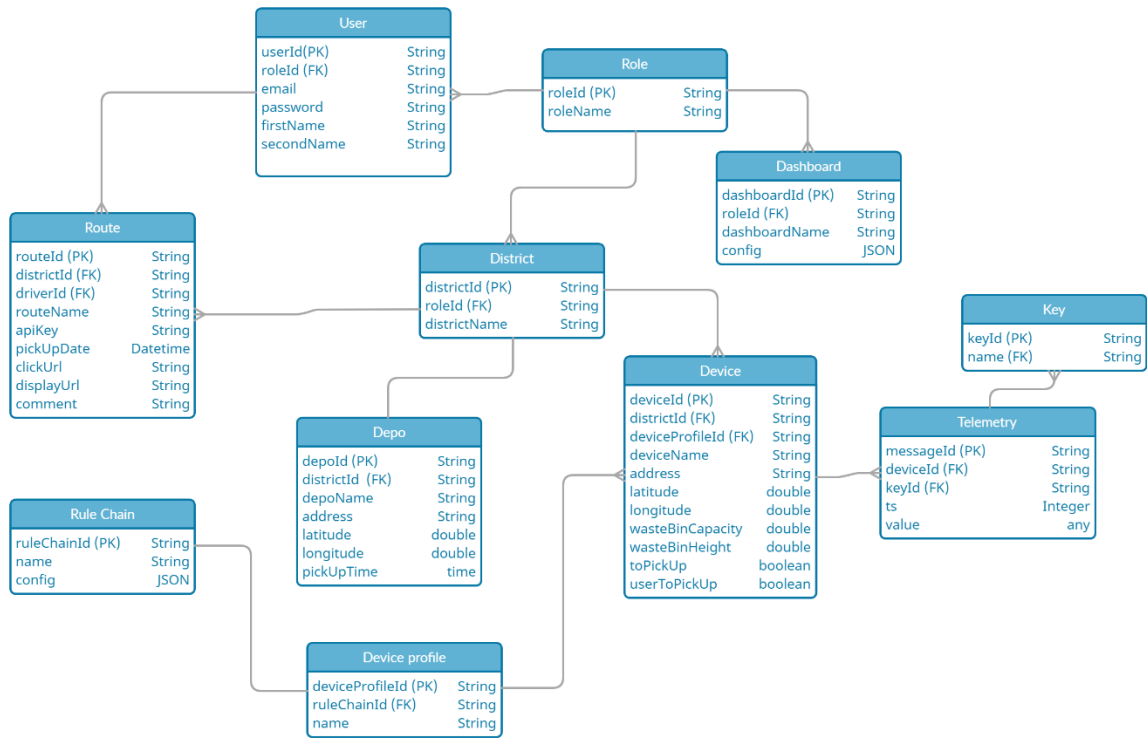


Рисунок 3.1 – Фізична модель даних системи аналізу та оптимізації маршруту вивозу сміття

Із даної схеми видно, що рівень доступу користувача до системи визначає його роль, відповідно до якої він отримує доступ до призначених йому дашбордів та районів міста.

Кожний район має власне депо та певний набір давачів, які також виступають замість об'єктів контейнера для сміття та мають атрибути, властиві йому.

Давачі мають власну телеметрію, тобто показники, що були виміряні ними, або розраховані системою. За логіку обробки цих показників відповідає ланцюг правил, який присвоюється давачу за його типом.

При взаємодії диспетчера з системою будуть створюватися маршрути

для водіїв. Створені маршрути відносяться до конкретного району та належать користувачу, який є водієм сміттєвоза.

### 3.2. Збір та обробка даних ультразвукових давачів.

Для передачі обміну даних між мережевим сервером та сервером застосунків між ними було організовано інтеграцію за протоколом HTTP (рис. 3.1, 3.2). Для цього посилання, згенероване сервером застосунків вказується у мережевому сервері у якості адреси призначення для доставки пакетів даних.

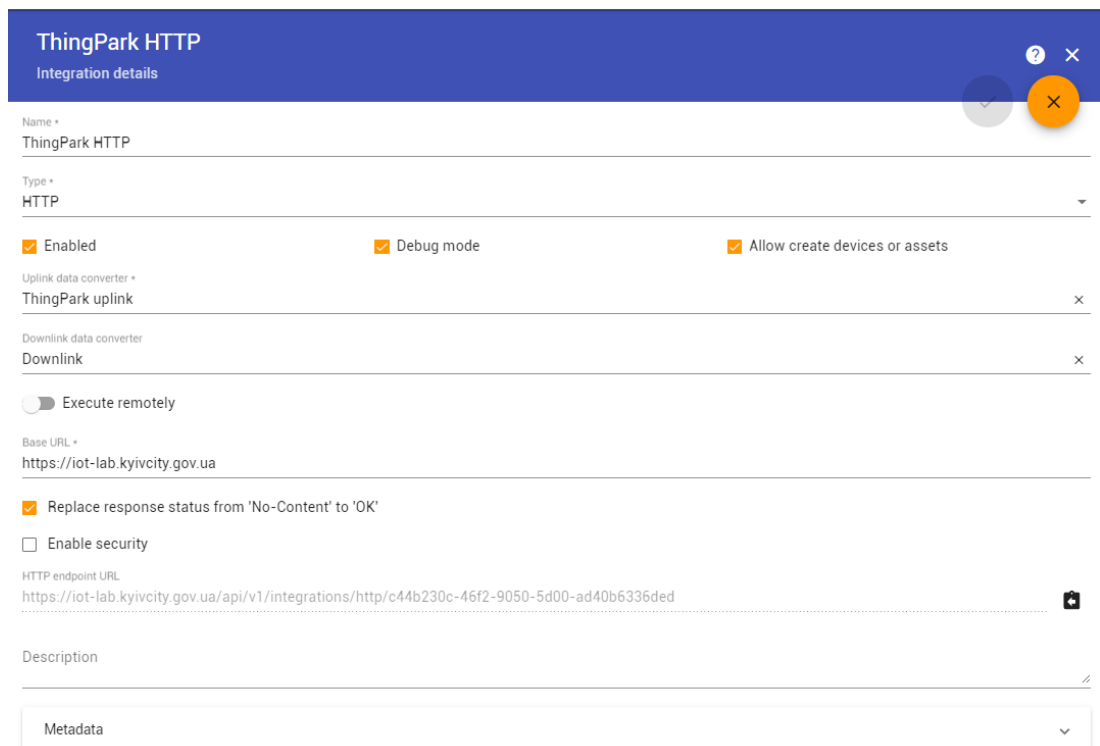


Рисунок 3.1 – Інтеграція на стороні сервера застосунків

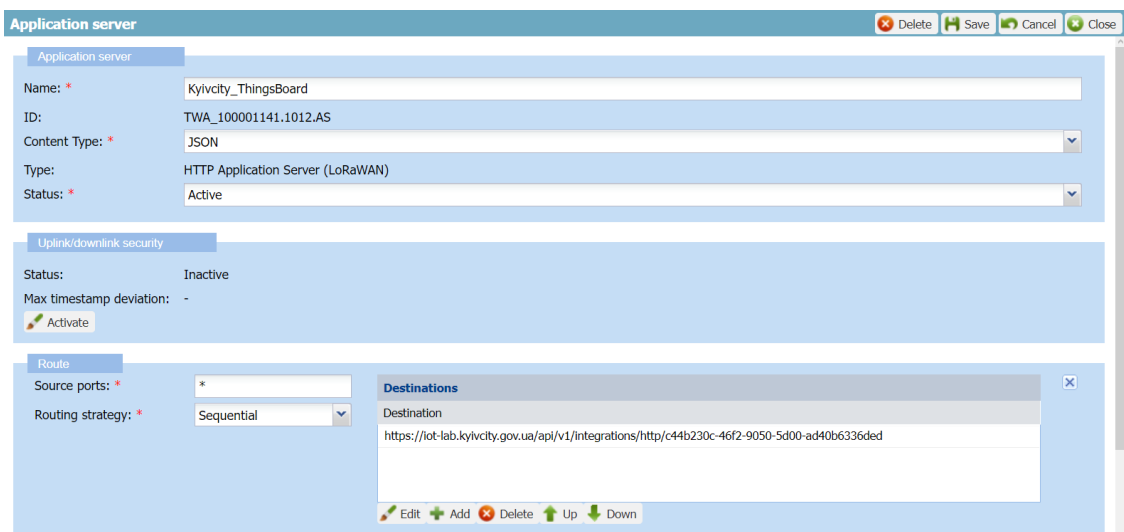


Рисунок 3.2 – Інтеграція на стороні мережевого сервера

Після цього на сервері застосунків створюється профіль маршрутизації, який буде використовувати цю інтеграцію (рис. 3.3). Такий профіль вказується при реєстрації дачача на сервері.

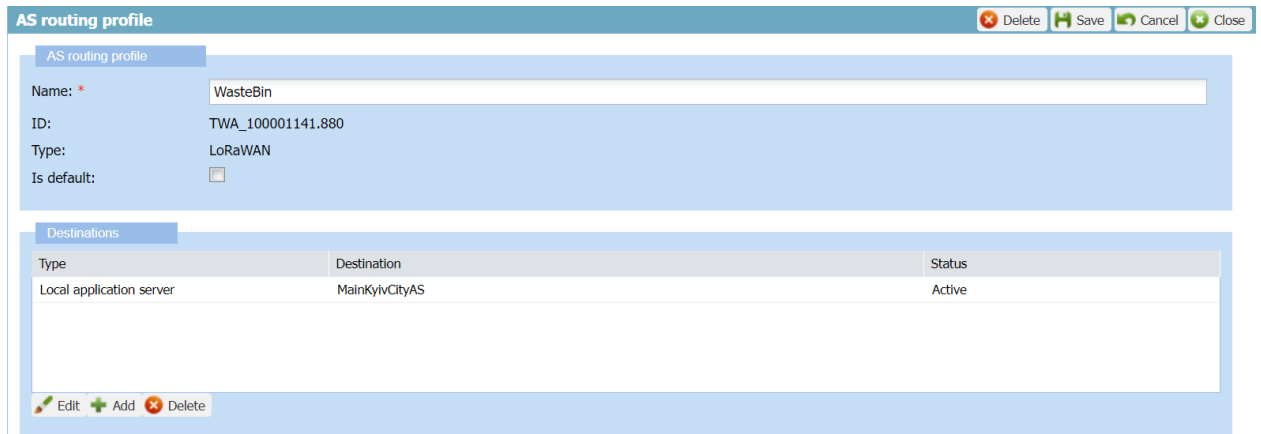


Рисунок 3.3 – Профіль маршрутизації даних дачача у мережевому сервері

Після успішної реалізації інтеграції платформа ThingsBoard отримує повідомлення у вигляді JSON об'єкту (рис. 3.4).

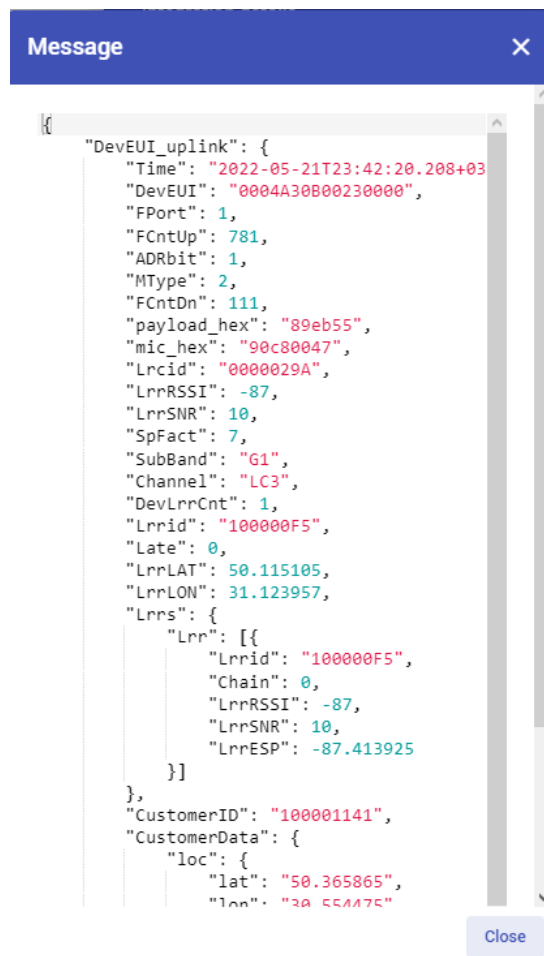


Рис. 3.4 – Вхідне повідомлення на сервері застосунків



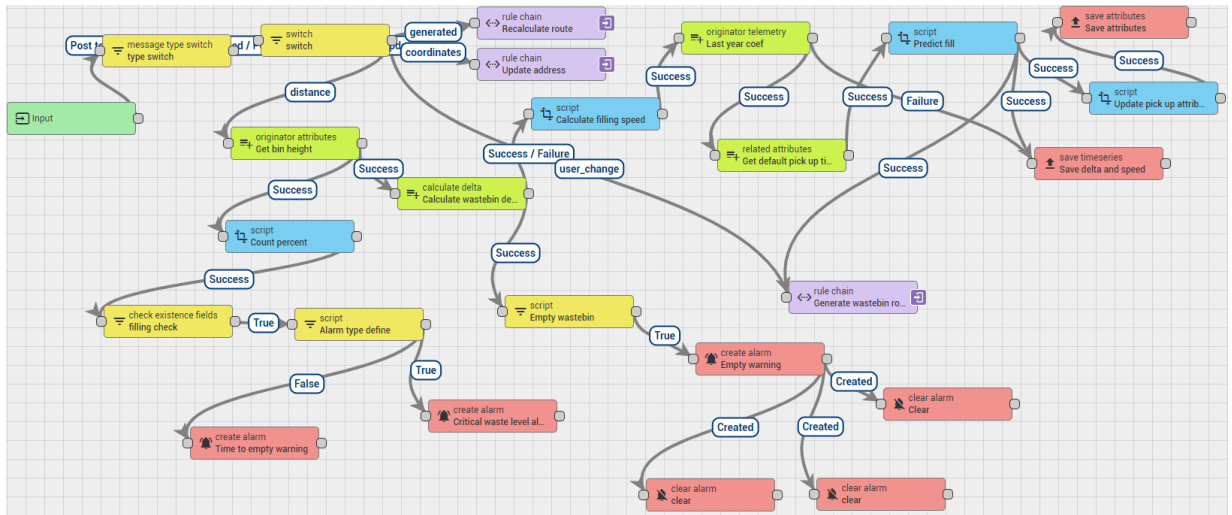


Рисунок 3.6 – Ланцюг обробки даних наповнення сміттєвих баків

Блок-схему алгоритму створення сповіщень представлено у додатку Д на рис. Д.1.

Також визначається різниця наповнення у порівнянні з попереднім показником, яка використовується для розрахунку приблизної швидкості наповнення за годину. На основі цієї швидкості розраховується передбачуване наповнення через 12 годин, 24 години та на момент наступного планового вивозу. Якщо поточне наповнення або наповнення на момент вивозу більше 80%, контейнер позначається як рекомендований до вивозу та оновлюється відповідний атрибут.

Блок-схема алгоритму розрахунку передбачуваного наповнення наведено у додатку Д на рис. Д.2.

Цей алгоритм передбачає використання середнього значення розрахованого показника коефіцієнту наповнення за період в один рік. При цьому середнє значення розраховується на базі тих коефіцієнтів, що відповідають дню тижня та годині, коли відбувається прогнозування.

За природою наповнення контейнерів залежить від дня тижня та часу, коли люди викидають сміття. Тому існують певні дні та години, коли інтенсивність наповнення контейнера може відрізнятися від загального середнього. Створений алгоритм прогнозування наповненості враховує саме такі перепади та їх зміну на великому проміжку часу. Недоліком може вважати

лише те, що для старту прогнозування системі необхідно попередньо отримувати дані як мінімум протягом одного тижня, але при цьому точність розрахунків буде тільки покращуватися з кожним отриманим показником, тому в цьому плані можна сказати, що система має механізм автоматичного самонавчання.

### **3.3. Розрахунок маршруту вивезення сміття.**

У розробленій системі окремо розраховується рекомендований маршрут на основі показника атрибуту поточної та прогнозованої наповненості та маршрут для контейнерів, який користувач створює вручну через інтерфейс застосунку. Алгоритм розрахунку маршруту демонструє ланцюг правил на рис. 3.7.

Для того, щоб зрозуміти, який маршрут потрібно змінювати, на початку перевіряється умова, чи був він змінений користувачем чи автоматично. Після цього відбувається звернення до відповідного об'єкту маршруту, щоб отримати координати його точок. Далі відбувається перевірка, чи потрібно додати або видалити нову точку і формується новий масив координат.

Для визначення оптимального шляху проходження цих точок використовується сторонній веб API інтерфейс від українського розробника та провайдера картографічної платформи АТ «Візіком» (Visicom). Вибір даного програмного забезпечення ґрунтується на високій деталізації об'єктів доріг на території України та відносно дешевій вартості його використання. У даному випадку використовується Data API для вирішення задачі комівояжера [21], тобто знаходження найкоротшого шляху між точками. Звернення відбувається за допомогою GET HTTP запиту, у якому вказуються координати точок та режим розрахунку `driving-shortest` для розрахунку найкоротшого шляху автомобільними дорогами (рис. 3.8).

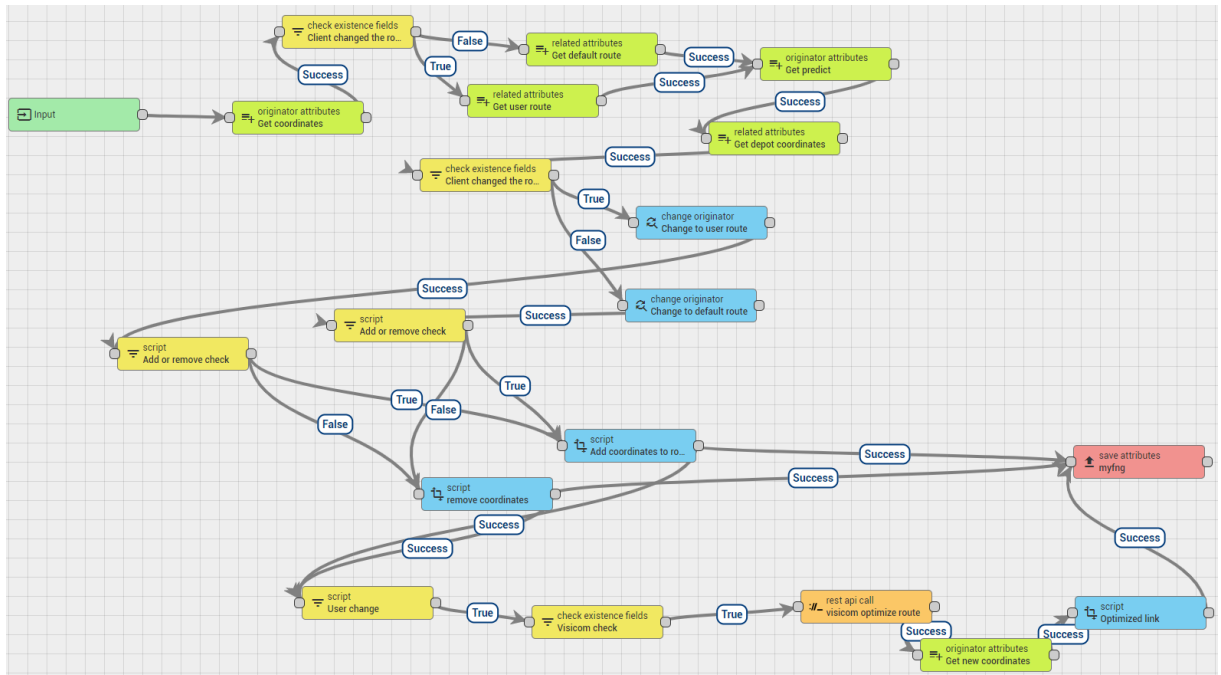


Рисунок 3.7 – Ланцюг правил для розрахунку маршруту

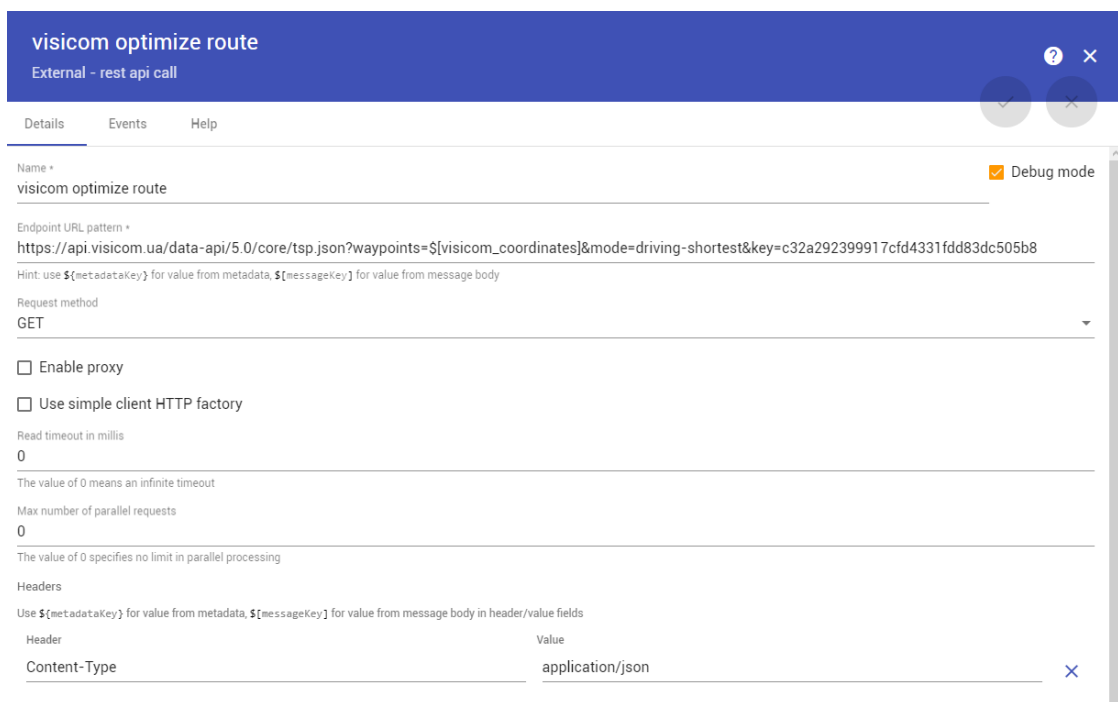
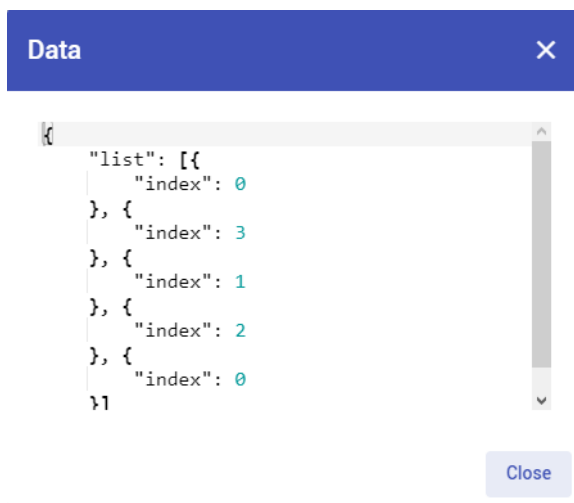


Рисунок 3.8 – GET HTTP запит для знаходження оптимального шляху за допомогою Visicom Data API

На виході отримуємо масив індексів точок відповідно до порядку їх проходження на маршруті (рис. 3.9). На основі цього масиву створюється посилання на карту Google Maps для подальшого відображення у застосунку і зберігається у вигляді атрибуту об'єкту відповідного маршруту. Алгоритми

Google Maps самостійно підлаштовують маршрут відповідно до умов на дорозі для скорочення часу його проїзду.



```
{
  "list": [
    {
      "index": 0
    },
    {
      "index": 3
    },
    {
      "index": 1
    },
    {
      "index": 2
    },
    {
      "index": 0
    }
  ]
}
```

*Рисунок 3.9 – Відповідь Visicom Data API з результатами розрахунку оптимального проходження точок маршруту*

### **3.4. Створення графічного інтерфейсу системи аналізу та оптимізації маршруту вивозу сміття.**

Для відображення даних у зрозумілому для користувача вигляді та його взаємодії із застосунком платформа ThingsBoard використовує дашборди. Кожний дашборд складається з віджетів, які можна обрати із базової бібліотеки чи створити власноруч за відомим шаблоном. Основними віджетами, що використовувалися при створенні застосунку є мапа, таблиця, графік та картка, вигляд якої можна задати за допомогою HTML структури та CSS стилів.

Мапа використовується для відображення контейнерів та транспортного депо з прив'язкою до місцевості. Для цього в налаштуваннях обираються об'єкти та їх атрибути, що будуть відображатися, як показано на рис. 3.10.

У розширених налаштуваннях за допомогою JavaScript функцій конфігурується відображення іконок об'єктів, ярликів підписів та підказок, що з'являються при натисканні на іконку. Код функцій, що використовуються наведено у додатку Е.

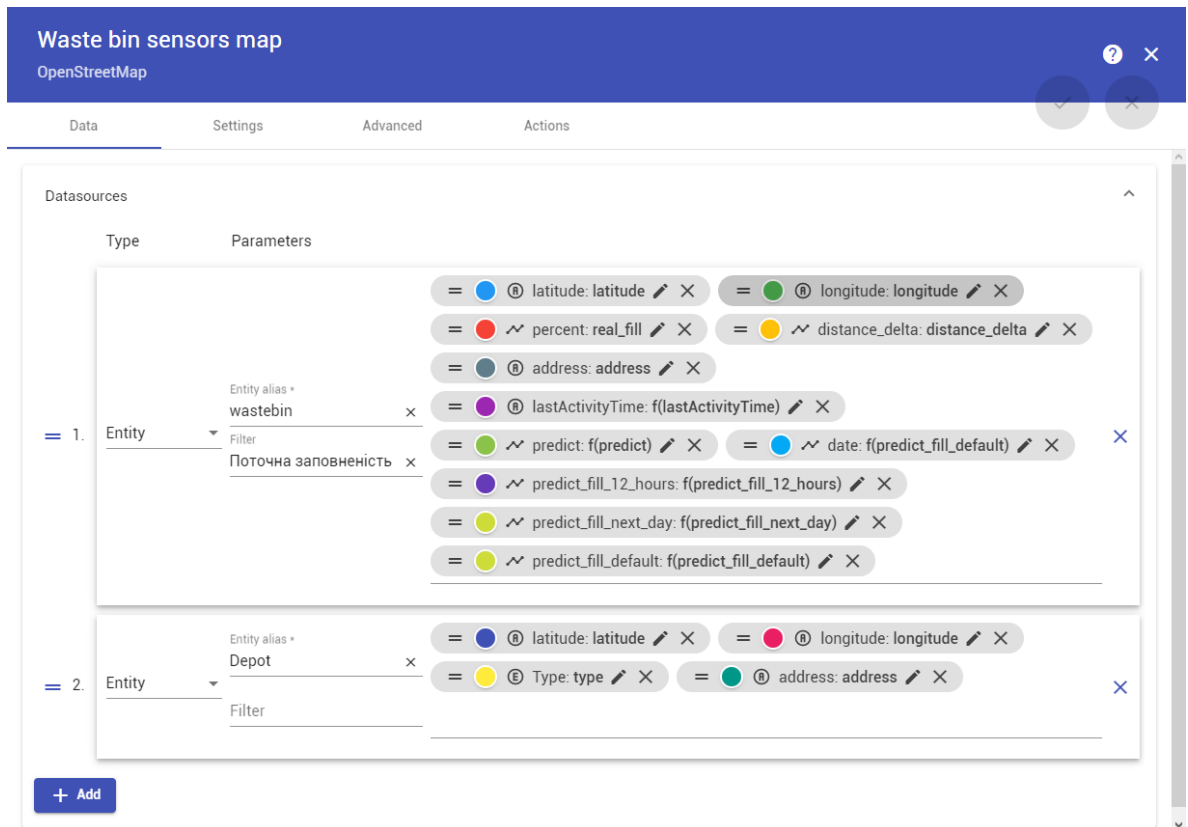


Рисунок 3.10 – Атрибути об'єктів для відображення на мапі

Графіки використовуються для відображення наповнення контейнерів. Для налаштування віджету достатньо було обрати атрибут, задати функцію обробки даних та вказати у якості підпису на графіку адресу контейнера (рис. 3.11).

Таблиці використовуються для відображення об'єктів, їх атрибутів та останніх даних. Налаштування такого віджету є аналогічним до графіку, а також дозволяє задати CSS стиль відображення комірки та її вміст, як показано на рис. 3.12.

Порожній віджет використовується для відображення фрейму з маршрутом на карті Google Maps за допомогою посилання, згенерованого системою (рис. 3.13).

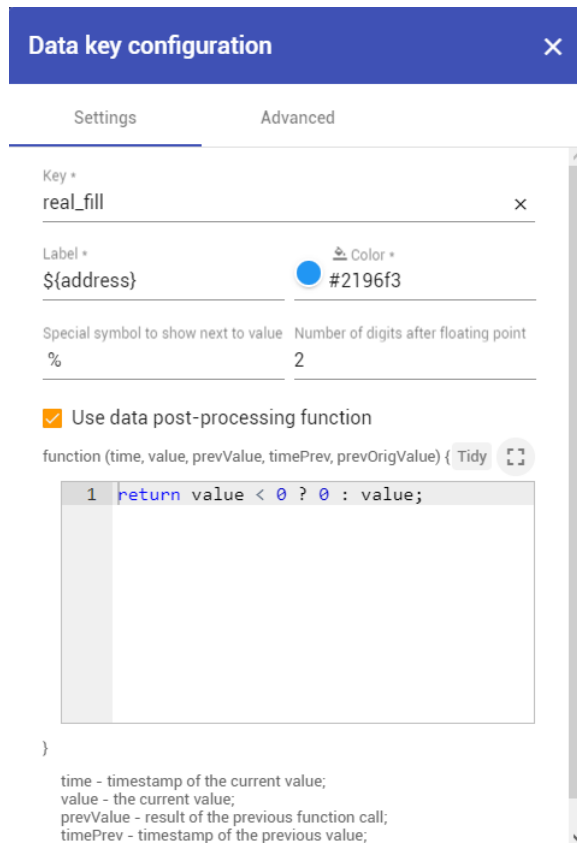


Рисунок 3.11 – Налаштування відображення даних на графіку

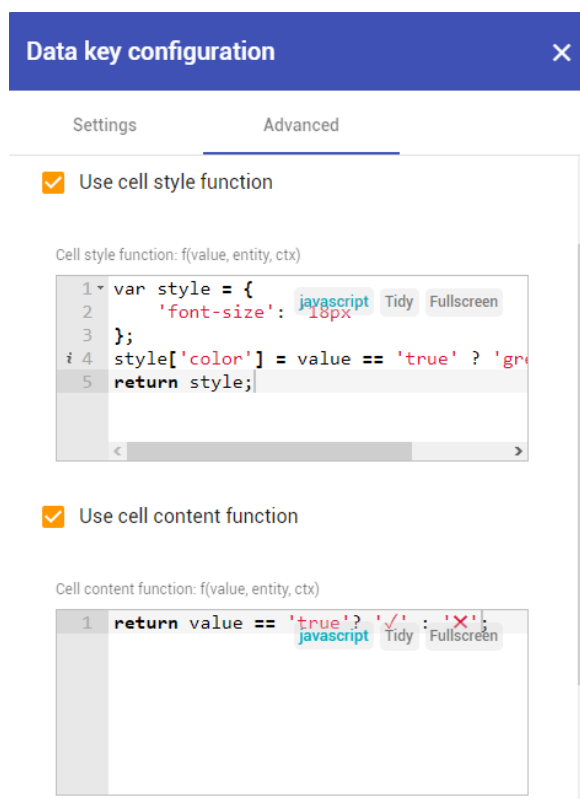


Рисунок 3.12 – Налаштування відображення комірки таблиці

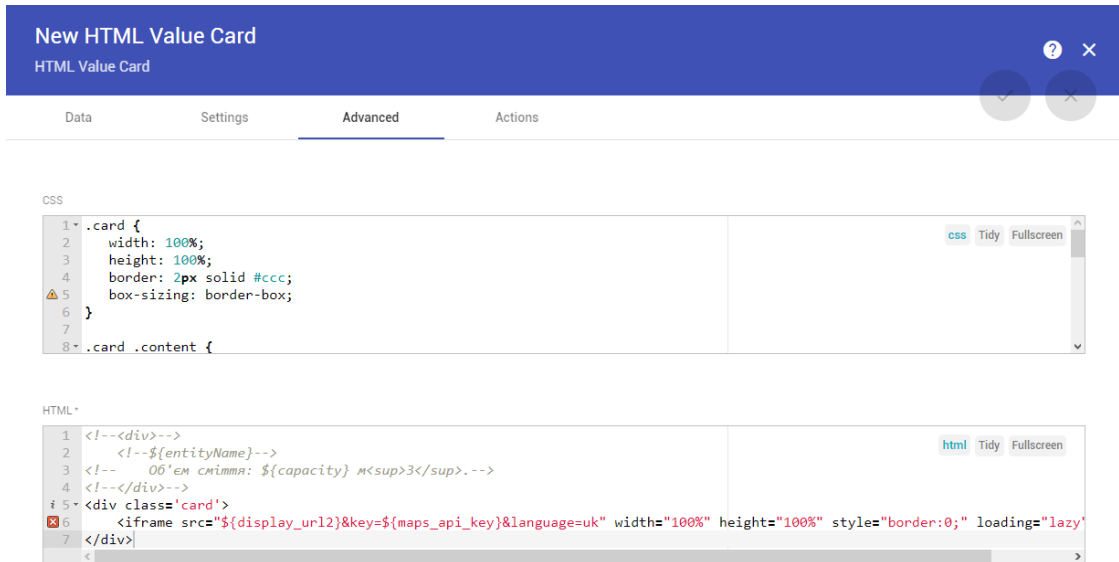


Рисунок 3.13 – Налаштування віджету для відображення маршруту на карті Google Maps

### 3.5. Огляд отриманих результатів.

#### 3.5.1. Застосунок диспетчера транспортної компанії.

Головна сторінка застосунку для диспетчера розділена на чотири частини, які містять мапу з контейнерами і депо, таблицю зі списком контейнерів, таблицю зі сповіщеннями та графік наповнення для усіх контейнерів (рис. 3.14).

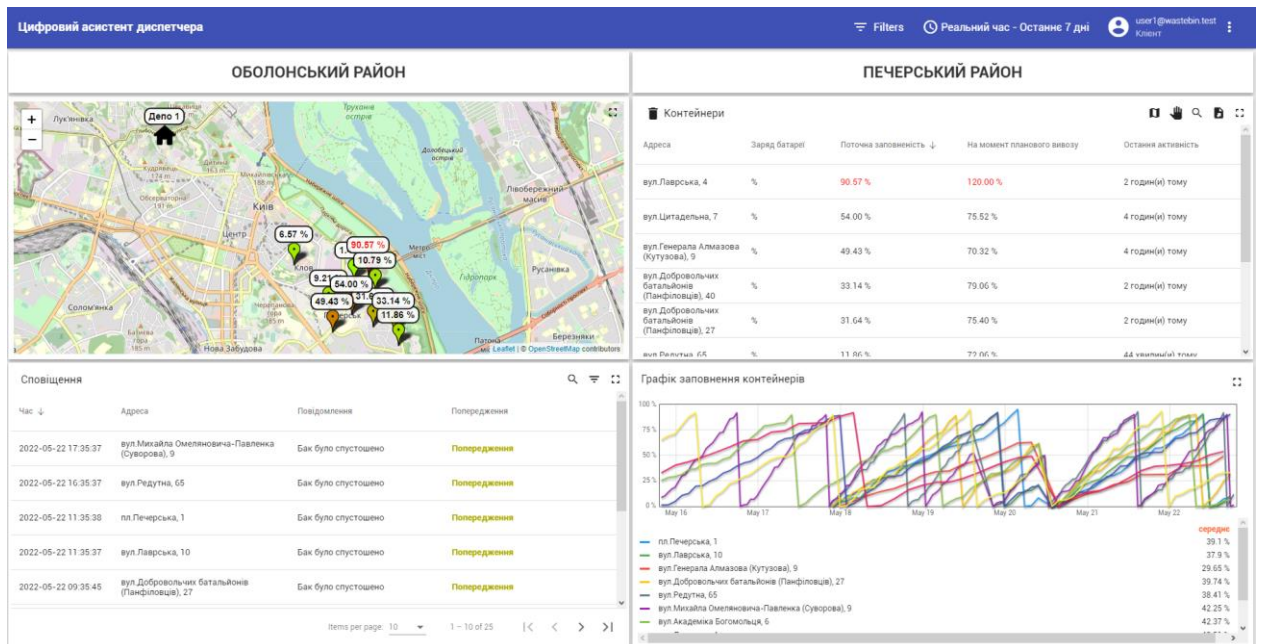
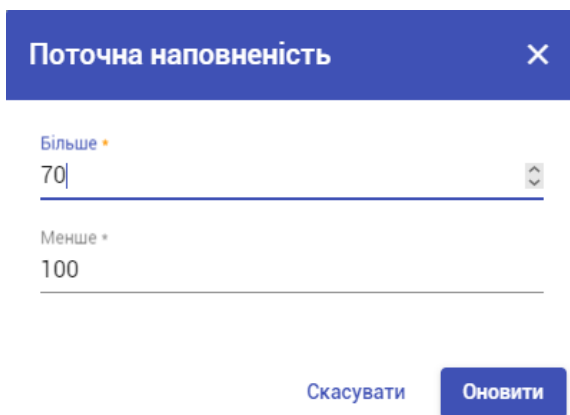


Рисунок 3.14 – Головна сторінка застосунку для диспетчера

Дані, що відображаються, можна відфільтрувати за поточним наповненістю (рис. 3.15) або за часовою шкалою (рис. 3.16). А за допомогою кнопок, розташованих угорі, можна обрати район, серед яких на даний момент доступні тільки Оболонський та Печерський. Кожний район має свої контейнери та для кожного з них маршрути будуються окремо.



Поточна наповненість

Більше \*

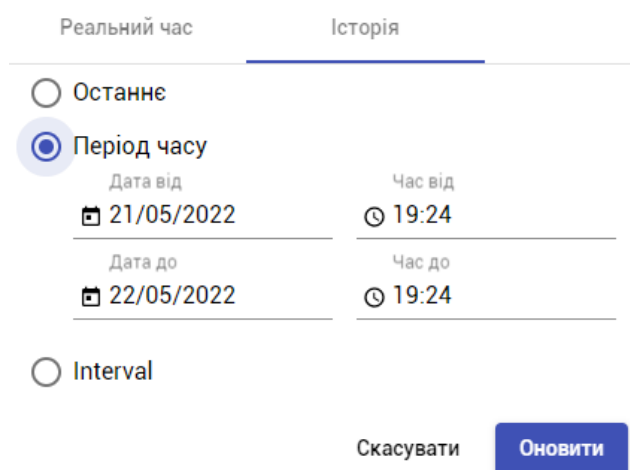
70

Менше \*

100

Скасувати Оновити

Рис. 3.15 – Фільтр наповненості



Реальний час Історія

Останнє

Період часу

Дата від 21/05/2022 Час від 19:24

Дата до 22/05/2022 Час до 19:24

Interval

Скасувати Оновити

Рисунок 3.16 – Фільтр за часом

Депо на мапі відображається у вигляді будинку з підписом, а мітки контейнерів мають колір у діапазоні від зеленого до червоного, що відповідає їх поточній наповненості. Чим ближче колір до яскраво червоного, тим більша наповненість контейнера. При натисканні на мітку з'являється підказка, на якій вказано адресу розташування контейнера, поточну наповненість, наповненість через годину, 12 годин та 24 години і час останньої активності давача (рис. 3.17).

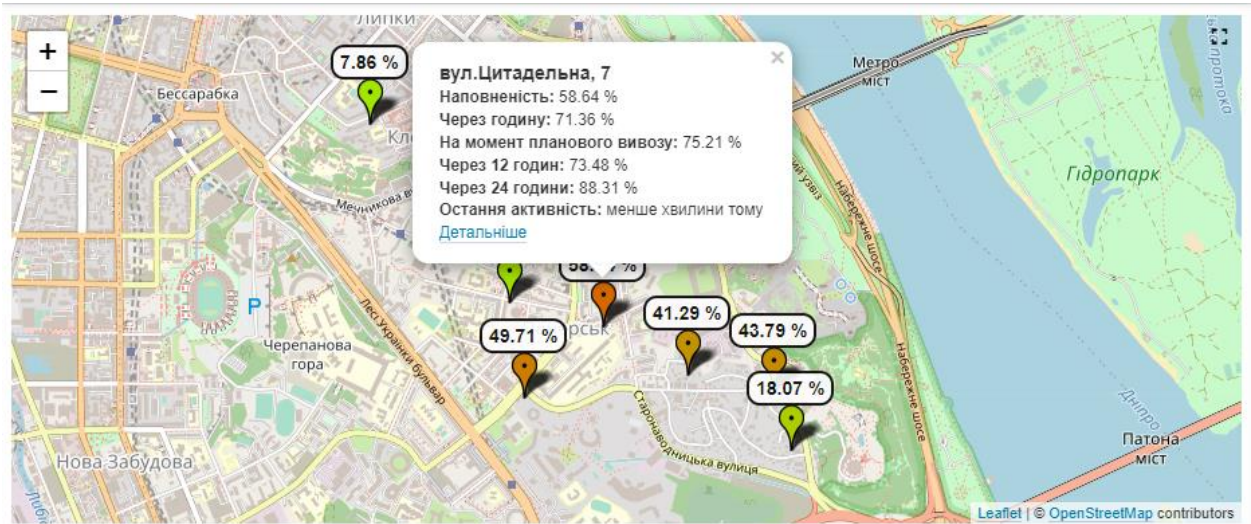


Рисунок 3.17 – Підказка до мітки на мапі

При натисканні на напис «Детальніше» відкривається сторінка з детальною інформацією про контейнер, що містить графік та таблицю показників наповнення і мапа, на якій можна змінити розташування контейнера (рис. 3.18). При цьому координати та адреса зміняться автоматично.

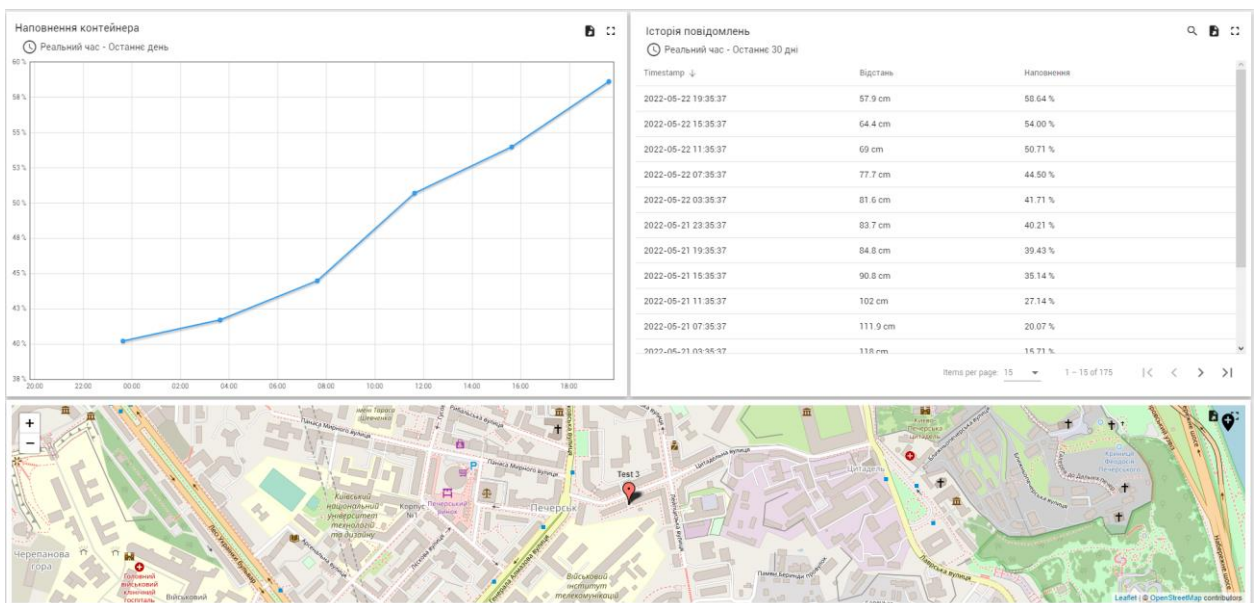


Рисунок 3.18 – Інформаційна сторінка контейнера

Таблиця зі списком контейнерів (рис. 3.19) містить поля адреси, заряду батареї, поточної наповненості, наповненості на момент планового вивозу та часу останньої активності давача. Записи у таблиці відсортовані за показником поточної наповненості за спаданням. Значення, що перевищують 80%,

підсвічуються червоним кольором. При натисканні на рядок відбувається перехід на сторінку контейнера.

Адреса	Заряд батареї	Поточна наповненість ↓	На момент планового вивозу	Остання активність
вул.Цитадельна, 7	%	58.64 %	75.21 %	17 хвилин(и) тому
вул.Генерала Алмазова (Кутузова), 9	%	49.71 %	66.41 %	17 хвилин(и) тому
вул.Добровольчих батальйонів (Панфіловців), 40	%	43.79 %	83.74 %	17 хвилин(и) тому
вул.Добровольчих батальйонів (Панфіловців), 27	%	41.29 %	79.56 %	17 хвилин(и) тому
вул.Редутна, 65	%	18.07 %	74.29 %	17 хвилин(и) тому
вул.Лаврська, 10	%	11.86 %	41.98 %	17 хвилин(и) тому

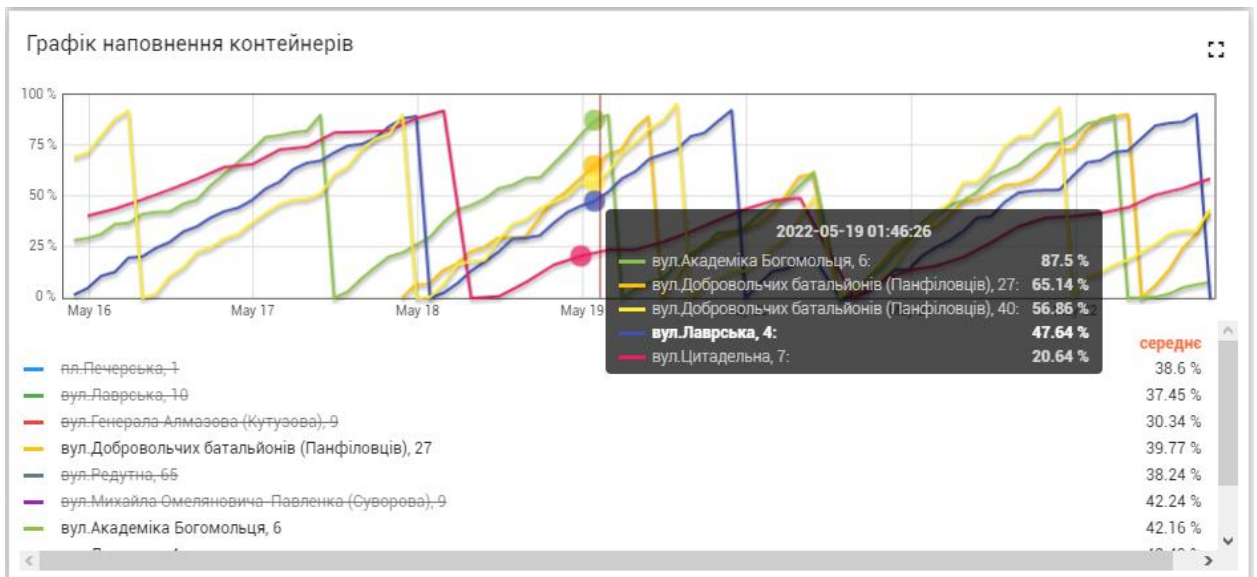
Рисунок 3.19 – Список контейнерів

Таблиця зі сповіщеннями (рис. 3.20) містить попередження про необхідність спустошення контейнерів та сповіщення про те, що контейнер було спустошено.

Час ↓	Адреса	Повідомлення	Попередження
2022-05-22 19:35:37	вул.Лаврська, 4	Бак було спустошено	Попередження
2022-05-22 17:35:37	вул.Михайла Омеляновича-Павленка (Суворова), 9	Бак було спустошено	Попередження
2022-05-22 16:35:37	вул.Редутна, 65	Бак було спустошено	Попередження
2022-05-22 11:35:38	пл.Печерська, 1	Бак було спустошено	Попередження
2022-05-22 11:35:37	вул.Лаврська, 10	Бак було спустошено	Попередження

Рисунок 3.20 – Таблиця сповіщень давачів

Графік наповнення демонструє наповнення кожного баку та відображає середнє значення за обраний проміжок часу. Графік, який не цікавить користувача можна прибрати, натиснувши на його позначення на легенді (рис. 3.21).



*Рисунок 3.21 – Графік наповнення контейнерів*

Для переходу на сторінку автоматично згенерованого маршруту потрібно натиснути на кнопку з мапою, що знаходиться над списком контейнерів (рис. 3.22). Для переходу на сторінку ручної генерації маршруту потрібно натиснути кнопку із зображенням руки на тій самій таблиці, або на сторінці автоматичного маршруту (рис. 3.23).

Автоматичний маршрут

Адреса	Заряд батареї	Поточна наповненість ↓	На момент планового вивозу	Остання активність
вул.Цитадельна, 7	%	58.64 %	75.21 %	40 хвилин(и) тому

*Рисунок 3.22 – Кнопка переходу на сторінку автоматичної генерації маршруту*

Створити маршрут вручну

Адреса	Заряд батареї	Поточна наповненість ↓	На момент планового вивозу	Остання активність
вул.Цитадельна, 7	%	58.64 %	75.21 %	1 годин(и) тому

*Рисунок 3.23 – Кнопка переходу на сторінку ручної генерації маршруту*

Обидві сторінки генерації маршруту містять список контейнерів, що включені до нього та мапу з самим маршрутом (рис. 3.24, 3.26).

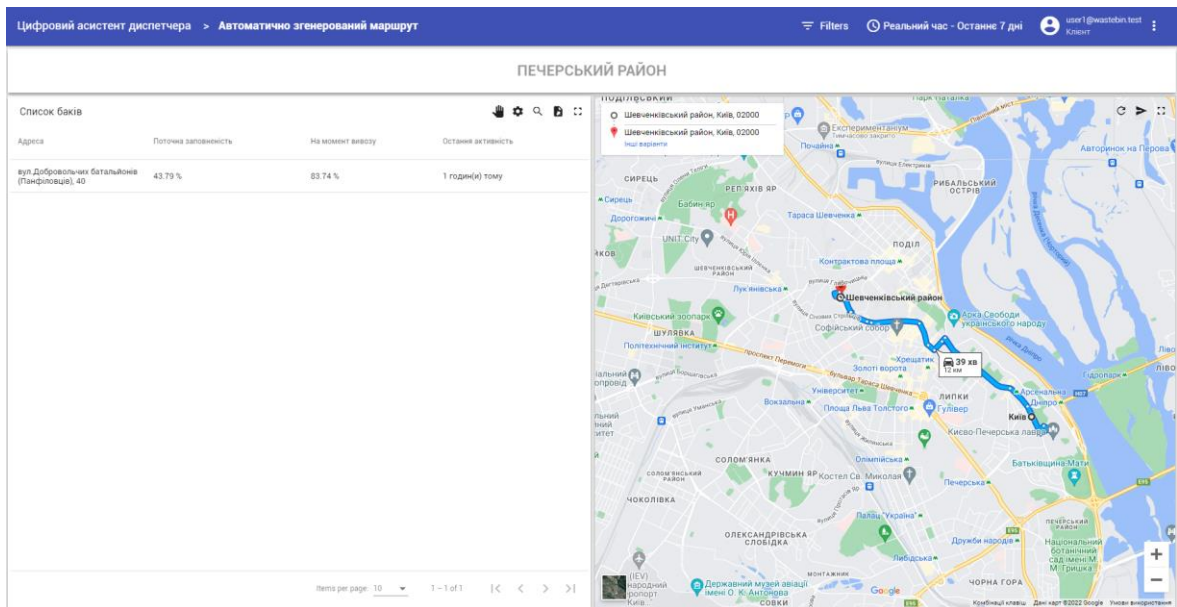


Рисунок 3.24 – Сторінка автоматично згенерованого маршруту

В налаштуваннях автоматично згенерованого маршруту при натисканні на символ шестерні можна змінити час, у який відбувається запланований вивіз сміття, як показано на рис. 3.25.

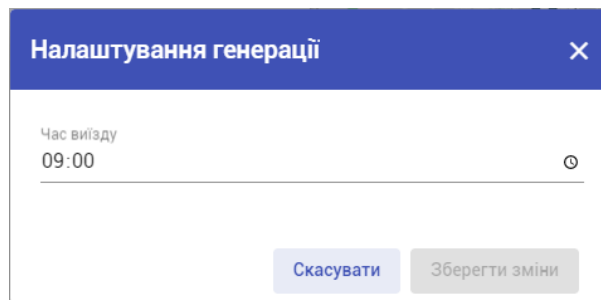


Рисунок 3.25 – Налаштування генерації маршруту

На сторінці ручного створення маршруту можна додавати та видаляти адреси з маршруту відповідними кнопками. Усі зміни будуть відобразитися на мапі та в таблиці у колонці «У маршруті» відповідними індикаторами зеленого та червоного кольору.

Для того, щоб надіслати маршрут водію, необхідно натиснути на кнопку зі стрілкою, що знаходиться на мапі. Після цього необхідно обрати водія зі списку, вказати дату і час виїзду та при необхідності додати коментар, як показано на рис. 3.27 та 3.28.

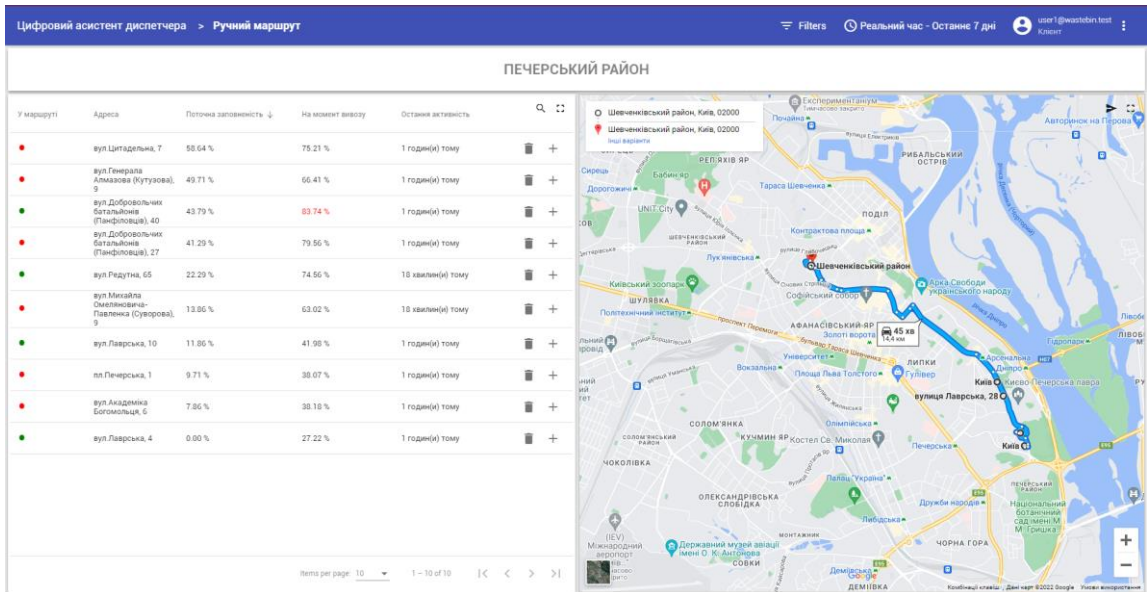


Рисунок 3.26 – Сторінка ручного створення маршруту

На сторінці вибору водія можна попередньо переглянути список запланованих маршрутів, натиснувши на кнопку із зображенням ока (рис. 3.29).



Рисунок 3.27 – Вибір водія

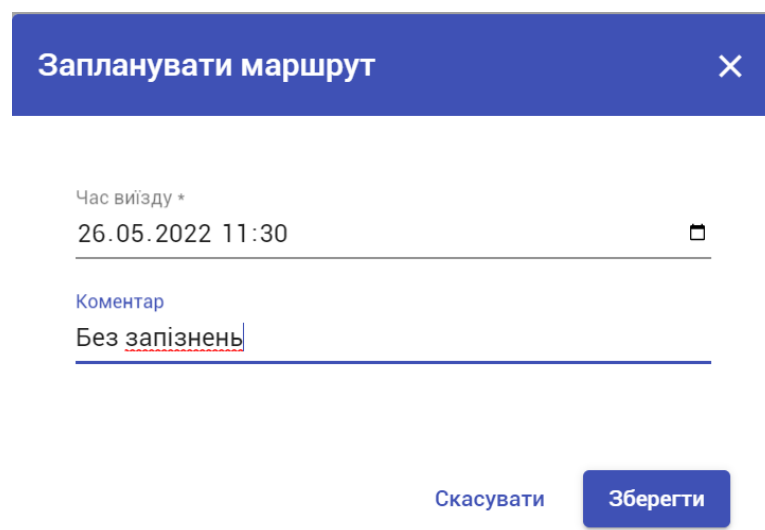


Рисунок 3.28 – Діалогове вікно планування маршруту

Маршрути водіїв		
Заплановані маршрути		
Час виїзду	Водій	Коментар
2021-12-08 11:00	vasyl.zhuchkov@gmail.com	
2022-02-18 14:24	vasyl.zhuchkov@gmail.com	asdsad
2022-05-24 10:00	vasyl.zhuchkov@gmail.com	
2022-05-26 11:30	vasyl.zhuchkov@gmail.com	Без запізень
2021-12-02 21:30	vasyl.zhuchkov@gmail.com	
2022-05-27 08:45	driveroleg@gmail.com	
2021-12-03 19:58	vasyl.zhuchkov@gmail.com	тест 2

Items per page: 10 1 - 7 of 7

*Рисунок 3.29 – Перегляд запланованих маршрутів*

Після того, як маршрут було заплановано, він надсилається обраному водієві у застосунок.

### **3.5.2. Застосунок водія сміттєвоза.**

Застосунок водія складається з однієї сторінки, що містить список усіх маршрутів, запланованих для нього (рис. 3.30). При перегляді застосунку зі смартфона при натисканні на рядок таблиці чи кнопку зі стрілкою маршрут одразу відкривається у застосунку Google Maps, що дозволяє одразу перейти до зручної та звичної навігації.

Мої маршрути			Василь Жучков Адміністратор власника
Дата виїзду	Коментар	driver_id	🔍 🔄
2021-12-08 11:00	-	vasyl.zhuchkov@gmail.com	→
2021-12-03 19:58	тест 2	vasyl.zhuchkov@gmail.com	→
2022-05-26 11:30	Без запізень	vasyl.zhuchkov@gmail.com	→
2022-02-18 14:24	asdsad	vasyl.zhuchkov@gmail.com	→
2022-05-24 10:00	-	vasyl.zhuchkov@gmail.com	→
2021-12-02 21:30	-	vasyl.zhuchkov@gmail.com	→

*Рисунок 3.30 – Застосунок водія*

### **Висновки до розділу 3.**

У даному розділі було програмно реалізовано систему аналізу та оптимізації маршруту вивозу сміття. Для цього виконано:

1. Побудова фізичної моделі даних системи на базі моделі даних платформи ThingsBoard.
2. Налаштування інтеграції між мережевим сервером ThingPark Enterprise та сервером застосунків ThingsBoard за протоколом HTTP.
3. Налаштування декодування даних з шістнадцяткового формату на стороні сервера застосунків за допомогою декодера, написаного мовою програмування JavaScript.
4. Розробка та реалізація алгоритму обробки даних для прогнозування наповнення контейнерів та побудови маршруту на основі цих даних за допомогою Visicom Data API.
5. Створення засобами платформи ThingsBoard веб-застосунку з графічним інтерфейсом у вигляді дашборду для диспетчера транспортної компанії та водія сміттєвоза.

## ВИСНОВКИ

Результатом виконання даної бакалаврської роботи згідно мети є спроектована та розроблена система аналізу та оптимізації маршруту вивозу сміття на базі спеціалізованого комунального підприємства «Київтелесервіс». На основі спроектованої системи було створено веб-застосунок для полегшення роботи диспетчера та водіїв транспортної компанії.

Отримано наступні результати:

1. Проаналізовано сферу застосування систем розумного управління відходами та виявлено, що основними проблемами існуючої процедури вивозу сміття є:

- необ'єктивність вибору контейнерів для сміття, що підлягають вивозу;
- несвоєчасне спустошення контейнерів для сміття;
- зайві витрати часу і ресурсів, задіяних у процесі.

2. Здійснено порівняльний аналіз існуючих систем розумного управління відходами, що мають механізми планування маршруту вивозу, таких як BrighterBins Smart Platform, Sensoneo Route Planning та Ecube Labs CleanCityNetworks. У результаті аналізу було виявлено, що ці системи використовують датчик рівня наповнення контейнерів для сміття з ультразвуковими чи лазерними сенсорами вимірювання відстані. Також застосунки систем дозволяють переглядати розміщення контейнерів на мапі, контролювати їх наповнення за допомогою графіків та таблиць із статистикою, контролювати вивози та планувати маршрут вивозу автоматично чи вручну на основі даних за попередній тиждень. Згідно з цими особливостями було сформульовано задачу для подальшої розробки.

3. Описано архітектуру системи на базі мережі LoRaWAN, яка складається з датчиків, шлюзів LoRa, мережевого серверу ThingPark та серверу застосунків ThingsBoard.

4. Порівняно та здійснено вибір серед трьох варіантів давачів рівня наповнення контейнерів для сміття. У результаті обрано давачі BrighterBins Fill-level detector через найбільшу ємність акумулятора та найкращий результат вимірювань в складних умовах, досягнутий за рахунок поворотного сенсору.

5. Створено фізичну модель даних системи аналізу та оптимізації маршруту вивозу сміття на базі моделі даних платформи ThingsBoard.

6. Розроблено алгоритм створення сповіщень про переповнення контейнеру для сміття з використанням поточного та попереднього показників наповненості.

7. Розроблено алгоритм прогнозування наповнення контейнерів для сміття для побудови маршруту їх вивозу. Розроблений алгоритм здійснює прогнозування з поправкою на день тижня та годину доби, але має недолік, пов'язаний зі збиранням початкових даних, яке потребує як мінімум тиждень часу.

8. Для програмної реалізації веб-інтерфейсу користувача було використано програмне забезпечення мережевого серверу ThingPark Enterprise та серверу застосунків ThingsBoard, де було налагоджено отримання і декодування даних, реалізовано розроблені алгоритми створення сповіщень та прогнозування наповнення контейнерів для сміття і побудови маршруту їх вивозу та створено веб-застосунок у вигляді дашборду для диспетчера та водіїв транспортної компанії.

Створений веб-застосунок диспетчера виконує функції:

- перегляд показників давачів;
- планування вивезення сміття на основі рекомендованого автоматично розрахованого маршруту;
- створення маршруту вивозу сміття вручну за бажанням диспетчера;

- здійснення контролю за вивозами за допомогою таблиці сповіщень.

Застосунок водія виконує функції:

- перегляд запланованого маршруту;
- здійснення навігації за маршрутом за допомогою Google Maps.

9. Для подальшого вдосконалення системи можна використати GPS-трекери та датчі рівня пального, встановлені на автомобільній техніці, та створити дашборд для моніторингу дотримання водієм запланованого маршруту та розрахунку його вартості.

Мета кваліфікаційної роботи бакалавра досягнута.

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Стан сфери поводження з побутовими відходами в Україні за 2020 рік.  
URL: <https://www.minregion.gov.ua/napryamki-diyalnosti/zkh/terretory/stan-sfery-povodzhennya-z-pobutovymy-vidhodamy-v-ukrayini-za-2020-rik-2> (Дата звернення: 10.05.2022)
2. Bin Level Sensor: How does it work and what are the benefits? URL: <https://mobacommunity.com/blogs/entry/Bin-Level-Sensor-How-does-it-work-and-what-are-the-benefits> (Дата звернення: 10.05.2022)
3. 8 Innovative Smart Waste Management Technologies. URL: <https://www.bigrentz.com/blog/smart-waste-management> (Дата звернення: 10.05.2022)
4. How Amsterdam is future proofing its waste management - Inside Waste. URL: <https://www.insidewaste.com.au/index.php/2020/07/23/how-amsterdam-is-future-proofing-its-waste-management> (Дата звернення: 10.05.2022)
5. A Brighter Solution by BrighterBins. URL: [https://www.brighterbins.com/files/ugd/df0bef\\_288afced840647839e5a5259f0f77f2d.pdf](https://www.brighterbins.com/files/ugd/df0bef_288afced840647839e5a5259f0f77f2d.pdf) (Дата звернення: 11.05.2022)
6. Smart Waste Collection | Recycling | BrighterBins. URL: <https://www.brighterbins.com> (Дата звернення: 11.05.2022)
7. Pia Zcimarzcek, Jørgen Rekdal Mangelrød. Digitalizing Waste Collection in Tinn Municipality – A Case Study. Norwegian University of Life Sciences, 2021. P. 82
8. Waste Collection Route Planning | SENSONEO. URL: <https://sensoneo.com/route-planning/> (Дата звернення: 11.05.2022)
9. THE VALUE OF BIN SENSORS FOR THE EFFICIENCY AND EFFECTIVENESS OF PUBLIC PLACE WASTE MANAGEMENT. Tenancy 202 Submarine School, Sub Base Platypus, 120 High Street North Sydney NSW 2060 Australia, 2020. P. 34

10. THE VALUE OF BIN SENSORS FOR THE EFFICIENCY AND EFFECTIVENESS OF PUBLIC PLACE WASTE MANAGEMENT. Tenancy 202 Submarine School, Sub Base Platypus, 120 High Street North Sydney NSW 2060 Australia, 2020. P. 44
11. СКП «Київтелесервіс» | Інформація про підприємство. URL: <https://kts.kmda.gov.ua/aboutus> (Дата звернення: 11.05.2022)
12. Технологія LoRaWAN: опис, огляд трьох класів кінцевих пристроїв, швидкість передачі даних, безпека. URL: <https://deps.ua/ua/knowledge-base/reference-information/66634.html> (Дата звернення: 14.05.2022)
13. Порівняння технологій LPWAN. URL: <https%3A%2F%2Fwww.sut.ru%2Fdoci%2Fnauka%2Freview%2F20164%2F33-48.pdf&usg=AOvVaw1iqhPPOsQ6G1ltQSzaLIVe> (Дата звернення: 14.05.2022)
14. Understanding How Ultrasonic Sensors Work. URL: <https://www.maxbotix.com/articles/how-ultrasonic-sensors-work.htm> (Дата звернення: 13.05.2022)
15. BrighterBins Installation Manual V2.5, Vlaasgaardstraat 52, 9000 Gent Belgium, 13с.
16. IP ratings | International Electrotechnical Commission. URL: <https://www.iec.ch/ip-ratings> (Дата звернення: 13.05.2022)
17. CNDINGTEK IoT World Waste Bin Sensor. URL: [http://www.dingtek.com/products/waste\\_bin\\_sensor\\_df703/](http://www.dingtek.com/products/waste_bin_sensor_df703/) (Дата звернення: 14.05.2022)
18. Netvox R718X Data Sheet. URL: <http://www.netvox.com.tw/um/R718X/R718Xdatasheet.pdf> (Дата звернення: 14.05.2022)
19. Hypertext Transfer Protocol Overview – HTTP – W3C. URL: <https://www.w3.org/Protocols/> (Дата звернення: 14.05.2022)

20. JavaScript офіційний сайт. URL: <https://www.javascript.com> (Дата звернення: 20.05.2022)
21. TSP – Visicom API. URL: <https://api.visicom.ua/uk/products/data-api/data-api-references/tsp> (Дата звернення: 20.05.2022)
22. Матеріали VIII Міжнародної науково-технічної Internet-конференції «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами», 26 листопада 2021, НУХТ. — URL: <https://nuft.edu.ua/naukova-diyalnist/naukovi-konferencii/> (Дата звернення: 10.05.2022)
23. Angelelli E., Speranza M.G.: The Application of a Vehicle Routing Model to a Waste Collection Problem: Two Case Studies. Department of Quantitative Methods, University of Brescia, Contrada S. Chiara 48/b, I-25122 Brescia, Italy, p. 269-286, 2002.
24. Minoglou, M., Komilis, D.: Optimizing the treatment and disposal of municipal solid wastes using mathematical programming – a case study in a Greek region. *Resour. Conserv. Recycl.* 80 (1), p. 46–57, 2013.
25. Malakahmada, A., Md Bakria, P., Md Mokhtara, M. R., Khalil, N: Solid waste collection routes optimization via GIS techniques in Ipoh city, Malaysia. *Procedia Eng.* 77, p. 20–27, 2014.
26. Gutierrez, J.M., Jensen, M., Henius, M., Riaz, T.: Smart Waste Collection System Based on Location Intelligence. *Procedia Comput. Sci.* 61, p. 120–127, 2015.

# ДОДАТОК А

Порівняння аналогів систем розумного управління сміттям

Листів 1

Розробник

Керівник

Боринець М.О.

Лісневський Р.В.

Київ – 2022

## Порівняльна таблиця аналогів систем розумного управління сміттям

Характеристики	Аналоги систем розумного управління сміттям		
	BrighterBins Smart Platform	Sensoneo Waste Collection Route Planning Solution	Ecube Labs CleanCityNetworks
1	2	3	4
Країна виробника	Бельгія	Словакія	Південна Корея
Технології передачі даних	Sigfox, NB IoT, LoRa, чи GSM	4G, LTE, NB-IoT, LoRaWAN, GSM, SigFox чи CAT-M1	3G/2G, LoRaWAN чи NB-IoT
Розподіл за типом сміття	+	+	+
Розподіл за зонами/районами	+	+	-
Передбачення наповнення	На основі даних за попередній тиждень	На основі даних за попередній тиждень	-
Планування маршруту	Автоматично та вручну	Напівавтоматична	Напівавтоматична
Контроль вивозів	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Наповненість на момент вивозу</li> <li>• Порівняння фактичного і запланованого маршрутів</li> </ul>	Наповненість на момент вивозу
Особливості	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Чат для взаємодії з водіями</li> <li>• Календар запланованих маршрутів</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Перегляд вулиць</li> <li>• Розрахунок вартості маршруту</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Вибір точки початку маршруту</li> <li>• Налаштування сенсорів у режимі реального часу</li> </ul>

## ДОДАТОК Б

Графіки показників ультразвукових давачів рівня наповнення контейнера для сміття під час тестування у стресових умовах

Листів 2

Розробник

Боринець М.О.

Керівник

Лісневський Р.В.

Київ – 2022

## Графіки показників ультразвукових давачів рівня наповнення контейнера для сміття під час тестування у стресових умовах

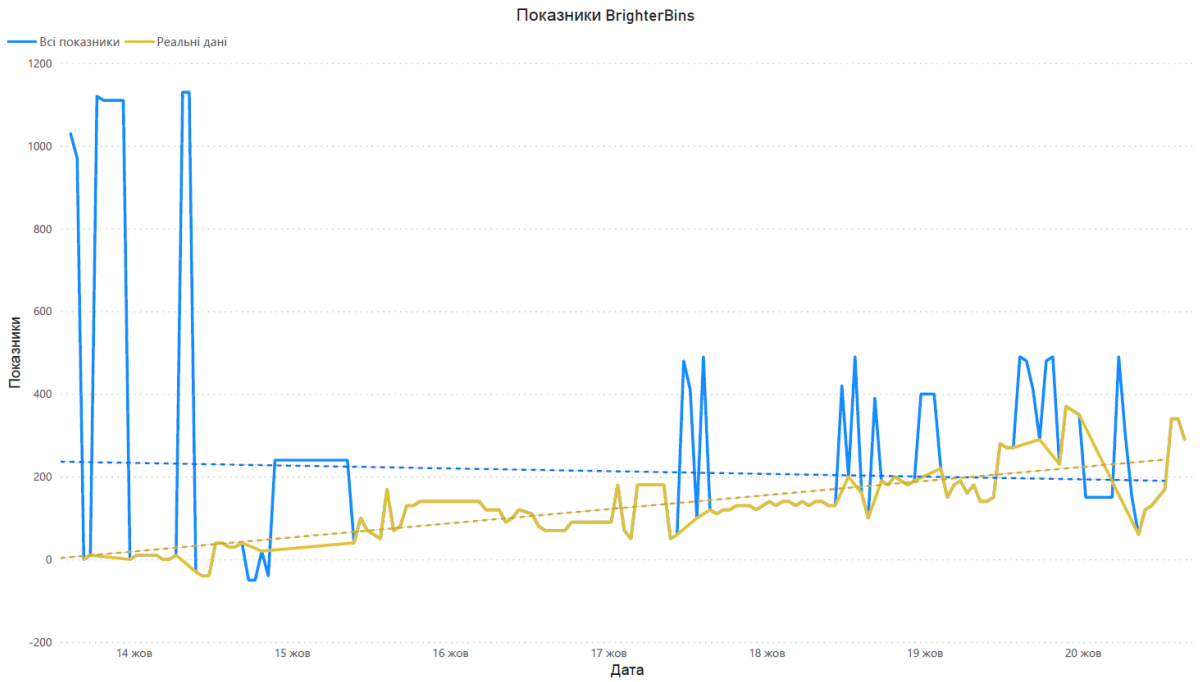


Рисунок Б.1 – Графік показників датчика BrighterBins Fill-level detector

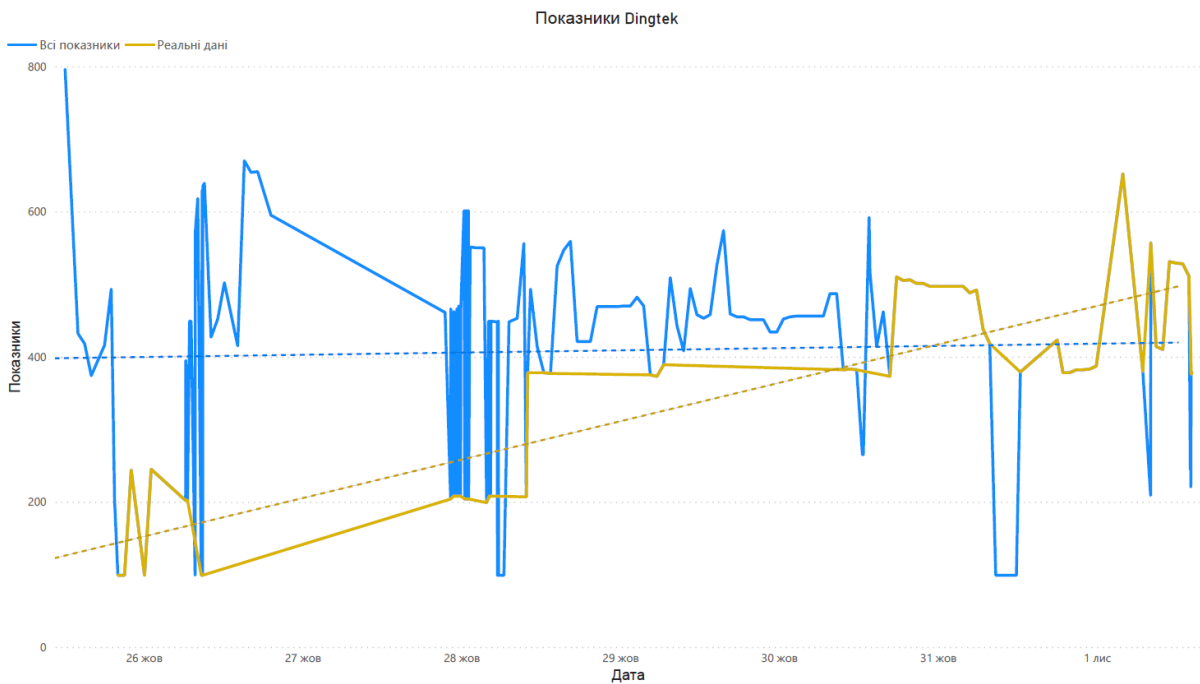
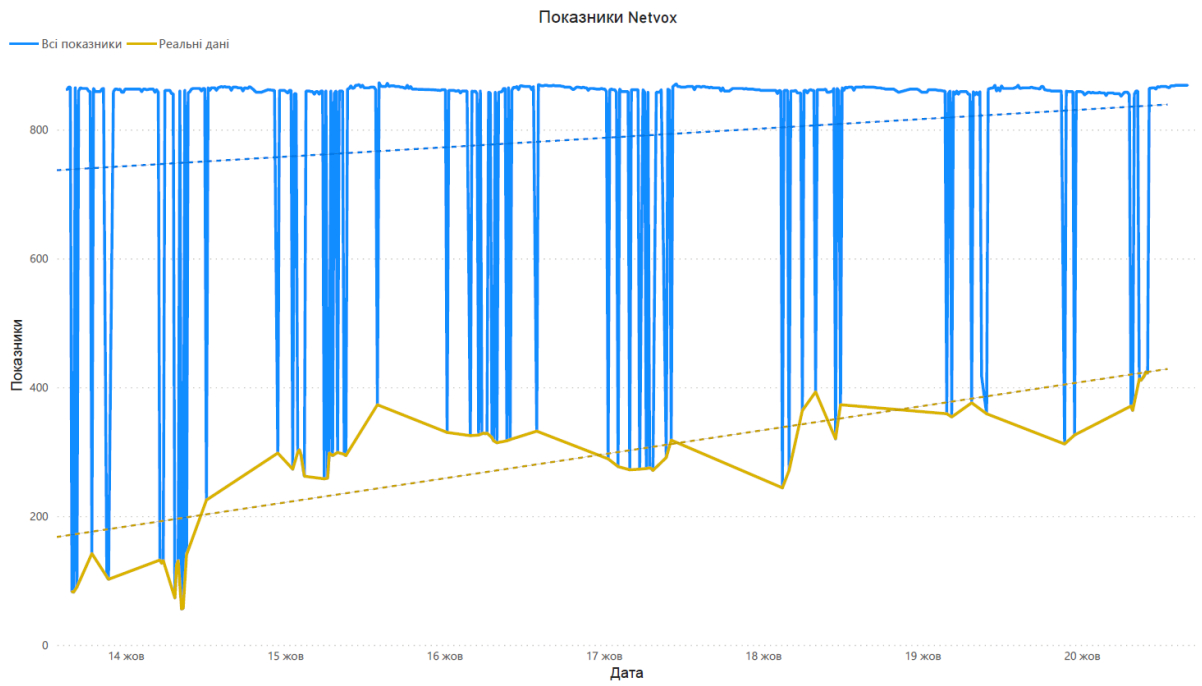


Рисунок Б.2 – Графік показників датчика Dingtek DF703 Waste Bin Detector



*Рисунок Б.3 – Графік показників датчика Netvox R718X Waste Bin Detector*

## ДОДАТОК В

Порівняння характеристик ультразвукових давачів рівня наповнення  
контейнера

Листів 1

Розробник

Боринець М.О.

Керівник

Лісневський Р.В.

Київ – 2022

**Порівняльна таблиця ультразвукових давачів рівня наповнення  
контейнера**

Характеристики	Варіанти ультразвукових давачів		
	<b>BrighterBins Fill-Level Detector</b>	<b>Dingtek DF703 Waste Bin Detector</b>	<b>Netvox R718X Waste Bin Detector</b>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Країна виробника	Бельгія	Китай	Тайвань
Технології, що підтримуються	NB IoT, LoRaWAN, GSM	Nb-IoT, LoRaWAN, SigFox, GPRS, 4G	LoRaWAN
Клас LoRaWAN	A	A	A
Кріплення	Отвори для гвинтів	-	3 боків
Максимальна дальність вимірювання	4,5 м	4 м	3,5 м
Точність вимірювання	±5%	±3 мм	±12 см
Захист від пилу та води	IP67	IP68	-
Елемент живлення	Акумулятор на 20000 мАг	Батарея на 8500 мАг	2 батарейки по 2600 мАг
Особливості	Поворотний сенсор	Сповіщення про перекидання, пожежу та переповнення	Кнопка живлення

## ДОДАТОК Г

JavaScript код декодеру даних давача BrighterBins Fill-level detector для  
платформи ThingsBoard

Листів 1

Розробник

Керівник

Боринець М.О.

Лісневський Р.В.

Київ – 2022

## JavaScript код декодеру даних давача BrighterBins Fill-level detector для платформи ThingsBoard

```
var data = decodeToJson(payload);
if (data.DevEUI_uplink) {
    var deviceName = data.DevEUI_uplink.DevEUI;
    var deviceType;
    var raw = data.DevEUI_uplink.payload_hex;
    var payload_hex = breakPayload(raw);
    var date = new Date(data.DevEUI_uplink.Time);
    var result = {
        deviceName: deviceName,
        deviceType: "BrighterBin wastebin",
        telemetry: {
            ts: date.valueOf(),
            values: {

            }
        }
    };
    getWasteData();

    result.telemetry.values.payload_hex =
payload_hex;
    result.telemetry.values.count =
data.DevEUI_uplink.FCntUp;
    result.telemetry.values.rssi =
data.DevEUI_uplink.LrrRSSI;
    result.telemetry.values.snr =
data.DevEUI_uplink.LrrSNR;
    result.telemetry.values.sf =
data.DevEUI_uplink.SpFact;
    result.telemetry.values.port =
data.DevEUI_uplink.FPort;
    result.telemetry.values.tsDate =
data.DevEUI_uplink.Time;
}

function getWasteData() {
    var battery, dist, percent, temperature,
messageType, angle, full, fire, fall, power;
    var message_type =
padStart(parseInt(payload_hex[2]).toString(2), 8,
'0').slice(6, 8);
    switch (message_type){
        case '01':
            messageType = 'Raw distance';
            var dist_bin =
padStart(parseInt(payload_hex[1]).toString(2), 8,
'0').slice(5, 8) +
padStart(parseInt(payload_hex[2]).toString(2), 8,
'0').slice(0, 6);
            dist = parseInt(dist_bin, 2) * 10;
            percent = (2000 - dist) / 20;
            var temp_bin =
padStart(parseInt(payload_hex[0]).toString(2), 8,
'0').slice(6, 8) +
padStart(parseInt(payload_hex[1]).toString(2), 8,
'0').slice(0, 5);
            temperature = parseInt(temp_bin, 2) - 40;

            var battery_bin =
padStart(parseInt(payload_hex[0]).toString(2), 8,
'0').slice(0, 6);
            battery = parseInt(battery_bin, 2) * 2;
            break;
        default:
            result.telemetry.values = {
                messageType: 'another'
            };
            break;
    }
    result.telemetry.values = {
        distance: dist,
        percent: percent,
        battery: battery,
        temperature: temperature,
        angle: angle,
        full: full,
        fire: fire,
        fall: fall,
        power: power,
        messageType: messageType
    };
}

/** Helper functions */

function decodeToJson(payload) {
    // convert payload to string.
    var str = decodeToString(payload);
    // parse string to JSON
    var data = JSON.parse(str);
    return data;
}

function breakPayload(raw) {
    var payload_hex = [];
    for (var i = 0; i < raw.length; i+=2) {
        payload_hex.push('0x' + raw[i] + raw[i+1]);
    }
    return payload_hex;
}

function padStart(value, len, symbol) {
    var res = value;
    for (var i = 0; i < len - value.length; i++) {
        res = symbol + res;
    }
    return res;
}

return result;
```

## ДОДАТОК Д

Блок-схеми алгоритмів системи аналізу та оптимізації маршруту вивозу  
сміття

Листів 2

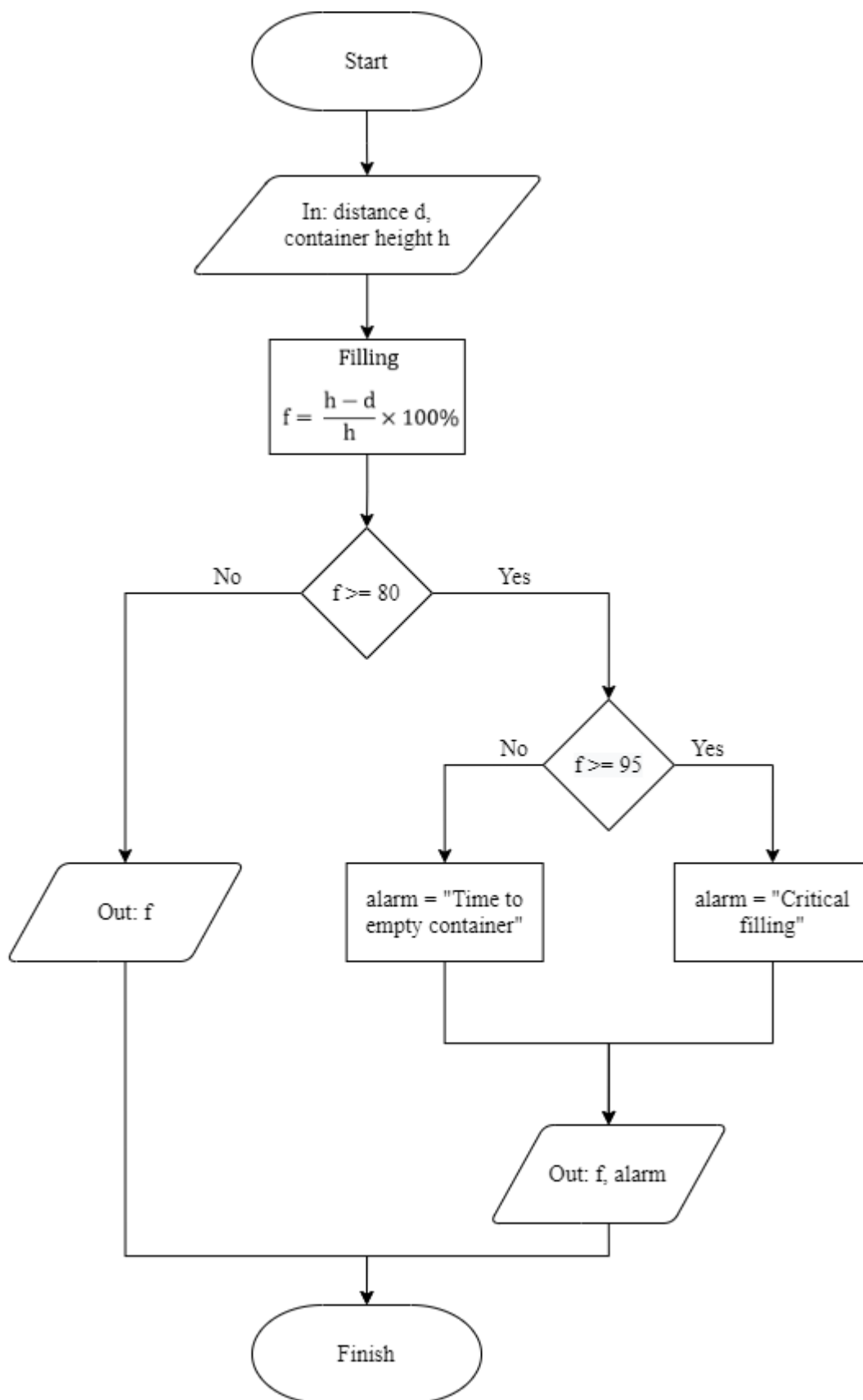
Розробник

Боринець М.О.

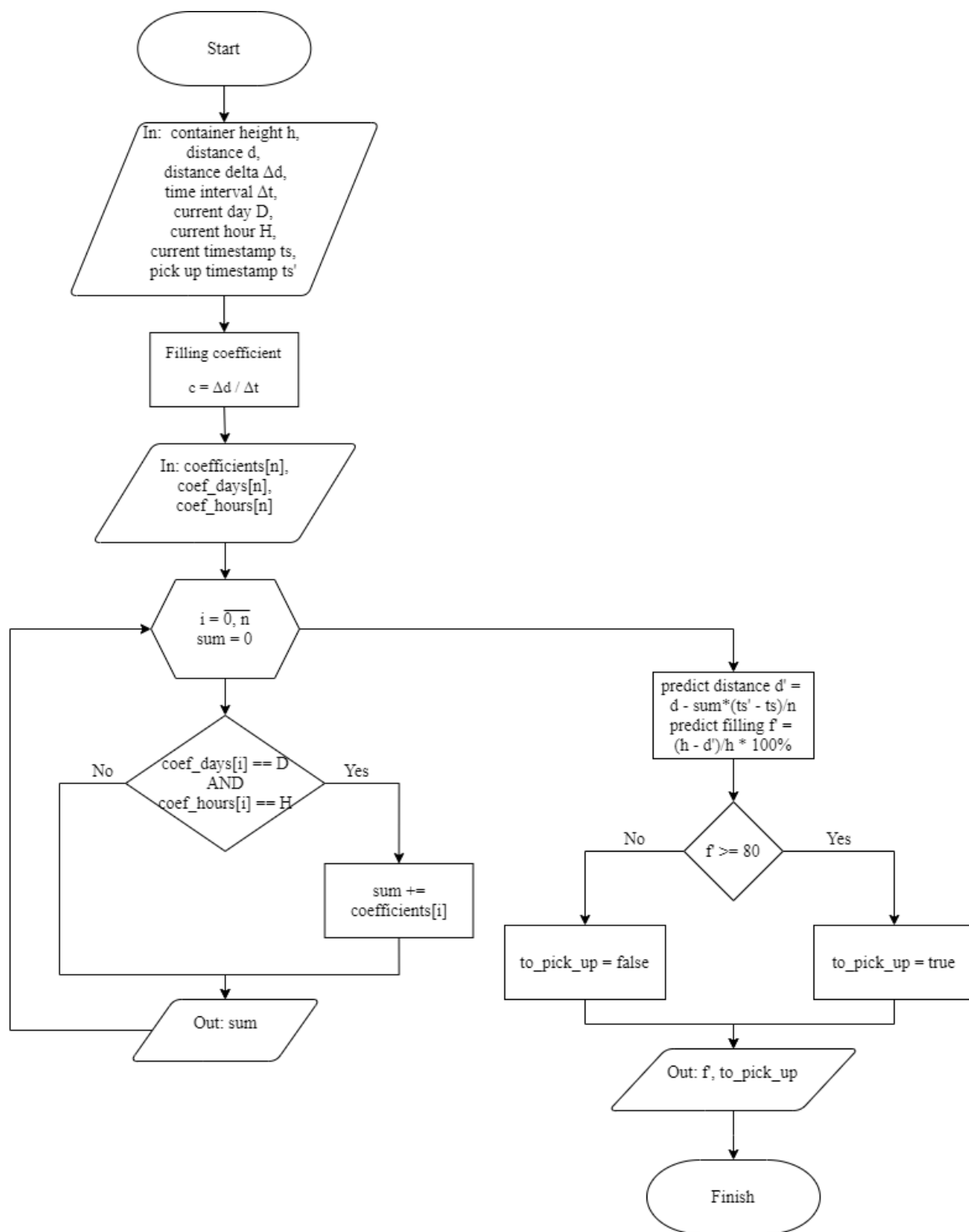
Керівник

Лісневський Р.В.

Київ – 2022



*Рисунок Д.1 - Блок-схема програмного алгоритму створення сповіщень про переповнення контейнеру для сміття*



*Рисунок Д.2 – Блок-схема програмного алгоритму розрахунку передбачуваного наповнення контейнера для сміття*

## ДОДАТОК Е

Код функцій JavaScript для налаштування відображення мапи у платформі  
ThingsBoard  
Листів 1

Розробник  
Керівник

Боринець М.О.  
Лісневський Р.В.

Київ – 2022

## Функція відображення ярлика

### (label function)

```
var deviceType = dsData[dsIndex]['Type'];
var color = dsData[dsIndex]['percent'] >= 80 ? 'red':
'black';
if (typeof deviceType !== undefined) {
  if (deviceType == "Depot") {
    return '<div style="position: relative; white-
space: nowrap; text-align:center; font-size: 14px; top:
5px;"><span style="border: 2px solid #000; border-
radius: 10px;color: #000; background-color: #fff;
padding-left: 5px; padding-right:5px; padding-top:
3px; padding-bottom:
3px;">${entityName}</span></div>';
  } else {
    return '<div style="position: relative; white-
space: nowrap; text-align:center; font-size: 14px; top:
1px;"><span style="border: 2px solid #000; border-
radius: 10px;color: ' + color + '; background-color:
#fff; padding-left: 5px; padding-right:5px; padding-
top: 3px; padding-bottom: 3px;">${percent}
%</span></div>';
  }
}
```

## Функція відображення підказки

### (tooltip function)

```
var deviceType = dsData[dsIndex]['Type'];
if (typeof deviceType !== undefined) {
  if (deviceType == "Depot") {
    return
'<b>${entityName}</b><br/><b>Адреса:</b>
${address}<br/>';
  } else {
    return '<b style="font-size:
14px;">${address:7}</b><br/><b>Заповненість:</b>
> ${percent} %<br/><b>Через годину:</b>
${predict} %<br/><b>На момент планового
вивозу:</b> ${predict_fill_default}
%<br/><b>Через 12 годин:</b>
${predict_fill_12_hours} %<br/><b>Через 24
години:</b> ${predict_fill_next_day}
%<br/><b>Остання активність:</b>
${lastActivityTime}<br/><link-act
name="details">Детальніше</link-act><br/>';
  }
}
```

## Функція відображення кольору

### маркера (color function)

```
var distance = dsData[dsIndex]['percent'];
if (typeof distance !== undefined) {
  return tinycolor.mix('#9BFB01', 'red',
amount = distance).toHexString();
}
return 'blue'
```

## ДОДАТОК Є

Слайди презентації кваліфікаційної роботи бакалавра  
Листів 6

Розробник

Керівник

Боринець М.О.

Лісневський Р.В.

Київ – 2022

# Кваліфікаційна робота

**Тема:** «Система аналізу та оптимізації маршруту вивозу сміття на базі спеціалізованого комунального підприємства "Київтелесервіс"»

ВИКОНАВ: СТУДЕНТ ГРУПИ ІР-41

МИКОЛА БОРИНЕЦЬ

КЕРІВНИК: К.Т.Н., ДОЦЕНТ РОСТИСЛАВ ЛІСНЕВСЬКИЙ

**Мета бакалаврської роботи:** Проектування та розробка системи аналізу та оптимізації маршруту вивозу сміття на базі спеціалізованого комунального підприємства "Київтелесервіс", розробка веб-застосунку для полегшення роботи диспетчера та водіїв транспортної компанії.

**Об'єкт дослідження:** Елементи та складові системи автоматизації, побудованої на базі технологій та ресурсів, доступних на підприємстві.

**Предмет дослідження:** Розробка веб-застосунку для реалізації користувацького інтерфейсу системи аналізу та оптимізації маршруту вивозу сміття.

**Апробація результатів:** Було подано тези доповідей на VIII Міжнародну науково-технічну Internet-конференцію. Боринець М.О., Лісневський Р.В. Автоматизована система аналізу та оптимізації маршруту вивезення побутових відходів на базі комунального підприємства. «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами»: матеріали VIII Міжн. наук.-тех. конф., 26 лист. 2021 р. Київ : НУХТ. С. 70.

## Задачі кваліфікаційної роботи

---

1. провести аналіз сфери застосування систем аналізу та оптимізації маршруту вивозу сміття;
2. дослідити особливості та ресурси спеціалізованого комунального підприємства «Київтелесервіс», які потрібно врахувати при проектуванні системи;
3. розробити фізичну модель системи аналізу та оптимізації маршруту вивозу сміття;
4. підібрати компоненти системи згідно розробленої фізичної моделі;
5. розробити алгоритм обробки даних, включно з прогнозування наповнення контейнерів та створення маршруту їх вивозу;
6. реалізувати графічний інтерфейс користувача.

## Актуальність проблеми

---

- Згідно з даними міністерства розвитку громад та територій України за 2020 рік у країні утворилося майже 54 млн. м<sup>3</sup> (10 млн. тон) побутових відходів, і кожного року це значення зростає приблизно на 1 млн м<sup>3</sup>.
- Налагодження оптимальності планування вивезення сміття може займати великий проміжок часу
- Проблема своєчасності спустошення контейнерів
- Негативний вплив на екологію



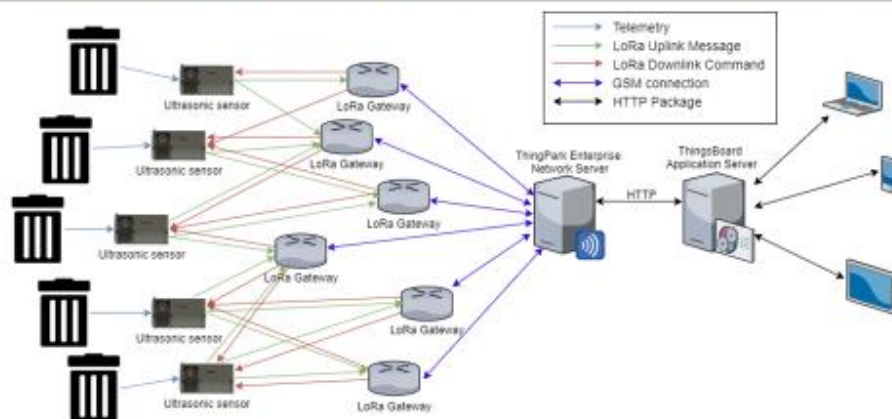
## Огляд існуючих аналогів систем розумного управління вивезенням відходів

	Аналоги системи*	Створена система
Засоби вимірювання	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ультразвукові, лазерні давачі</li> <li>розумні смітники</li> </ul>	Ультразвукові давачі
Розподіл контейнерів	<ul style="list-style-type: none"> <li>За типом сміття</li> <li>За районами</li> </ul>	За районами міста
Передбачення наповнення	На основі даних за попередній тиждень	З поправкою на день тижня та годину доби
Планування маршруту	<ul style="list-style-type: none"> <li>Автоматичне</li> <li>Напівавтоматичне</li> <li>Вручну</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Напівавтоматичне</li> <li>Вручну</li> </ul>
Контроль вивозів	<ul style="list-style-type: none"> <li>Наповненість на момент вивозу</li> <li>Порівняння фактичного і запланованого маршрутів</li> </ul>	Таблиця сповіщень

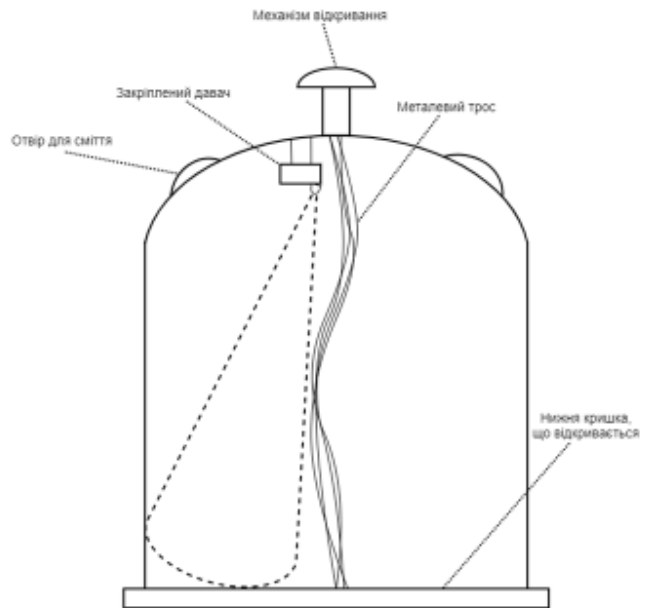
\*у якості аналогів було розглянуто:

- BrighterBins Smart Platform
- Sensoneo Waste Collection Route Planning Solution
- Ecube Labs
- CleanCityNetworks

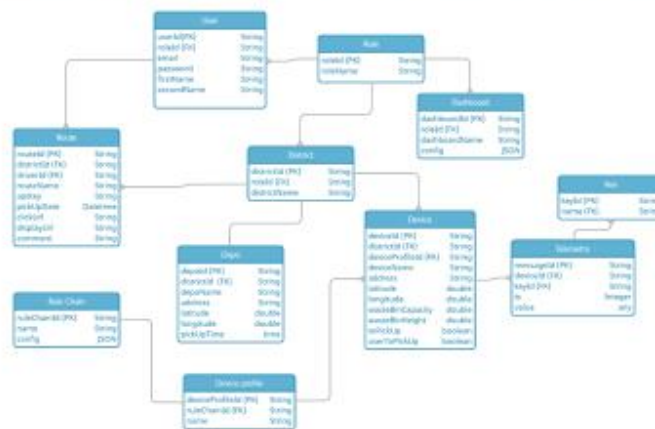
## Архітектура системи аналізу та оптимізації маршруту вивозу сміття



## Схема розміщення давача в контейнері



## Фізична модель системи аналізу та оптимізації маршруту вивозу сміття







## Застосунок водія



## Висновки

У ході виконання бакалаврської роботи було здійснено:

1. Аналіз сфери застосування систем розумного управління відходами.
2. Порівняльний аналіз існуючих аналогів систем розумного управління відходами.
3. Розгляд архітектури системи аналізу та оптимізації маршруту вивозу сміття на базі мережі LoRaWAN СКП «Київтелесервіс».
4. Порівняння та вибір ультразвукових датчиків рівня наповнення контейнера для сміття.
5. Створення фізичної моделі даних системи на базі моделі даних платформи ThingsBoard.
6. Розробка та реалізація алгоритму створення сповіщень про перепоповнення контейнеру для сміття.
7. Розробка та реалізація алгоритму прогнозування наповнення контейнерів для сміття для побудови маршруту їх вивозу.
8. Реалізація інтерфейсу користувача у вигляді веб-застосунків для диспетчера та водіїв транспортної компанії.