

В. А. Гнатюк
О. С. Городецька
С. В. Городецька

РОЗПОДІЛЕНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ МІСЬКОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ З ВИКОРИСТАННЯМ РЕЛЯЦІЙНОЇ БАЗИ ДАНИХ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі розроблено розподілену систему моніторингу стану міської інфраструктури, що забезпечує фіксацію, збереження та візуалізацію інформації про інфраструктурні проблеми. Архітектура системи базується на клієнт-серверній моделі з використанням реляційної бази даних PostgreSQL, розгорнутої у хмарному середовищі Supabase. Особливу увагу приділено організації структури бази даних, зберігання геопросторових даних та реалізації механізмів керування доступом на основі технології Row Level Security (RLS). Запропоноване рішення забезпечує ефективне накопичення та обробку даних громадського моніторингу з можливістю їх подальшої візуалізації на інтерактивній мапі міста.

Ключові слова: розподілена система, реляційна база даних, PostgreSQL, громадський моніторинг, міська інфраструктура, геопросторові дані, Supabase.

Abstract

This document presents a distributed system for monitoring the condition of urban infrastructure, which enables the recording, storage, and visualization of information regarding infrastructure issues. The system architecture is based on a client-server model using a PostgreSQL relational database deployed in the Supabase cloud environment. Particular attention is paid to the organization of the database structure, the storage of geospatial data, and the implementation of access control mechanisms based on Row Level Security (RLS) technology. The proposed solution ensures the efficient collection and processing of public monitoring data with the ability to visualize it on an interactive city map.

Keywords: distributed system, relational database, PostgreSQL, public monitoring, urban infrastructure, geospatial data, Supabase.

Вступ

У сучасних умовах розвиток концепції «розумного міста» (Smart City) вимагає впровадження ефективних інструментів взаємодії між мешканцями та муніципальними службами. Традиційні методи звернень часто є застарілими та не забезпечують належного рівня прозорості та оперативності. Це зумовлює потребу у створенні автоматизованих систем, які дозволяють громадянам самостійно фіксувати дефекти інфраструктури (стан доріг, освітлення) за допомогою мобільних пристроїв та GPS-координат.

Метою роботи є розробка розподіленої системи, яка забезпечує збір, обробку та візуалізацію даних про стан міських об'єктів у режимі реального часу, мінімізуючи витрати на підтримку серверної частини завдяки використанню сучасних BaaS-рішень (Backend-as-a-Service).

Архітектура розподіленої системи

Система реалізована як розподілена структура, де клієнтська частина (мобільний додаток) та серверна частина (хмарний бекенд) розділені для забезпечення максимальної відмовостійкості.

Рівень представлення: мобільний інтерфейс для Android (8.0+) та iOS (13.0+).

Рівень логіки: використання PostgREST API для миттєвої взаємодії з БД без написання проміжного коду.

Рівень даних: PostgreSQL з підтримкою JSONB для зберігання медіа-даних та PostGIS-сумісних координат.

Функціональні ролі в системі

Система побудована на розподілі обов'язків між двома типами користувачів: громадянин та працівник служби нагляду.

Громадянин: основне джерело даних. Виконує створення заявки, що включає фотофіксацію проблеми, опис, вибір категорії та автоматичне зняття GPS-координат об'єкта. Має доступ до інтерактивної мапи для візуалізації всіх заявок у місті та систему підтримки («апвоутів») для виділення найбільш критичних проблем.

Працівник служби нагляду: роль модератора та виконавця. Працівник має доступ до розширеного функціоналу моніторингу, що дозволяє переглядати повний список проблем та, що найважливіше, управляти життєвим циклом заявки шляхом зміни її статусів (наприклад, з «Прийнято» на «Виконано»)

Алгоритм взаємодії та життєвий цикл заявки

Центральним елементом логіки системи є алгоритм обробки звернення, який забезпечує перехід заявки від моменту фіксації громадянином до звіту про виконання працівником служби.

Процес включає такі кроки.

Формування звернення: користувач заповнює поля (фото, категорія, опис), при цьому система автоматично зчитує GPS-координати для прив'язки до території.

Валідація та збереження: на сервері перевіряється наявність фото та координат. Фото завантажується у Storage, а посилання на нього зберігається в масиві `image_urls` у таблиці `tickets`.

Візуалізація: дані синхронізуються з картографічною основою. Координати (`latitude`, `longitude`) відображаються у вигляді маркерів, колір яких відповідає поточному статусу проблеми.

Зміна стану: працівник служби нагляду аналізує пріоритетність (через кількість «апвоутів») та змінює статус. При кожній зміні статусу користувач отримує Push-сповіщення.

Організація бази даних та безпека (RLS)

Центральним елементом системи є реляційна база даних, спроектована для підтримки високої цілісності. На відміну від традиційних систем, де логіка доступу реалізована на сервері застосунків, тут використано механізм Row Level Security (RLS).

Таблиця `profiles`: Зберігає ідентифікатори `uuid` із сервісу автентифікації та полі `user_role` (`citizen/worker`).

Таблиця `tickets`: Містить поля `latitude` та `longitude` типу `float8` для геоприв'язки. Політики дозволяють додавати записи лише авторизованим користувачам, а змінювати статус — виключно працівникам (`worker`).

Таблиця `upvotes`: Реалізована для пріоритезації заявок. Унікальний індекс на пару (`ticket_id`, `user_id`) запобігає повторному голосуванню одного користувача за одну проблему.

Схему бази даних з сутностями та зв'язками наведено на рис. 1.

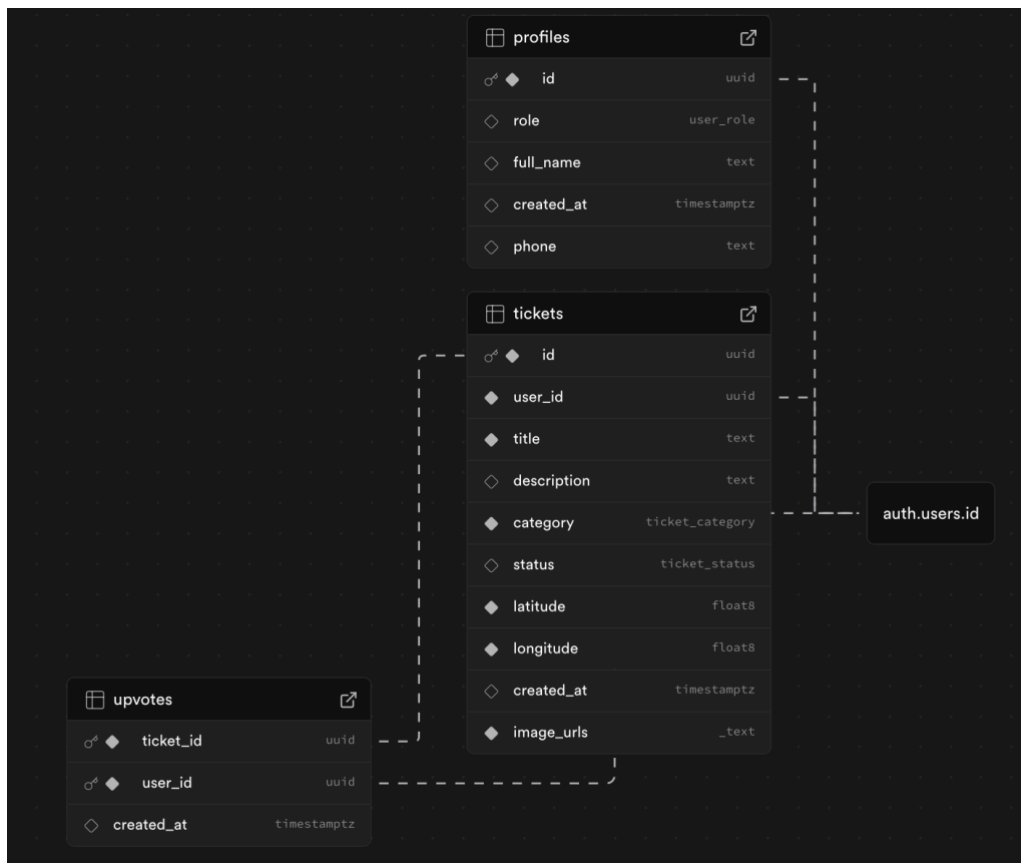


Рисунок 1 – Схема бази даних

Висновки

У ході виконання роботи було розроблено розподілену комп'ютерну систему громадського моніторингу та візуалізації стану об'єктів міської інфраструктури. На основі проведеного аналізу предметної області та технічних засобів можна зробити наступні висновки.

Проектування архітектури: реалізовано трирівневу розподілену архітектуру, що поєднує мобільні клієнтські додатки та хмарну BaaS-платформу Supabase, що забезпечує високу масштабованість системи при мінімальних витратах на адміністрування.

Управління даними та безпека: за допомогою механізму Row Level Security (RLS) на рівні PostgreSQL забезпечено чітке розмежування прав доступу: громадяни мають змогу створювати заявки та підтримувати існуючі, тоді як право на зміну статусів звернень належить виключно працівникам служб нагляду.

Функціональні можливості: впроваджено алгоритм автоматичного збору GPS-координат та фотофіксації об'єктів у момент створення заявки, що дозволяє формувати об'єктивну базу даних інфраструктурних проблем для їх подальшої візуалізації на інтерактивній мапі.

Економічна ефективність: використання безкоштовного рівня послуг хмарної інфраструктури та відкритих картографічних ресурсів дозволяє розгорнути платформу без капітальних витрат на ліцензії, що є важливим для муніципальних бюджетів.

Надійність: проведені тестування за методологією «білої скрині» підтвердило цілісність бази даних при збоях у роботі мережі та коректність роботи логічних розгалужень при наданні або відмові у доступі до сенсорів пристрою (GPS).

Розроблена система є ефективним інструментом для побудови «розумного міста», оскільки вона забезпечує прямий канал зв'язку між громадою та владою, підвищуючи прозорість та швидкість реагування на комунальні проблеми.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Офіційна документація Supabase [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://supabase.com/docs> (дата звернення: 14.03.2026).
2. PostgreSQL Row Level Security Policies [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.postgresql.org/docs/current/ddl-rowsecurity.html> (дата звернення: 14.03.2026).
3. Колесник І. С. Система розпізнавання напрямку руху за допомогою комп'ютерного зору / І. С. Колесник, О. С. Городецька, Н. В. Добровольська // Вісник Вінницького політехнічного інституту, – 2025. – Випуск 2. – С. 187-194. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2025-179-2-187-194>
4. Kyrylashchuk, S., Horodetska, O., Voitsekhovska, O., Zakharchenko, S. (2024). Order Forecasting System for Vehicles Based on Previous Statistics Requests. In: Babichev, S., Lytvynenko, V. (eds) Lecture Notes in Data Engineering, Computational Intelligence, and Decision-Making, Volume 1. ISDMCI 2024. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol 219. Pages 116-131 Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-70959-3_6

Гнатюк Володимир Андрійович – студент групи 2СП-22б, факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: vololdymyr.gn@gmail.com

Городецька Оксана Степанівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри обчислювальної техніки Вінницького національного технічного університету, Вінниця.

Городецька Софія Віталіївна – учениця 11-М1 класу, комунальний заклад «Подільський науковий ліцей» Вінницької обласної Ради, e-mail: horodetska.s@gmail.com.

Hnatiuk Volodymyr – student of group 2SP-22b, faculty of information technologies and computer engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vololdymyr.gn@gmail.com

Horodetska Oksana – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor of the Computer Techniques Chair Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Horodetska Sofiia – lyceum student of the 11-M1 class, Municipal Institution "Podilskyi Scientific Lyceum" of the Vinnytsia Regional Council, e-mail: horodetska.s@gmail.com.