

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Інтегровані мультимодальні транспортні системи для сталої міської мобільності (на прикладі міста Рівне) (комплексна тема)

Виконав(ла): студент(ка) 6 курсу, групи МНм-61

спеціальності 275.03 Транспортні технології

(на автомобільному транспорті)

|               |                     |                                                             |
|---------------|---------------------|-------------------------------------------------------------|
|               | <div>(підпис)</div> | <div>Сигловий М. В.</div> <div>(прізвище та ініціали)</div> |
|               | <div>(підпис)</div> | <div>Коваль О. М.</div> <div>(прізвище та ініціали)</div>   |
| Керівник      | <div>(підпис)</div> | <div>Вовк Ю.Я.</div> <div>(прізвище та ініціали)</div>      |
| Нормоконтроль | <div>(підпис)</div> | <div>Плекан У.М.</div> <div>(прізвище та ініціали)</div>    |
| Зав. кафедри  | <div>(підпис)</div> | <div>Цьонь О.П.</div> <div>(прізвище та ініціали)</div>     |
| Рецензент     | <div>(підпис)</div> | <div></div> <div>(прізвище та ініціали)</div>               |

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

Кафедра автомобілів

(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри

Цьонь О.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« »

2025 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня магістр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 275 «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)»

(шифр і назва спеціальності)

студенту Сигловому Максиму Вікторовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Інтегровані мультимодальні транспортні системи для сталої міської мобільності (на прикладі міста Рівне) (комплексна тема)

Керівник роботи Плекан У.М., к.е.н., доц.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «14» листопада 2025 року № 4/7-971.

2. Термін подання студентом завершеної роботи 19.12.2025

3. Вихідні дані до роботи Інформаційні матеріали, джерела з мережі Інтернет

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Вступ. 2. Теоретичний розділ. 3. Аналітико-дослідницький розділ. 4. Проектно-рекомендаційний розділ. 5. Охорона праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях. 6. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)  
Ілюстративний матеріал

## 6. Консультанти розділів роботи

[illegible]

7. Дата видачі завдання 14.11.2025

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

[illegible]

Студент

(підпис)

Сигловий Максим Вікторович

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

# Плекан Уляна Михайлівна

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

Кафедра автомобілів

(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри

Цьонь О.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« »

2025 р.

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня магістр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 275 «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)»

(шифр і назва спеціальності)

студенту Ковалю Олегу Миколайовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Інтегровані мультимодальні транспортні системи для сталої міської мобільності (на прикладі міста Рівне) (комплексна тема)

Керівник роботи Плекан У.М., к.е.н., доц.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «14» листопада 2025 року № 4/7-971.

2. Термін подання студентом завершеної роботи 19.12.2025

3. Вихідні дані до роботи Інформаційні матеріали, джерела з мережі Інтернет

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Вступ. 2. Теоретичний розділ. 3. Аналітико-дослідницький розділ. 4. Проектно-рекомендаційний розділ. 5. Охорона праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях. 6. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)  
Ілюстративний матеріал

## 6. Консультанти розділів роботи

[illegible]

7. Дата видачі завдання 14.11.2025

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

[illegible]

Студент

(підпис)

Коваль Олег Миколайович

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Плекан Уляна Михайлівна

(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

**Сигловий Максим Вікторович, Коваль Олег Миколайович. Інтегровані мультимодальні транспортні системи для сталої міської мобільності (на прикладі міста Рівне) (комплексна тема) – Рукопис.**

Кваліфікаційні робота на здобуття освітнього ступеня магістр за спеціальністю 275.03 – транспортні технології (на автомобільному транспорті). – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, – Тернопіль, 2025.

Об'єкт дослідження: міська транспортна система м. Рівне.

Предмет дослідження: процеси організації та функціонування інтегрованих мультимодальних транспортних систем для забезпечення сталої міської мобільності.

Мета роботи: розробка науково обґрунтованих рекомендацій щодо впровадження мультимодальної транспортної системи у містах України на основі аналізу світового досвіду, з розрахунком техніко-експлуатаційних показників та економічної ефективності.

Результати роботи: проведено комплексний аналіз світового досвіду впровадження мультимодальних транспортних систем у містах. Розроблено концептуальну модель інтегрованої транспортної системи для м. Рівне, яка передбачає створення єдиної платформи планування поїздок (MaaS), інтеграцію тарифів, розвиток велоінфраструктури та оптимізацію маршрутної мережі громадського транспорту. Виконано розрахунок техніко-експлуатаційних показників. Економічна ефективність проєкту:  $NPV = 145,2$  млн грн,  $IRR = 23,4\%$ , термін окупності – 6,3 року. Розроблено заходи з охорони праці та безпеки життєдіяльності персоналу транспортних підприємств.

**МУЛЬТИМОДАЛЬНІСТЬ, СТАЛА МОБІЛЬНІСТЬ, MaaS, ГРОМАДСЬКИЙ ТРАНСПОРТ, ВЕЛОІНФРАСТРУКТУРА, ІНТЕГРАЦІЯ ТАРИФІВ, ТЕХНІКО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ПОКАЗНИКИ, ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ.**

## ABSTRACT

**Syhlovyi Maksym Viktorovych, Koval Oleh Mykolayovych. Integrated multimodal transport systems for sustainable urban mobility (case study: Rivne) (complex topic) – Manuscript.**

Qualification thesis for obtaining a master's degree in the specialty 275.03 – Transport Technologies (in Road Transport). – Ternopil Ivan Puluj National Technical University, – Ternopil, 2025.

Object of research: the urban transport system of Rivne City.

Subject of research: the processes of organizing and functioning of integrated multimodal transport systems aimed at ensuring sustainable urban mobility.

Purpose of the study: to develop scientifically grounded recommendations for the implementation of multimodal transport systems in Ukrainian cities based on the analysis of international experience, including the calculation of technical and operational indicators and economic efficiency.

Research results: a comprehensive analysis of global practices in implementing multimodal transport systems in urban environments was conducted. A conceptual model of an integrated transport system for Rivne City was developed, envisaging the creation of a unified trip planning platform (MaaS), tariff integration, the development of cycling infrastructure, and the optimization of the public transport route network. Technical and operational indicators were calculated. Economic efficiency of the project: NPV = 145.2 million UAH, IRR = 23.4%, payback period – 6.3 years. Measures for occupational safety and health protection of transport enterprise personnel were also developed.

MULTIMODALITY, SUSTAINABLE MOBILITY, MaaS, PUBLIC TRANSPORT, CYCLING INFRASTRUCTURE, TARIFF INTEGRATION, TECHNICAL AND OPERATIONAL INDICATORS, ECONOMIC EFFICIENCY.

## ЗМІСТ

|                                                                                             |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ВСТУП .....                                                                                 | 10  |
| 1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ У МІСЬКОМУ СЕРЕДОВИЩІ .....        | 13  |
| 1.1. Концепція сталої міської мобільності та роль мультимодальності .....                   | 13  |
| 1.2. Світові тренди розвитку інтегрованих транспортних систем .....                         | 18  |
| 1.3. Формулювання завдань .....                                                             | 23  |
| 2. АНАЛІЗ СВІТОВОГО ДОСВІДУ ВПРОВАДЖЕННЯ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ.....           | 27  |
| 2.1. Кейс-стади: Гельсінкі (MaaS-модель Whim) .....                                         | 27  |
| 2.2. Кейс-стади: Відень (інтеграція громадського транспорту) .....                          | 31  |
| 2.3. Кейс-стади: Сінгапур (планування транспорту на основі Big Data) .....                  | 37  |
| 2.4. Порівняльний аналіз технічних і організаційних рішень.....                             | 43  |
| 3. РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ВПРОВАДЖЕННЯ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ СИСТЕМ У МІСТАХ УКРАЇНИ.....     | 50  |
| 3.1. Характеристика транспортної системи м. Рівне як об'єкта дослідження .                  | 50  |
| 3.2. Проектування моделі інтегрованої транспортної системи для Рівного ....                 | 56  |
| 3.3. Аналіз техніко-експлуатаційних показників запропонованої моделі.....                   | 68  |
| 3.4. Економічна ефективність впровадження мультимодальної системи .....                     | 74  |
| 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....                                  | 83  |
| 4.1. Охорона праці персоналу транспортних підприємств при реалізації проекту .....          | 83  |
| 4.2. Захист персоналу та навколишнього середовища від небезпечних виробничих факторів ..... | 91  |
| ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....                                                                      | 96  |
| ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....                                                                       | 98  |
| ДОДАТКИ .....                                                                               | 104 |
| ДОДАТОК А Розклад руху магістрального тролейбусного маршруту №1 (проект).....               | 104 |

|                                                                                               |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ДОДАТОК Б Анкета соціологічного опитування мешканців м. Рівне щодо транспортних переваг ..... | 105 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

## ВСТУП

Актуальність теми. Сучасні міста України стикаються з критичними проблемами транспортної системи: хронічні затори, низька якість громадського транспорту, надмірна залежність від приватних автомобілів, високий рівень забруднення повітря та травматизму на дорогах. За даними дослідження TomTom Traffic Index (2024), рівень заторів у Києві становить 54%, що означає, що 30-хвилинна поїздка у піковий час займає в середньому 46 хвилин – втрата 16 хвилин або 53% додаткового часу. У Львові цей показник сягає 47%, у Дніпрі – 42%. Щорічні економічні втрати від заторів лише у столиці оцінюються у 45-50 млрд грн.

Водночас частка громадського транспорту у modal split (розподіл поїздок між видами транспорту) українських міст скорочується. Якщо у 2010 році у Києві 65% поїздок здійснювалося громадським транспортом, то у 2024 році – лише 48%, при цьому частка приватних автомобілів зросла з 28% до 45% . У містах обласного значення (Рівне, Луцьк, Тернопіль) ситуація ще критичніша: частка громадського транспорту впала до 35-40%, а пішохідних та велосипедних переміщень – до 8-12% .

Ця тенденція суперечить глобальному тренду сталого розвитку міст, закріпленому у Цілі сталого розвитку ООН №11 «Сталий розвиток міст та спільнот». Європейський Союз у Зеленій угоді (European Green Deal, 2019) поставив амбітну мету: до 2030 року скоротити викиди парникових газів від транспорту на 55%, а до 2050 року – досягти вуглецевої нейтральності . Ключовим інструментом досягнення цих цілей є перехід до інтегрованих мультимодальних транспортних систем – концепції, яка передбачає безшовну інтеграцію різних видів транспорту (автобус, трамвай, метро, велосипед, каршерінг, електросамокати) у єдину екосистему з єдиним тарифом, цифровою платформою планування поїздок та скоординованими розкладами .

Провідні європейські міста вже досягли значних успіхів у цьому напрямку. Гельсінкі (Фінляндія) з 2016 року впроваджує модель Mobility-as-a-Service (MaaS) через додаток Whim, який об'єднує 10 видів транспорту в єдину підписку .

Результат: частка приватних автомобілів знизилася з 42% до 34% за 5 років, викиди CO<sub>2</sub> – на 12% . Відень (Австрія) завдяки інтеграції тарифів, високій щільності громадського транспорту (6,5 км ліній на км<sup>2</sup> території) та розвиненій велоінфраструктурі досяг показника 73% поїздок сталими видами транспорту (громадський транспорт + велосипед + піші переміщення) . Сінгапур застосовує технології Big Data та штучного інтелекту для динамічного ціноутворення на дорогах, оптимізації маршрутів автобусів у реальному часі та інтеграції автономних шатлів .

Для України, яка отримала статус кандидата на вступ до ЄС у червні 2022 року, гармонізація транспортної політики з європейськими стандартами є обов'язковою умовою євроінтеграції. Стратегія розвитку транспортної галузі України до 2030 року (затверджена КМУ у 2021 р.) декларує курс на розвиток сталої мобільності, але практичні кроки з впровадження мультимодальних систем залишаються фрагментарними . Відсутні єдині стандарти інтеграції тарифів, цифрові платформи MaaS, системні інвестиції у велоінфраструктуру та пересадочні вузли.

У цьому контексті актуальним є науково-практичне завдання адаптації світового досвіду мультимодальних транспортних систем до умов українських міст, з урахуванням специфіки їх розвитку, фінансових можливостей та соціально-економічних викликів воєнного та повоєнного періодів.

Мета дослідження – розробити науково обґрунтовані рекомендації щодо впровадження інтегрованої мультимодальної транспортної системи у містах України на основі аналізу світового досвіду, з розрахунком техніко-експлуатаційних показників та економічної ефективності на прикладі м. Рівне.

Об'єкт дослідження: міська транспортна система м. Рівне як репрезентативний приклад обласного центру України з населенням 245 тис. осіб.

Предмет дослідження: процеси організації та функціонування інтегрованих мультимодальних транспортних систем для забезпечення сталої міської мобільності.

Завдання дослідження:

1. Проаналізувати теоретичні засади концепції сталої міської мобільності та роль мультимодальності у її досягненні.
2. Виконати порівняльний аналіз світового досвіду впровадження мультимодальних транспортних систем у містах Гельсінкі, Відень та Сінгапур.
3. Розробити концептуальну модель інтегрованої транспортної системи для м. Рівне з урахуванням специфіки українського контексту.
4. Розрахувати техніко-експлуатаційні показники запропонованої системи (пасажиропотік, швидкість сполучення, коефіцієнт використання рухомого складу).
5. Виконати економічний аналіз проєкту впровадження (CAPEX, OPEX, NPV, IRR, термін окупності).
6. Оцінити екологічний ефект (скорочення викидів CO<sub>2</sub>, покращення якості повітря).
7. Розробити заходи з охорони праці персоналу транспортних підприємств при реалізації проєкту.

Методи дослідження: системний аналіз транспортних систем, метод порівняльних аналогій (benchmarking) для оцінки міжнародного досвіду, математичне моделювання транспортних потоків (гравітаційна модель), методи проєктного аналізу (NPV, IRR, термін окупності), статистичний аналіз даних пасажиропотоків, соціологічне опитування мешканців.

Практична значущість. Результати дослідження можуть бути використані органами місцевого самоврядування міст обласного значення України (Рівне, Луцьк, Тернопіль, Чернівці, Івано-Франківськ) для розробки Планів сталої міської мобільності (Sustainable Urban Mobility Plans, SUMP) відповідно до вимог ЄС. Запропонована модель інтеграції транспортних підсистем та методика розрахунку ефективності можуть бути масштабовані на інші міста України з населенням 100-500 тис. осіб.

# 1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ У МІСЬКОМУ СЕРЕДОВИЩІ

## 1.1. Концепція сталої міської мобільності та роль мультимодальності

Стала міська мобільність (Sustainable Urban Mobility) – це концепція організації транспортних систем міст, яка забезпечує доступність для всіх категорій населення, мінімізує негативний вплив на довкілля, підвищує безпеку та якість життя, сприяючи економічному розвитку . Концепція сформувалася у 2000-х роках як відповідь на кризу традиційних моделей міського планування, орієнтованих на приватний автомобіль.

Історична еволюція парадигм міської мобільності.

У XX столітті домінувала автомобілецентрична модель (car-centric model), закладена у 1920-1960-х роках архітекторами-модерністами (Ле Корбюз'є, Роберт Мозес). Її принципи: розширення проїзних частин, будівництво хайвеїв, субурбанізація, пріоритет швидкості автомобільного руху . Ця модель досягла апогею у США та Канаді, де у 1970-х роках 85-90% поїздок здійснювалося автомобілями .

Однак вже у 1960-1970-х роках стали очевидними негативні наслідки:

- Екологічні: смог у Лос-Анджелесі (1950-60-ті), забруднення повітря  $PM_{2.5}$  та  $NO_x$ ;
- Соціальні: сегрегація міста, ізоляція районів без доступу до автомобіля;
- Економічні: неефективне використання міського простору (паркінги займають 30-40% площі центрів );
- Здоров'я: ріст ожиріння, серцево-судинних захворювань через гіподинамію.

У відповідь у 1970-1980-х роках у Європі почалася революція громадського транспорту. Піонерами стали Кіото (1981), Копенгаген (1962), Амстердам (1970-ті), які почали обмежувати автомобілі у центрах, розвивати трамвайні системи, велоінфраструктуру . Ключовою віхою стала концепція «Livable Cities» (придатні

для життя міста), сформульована Джейн Джейкобс у книзі «The Death and Life of Great American Cities» (1961) .

У 1990-2000-х роках концепція еволюціонувала у сталу мобільність. Каталізаторами стали:

- Саміт ООН у Ріо-де-Жанейро (1992) – Agenda 21;
- Кіотський протокол (1997) – зобов'язання зі скорочення викидів CO<sub>2</sub>;
- Біла книга ЄС з транспорту (2001, 2011) – пріоритизація сталих видів транспорту .

Принципи сталої міської мобільності (за методологією ЄС):

1. Доступність (Accessibility) – забезпечення можливості всім мешканцям (незалежно від віку, доходу, фізичних можливостей) досягти ключових пунктів призначення (робота, освіта, медицина, дозвілля) за прийнятний час і вартість.
2. Інтеграція (Integration) – координація різних видів транспорту, тарифів, розкладів у єдину систему.
3. Безпека (Safety) – зниження ризиків ДТП через інфраструктурні рішення (розділення потоків, зниження швидкості у житлових районах), технології (ISA, автоматичне гальмування).
4. Екологічність (Environmental sustainability) – мінімізація викидів парникових газів, забруднення повітря, шуму.
5. Економічна ефективність (Economic efficiency) – оптимізація витрат на транспортну інфраструктуру, зменшення зовнішніх витрат (congestion costs).
6. Соціальна справедливість (Equity) – рівний доступ до транспорту для всіх соціальних груп, включно з малозабезпеченими, літніми людьми, людьми з інвалідністю.
7. Якість життя (Quality of life) – зниження стресу від поїздок, створення комфортного міського простору.

Мультиmodalність як ключова складова сталої мобільності.

Мультиmodalність (multimodality) – це можливість використання кількох видів транспорту в рамках однієї поїздки з мінімальними бар'єрами для переходу

між ними . Класичний приклад: поїздка «дім → велосипед → велопаркінг біля станції метро → метро → автобус → місце роботи».

Ключові елементи мультимодальної системи:

1. Інфраструктурна інтеграція:

- Пересадочні вузли (транспортно-пересадкові вузли, ТПВ) – місця концентрації різних видів транспорту з організованими пересадками. Приклад: станція метро «Академмістечко» у Києві з інтегрованим автобусним вокзалом, велопарковкою, паркінгом P+R (park-and-ride) .
- Велопаркінги біля станцій громадського транспорту (bike-and-ride, B+R).
- Паркінги P+R на околицях міста для зменшення в'їзду автомобілів у центр.

2. Тарифна інтеграція:

- Єдиний квиток (single ticket) на всі види громадського транспорту (автобус, трамвай, тролейбус, метро, приміський поїзд). Приклад: ViennaMobil Card (Відень), Oyster Card (Лондон) .
- Абонементна система з необмеженими поїздками (monthly pass).
- Інтеграція приватних мікромобільних сервісів (велопрокат, електросамокати) у єдиний тариф.

3. Інформаційна інтеграція:

- Єдина цифрова платформа (додаток) для планування мультимодальних поїздок у реальному часі. Приклад: Google Maps, Moovit, Whim (Гельсінкі) .
- Відображення альтернативних маршрутів з порівнянням часу та вартості.
- Інтеграція оплати у додатку (mobile ticketing).

4. Організаційна інтеграція:

- Координація розкладів різних видів транспорту для мінімізації часу очікування при пересадках (timed transfers).
- Єдина диспетчерська система управління транспортом (Intelligent Transportation System, ITS).

Mobility-as-a-Service (MaaS) як вершина мультимодальності.

MaaS – це бізнес-модель, яка інтегрує різні види громадського та приватного транспорту у єдину доступну для користувача цифрову платформу з

оплатою за принципом підписки . Користувач не володіє транспортним засобом, а купує доступ до мобільності.

Рівні зрілості МaaS (класифікація Sochor et al., 2018) :

- Рівень 0: Відсутність інтеграції – фрагментовані сервіси без координації.
- Рівень 1: Інформаційна інтеграція – єдиний додаток для пошуку маршрутів різними видами транспорту (приклад: Google Maps).
- Рівень 2: Платіжна інтеграція – можливість оплатити всі види транспорту через один додаток, але окремими транзакціями.
- Рівень 3: Інтеграція пропозиції послуг – пакетні рішення (наприклад, абонемент на громадський транспорт + 10 поїздок на таксі).
- Рівень 4: Повна інтеграція – єдина підписка на всі види мобільності з динамічним ціноутворенням за фактичним використанням.

Лідером МaaS є Гельсінкі (Фінляндія) з додатком Whim (рівень 4), який з 2016 року пропонує підписку за €499/міс з необмеженим доступом до автобусів, трамваїв, метро, таксі (до €10/поїздка), велопрокату, каршерінгу . За 5 років кількість користувачів досягла 450 тис. осіб (50% населення агломерації), частка приватних автомобілів знизилася з 42% до 34% .

Переваги мультимодальних систем:

Екологічні:

- Скорочення викидів CO<sub>2</sub> на 15-25% через зменшення кількості поїздок приватними автомобілями .
- Зниження рівнів забруднення PM<sub>2.5</sub>, NO<sub>x</sub> у центрах міст.
- Зменшення шумового забруднення.

Економічні:

- Зниження congestion costs (втрат від заторів). У Відні після реалізації мультимодальної стратегії (2003-2018) втрати часу через затори зменшилися на 28% .
- Економія особистих коштів для мешканців: власник автомобіля у Києві витрачає ~150 тис. грн/рік (амортизація, паливо, страховка, паркінг), тоді як річний абонемент на громадський транспорт + велопрокат + каршерінг коштує ~40-50 тис. грн.

- Створення нових робочих місць у секторі мобільності.

Соціальні:

- Підвищення доступності транспорту для малозабезпечених верств (громадський транспорт дешевше за приватний автомобіль).
- Збільшення фізичної активності населення (велосипед, піші переміщення) – зниження серцево-судинних захворювань, ожиріння.
- Покращення безпеки: у містах з високою часткою громадського транспорту смертність у ДТП на 40-50% нижча .

Міські:

- Звільнення міського простору, зайнятого паркінгами, для зелених зон, пішохідних вулиць, житлових районів.
- Підвищення привабливості міста для туристів та інвесторів.

Бар'єри впровадження (особливо актуальні для України):

1. Фінансові: високі капітальні витрати на модернізацію громадського транспорту, будівництво велоінфраструктури, створення цифрових платформ. Типовий бюджет проєкту для міста 200-300 тис. осіб – €50-100 млн .
2. Інституційні: фрагментація повноважень між різними операторами транспорту (комунальні підприємства, приватні перевізники), відсутність єдиного органу управління мобільністю.
3. Технологічні: застаріла інфраструктура, відсутність систем Big Data для аналізу пасажиропотоків, низька якість картографічних даних.
4. Культурні: укорінена звичка користуватися приватним автомобілем, недовіра до громадського транспорту через низьку якість послуг.
5. Нормативні: відсутність законодавчої бази для МaaS (права та обов'язки платформи-агрегатора, оператора транспорту, користувача).

Висновки до підрозділу 1.1:

Стала міська мобільність є глобальним трендом, підтриманим міжнародними організаціями (ООН, ЄС, Світовий банк) та закріпленим у Цілях сталого розвитку. Мультимодальність – ключова складова сталої мобільності, що передбачає інтеграцію різних видів транспорту в єдину екосистему. Модель

Mobility-as-a-Service репрезентує вищий рівень мультимодальності, де мобільність надається як послуга через цифрову платформу. Впровадження мультимодальних систем вимагає комплексного підходу: інфраструктурних інвестицій, тарифної та організаційної інтеграції, технологічних рішень та зміни культури мобільності.

## **1.2. Світові тренди розвитку інтегрованих транспортних систем**

Аналіз практики провідних міст світу дозволяє виділити ключові тренди розвитку інтегрованих мультимодальних транспортних систем, які визначають порядок денний сталої мобільності на найближчі десятиліття.

### **Тренд 1. Цифровізація та платформи Mobility-as-a-Service (MaaS)**

Цифрова інтеграція транспортних сервісів через єдині платформи-агрегатори є найпотужнішим трендом 2020-х років. За даними дослідження Frost & Sullivan (2024), глобальний ринок MaaS-рішень зріс з €3,2 млрд у 2020 році до €18,7 млрд у 2024 році (CAGR 56%), і прогнозується досягнення €89 млрд до 2030 року (Frost & Sullivan, 2024). Водночас ринок характеризується високою волатильністю: багато пілотних проєктів не досягли комерційної життєздатності. Наприклад, фінський піонер Whim (MaaS Global), який на піку 2019 року налічував 450 тис. активних користувачів у Гельсінкі та залучив €149 млн інвестицій від Toyota, Mitsubishi та інших, у 2024 році згорнув операції у Великій Британії, Бельгії та Швейцарії через неможливість досягти прибутковості (Frost & Sullivan, 2024). Станом на 2025 рік Whim залишається активним лише у Фінляндії та Японії, з базою близько 10 тис. щомісячних активних користувачів (Frost & Sullivan, 2024).

Ця ситуація підкреслює ключові виклики MaaS-моделі:

1. Економічна модель: складність монетизації агрегованих сервісів. Whim отримував 8-12% комісії від операторів транспорту, чого недостатньо для покриття витрат на розробку програмного забезпечення, маркетинг та підтримку клієнтів (Rambøll, 2019).

2. Опір інкубентів: великі оператори громадського транспорту (німецькі Verkehrsverbünde, французькі RATP/SNCF) неохоче діляться даними та комісіями з приватними MaaS-платформами, побоюючись втрати контролю над клієнтами (Sochor et al., 2018).
3. Регуляторні бар'єри: відсутність законодавчої бази для MaaS у більшості країн ЄС. Лише Фінляндія ухвалила Transport Services Act (2018), який зобов'язує операторів транспорту надавати відкритий API-доступ до розкладів, тарифів та продажу квитків (Transport Services Act, 2018).

Незважаючи на труднощі, успішні кейси існують. Відень інтегрував MaaS-функціонал у додаток WienMobil, який належить міському оператору Wiener Linien. Станом на жовтень 2024 року додаток має 1,2 млн завантажень та забезпечує 45% всіх продажів квитків на громадський транспорт (Euronews, 2024a). Ключ успіху – модель «білої етикетки» (white label), де MaaS-платформа контролюється публічним сектором, а не приватною компанією.

#### Тренд 2. Тарифна інтеграція та політика доступності

Єдині тарифи та абонементи на всі види громадського транспорту є ефективним інструментом стимулювання користування. Відень реалізував одну з найуспішніших у світі моделей: річний абонемент Jahreskarte за €365 (€1/день), що покриває 100% громадського транспорту міста (метро, трамваї, автобуси, нічні лінії) без обмежень (Stadt Wien, 2024). Для порівняння: у Києві місячний абонемент на метро коштує ~500 грн (€12), але не покриває наземний транспорт, і немає річного тарифу.

Результати віденської політики вражають:

- Після введення Jahreskarte у 2012 році (початкова ціна – €365, незмінна 13 років) кількість власників абонементу зросла з 370 тис. (2011) до 852 тис. (2023) – охоплення 44% населення (Stadt Wien, 2024);
- Частка громадського транспорту у modal split зросла з 37% (2010) до 42% (2023), частка приватних автомобілів знизилася з 31% до 23% (Stadt Wien, 2024);
- Задоволеність громадським транспортом: 91% користувачів (найвищий показник серед 83 європейських міст у дослідженні UITP 2024) (Euronews,

2024b).

Австрія у 2021 році масштабувала цей підхід на національний рівень, запустивши KlimaTicket – річний абонемент за €1095, що покриває всю мережу громадського транспорту країни (поїзди, автобуси, трамваї 9 федеральних земель) (Goller et al., 2024). За перші 3 роки (2021-2024) продано 240 тис. KlimaTicket, що призвело до збільшення пасажиропотоку на залізницях ÖBB на 18% та скорочення викидів CO<sub>2</sub> від транспорту на 0,9 млн тонн (Goller et al., 2024).

### Тренд 3. Розвиток велоінфраструктури та мікромобільності

Велосипед та інші форми мікромобільності (електросамокати, електровелосипеди) стають повноцінними компонентами мультимодальних систем, особливо для вирішення проблеми «першої/останньої милі». Копенгаген – світовий лідер у велосипедизації: 62% мешканців щодня їдуть на роботу/навчання велосипедом, загальна протяжність велодоріжок – 385 км на площі 88 км<sup>2</sup> (щільність 4,4 км/км<sup>2</sup>) (Copenhagenize Design Company, 2023).

Інвестиції у велоінфраструктуру економічно ефективні. Дослідження Університету Копенгагена (2018) показало, що кожен кілометр, проїжджений велосипедом замість автомобіля, приносить суспільству чистий виграш €0,42 через економію на охороні здоров'я (менше серцево-судинних захворювань), зменшення заторів та викидів CO<sub>2</sub> (Kamel & Sayed, 2021). Будівництво 1 км велодоріжки коштує €100-200 тис., тоді як 1 км автомагістралі – €15-25 млн (Kamel & Sayed, 2021).

Критичними для успіху велоінфраструктури є:

1. Безпека: фізичне відділення велодоріжок від автомобільного руху (Copenhagen-style separated bike lanes). У Копенгагені летальність велосипедистів – 2,3 на 100 млн поїздок, тоді як у Києві (з малою часткою захищених велодоріжок) – 8,7 (WHO Road Safety Data, 2023).
2. Зв'язність: безшовна мережа без розривів. Амстердам має 767 км велодоріжок з індексом зв'язності 0,91 (де 1 = ідеальна зв'язність) (Scheepers et al., 2020).
3. Інтеграція з громадським транспортом: велопаркінги біля станцій

метро/залізниці. Нідерланди мають 410 тис. паркомісць для велосипедів біля станцій, включно з найбільшим у світі тристоронньою велопарковкою Utrecht Centraal на 12 500 місць (Nederlandse Spoorwegen, 2020).

4. Велопрокат: інтеграція bike-sharing у єдину транспортну систему. Відень інтегрував систему Citybike Wien (120 станцій, 1500 велосипедів) у додаток WienMobil з єдиним тарифом (Stadt Wien, 2024).

#### Тренд 4. Електрифікація громадського транспорту

Перехід від дизельних автобусів до електричних є глобальним трендом, каталізованим регуляторними вимогами ЄС (директива Clean Vehicles Directive 2019/1161, яка вимагає 50% нульової емісії у закупівлях громадського транспорту з 2030 року) (European Parliament, 2019). Китай – лідер електрифікації: 99% автобусів у Шеньчжені (16 тис. одиниць) – електричні (BYD, 2018). Європа відстає, але прогрес прискорюється: електробуси становлять 8% парку у 2024 році (проти 2% у 2020) (UITP, 2024).

Економіка електробусів покращується. Загальна вартість володіння (TCO, Total Cost of Ownership) 12-метрового електробуса за 12 років експлуатації у 2024 році становить €810 тис., що на 12% нижче дизельного (€920 тис.) завдяки нижчим витратам на електроенергію (€0,15/км проти €0,38/км дизельного палива) та обслуговування (Viereckl et al., 2021). При цьому капітальні витрати електробуса (€450-550 тис.) все ще на 80% вищі за дизельний (€250 тис.), тому субсидії критичні на етапі переходу (Viereckl et al., 2021).

#### Тренд 5. Використання Big Data та штучного інтелекту

Цифрові технології дозволяють оптимізувати транспортні системи у реальному часі на основі аналізу пасажиропотоків. Сінгапур – піонер data-driven urban mobility: Управління наземного транспорту (Land Transport Authority, LTA) з 2014 року впроваджує програму Smart Mobility 2030, яка інтегрує дані з е-карток оплати, GPS-трекерів автобусів, камер відеоспостереження та мобільних телефонів (IRT SystemX, 2018).

Ключові системи Сінгапуру (IRT SystemX, 2018):

1. Common Fleet Management System (CFMS) – єдина платформа моніторингу 5500 автобусів у реальному часі з можливістю диспетчерів коригувати

маршрути залежно від заторів та попиту.

2. Fusion AnalyticS for public Transport Emergency Response (FASTER) – система раннього попередження про натовпи та інциденти, яка аналізує дані з відеокамер, е-карток та телекомунікаційних мереж. При виявленні скупчення >500 осіб/станцію система автоматично пропонує диспетчерам збільшити частоту автобусів на цьому напрямку.
3. Next-Generation Electronic Road Pricing (ERP 2.0) – система динамічного ціноутворення на дорогах на основі GNSS, яка замінила стаціонарні ворота ERP 1.0. Тариф варіюється від S\$0,50 до S\$6 залежно від завантаженості дороги у конкретний момент (оновлюється кожні 5 хвилин). Результат: зниження часу поїздки у пікові години на 15% (2018-2023) (Business Times Singapore, 2016).

Європейські міста також інвестують у Smart Mobility. Відень використовує систему MOTION (MOnitoring and Tracking of Intermodal Operations in real-time Networks), яка аналізує дані з 4800 автобусів, 525 трамваїв та 127 поїздів метро для прогнозування затримок та автоматичної координації пересадок (Wiener Linien, 2024).

#### Тренд 6. Автономний транспорт (Autonomous Vehicles, AVs)

Автономні транспортні засоби розглядаються як потенційний game-changer для громадського транспорту, особливо у низькощільних районах, де традиційні автобуси неефективні. Станом на 2025 рік понад 50 пілотних проєктів автономних шатлів працюють у містах Європи, Азії та Північної Америки (UITP Autonomous Bus Report, 2024).

#### Приклади:

- Сінгапур: з 2022 року на кампусі Національного університету курсують 40 автономних міні-автобусів (8 місць) на 9,4 км маршрутів без водіїв (рівень автономії SAE Level 4) (LTA Singapore, 2024).
- Відень: пілотний проєкт Digibus у районі Seestadt Aspern (2023-2025) – 2 автономних 12-місних шатли на 3 км маршруту, інтегровані у додаток WienMobil (Stadt Wien, 2024).
- Гельсінкі: автономні шатли Gacha у зимових умовах (-20°C, сніг) – перша

у світі демонстрація роботи AVs у арктичному кліматі (Sensible 4, 2021).

Однак масове впровадження AVs відкладається. Початкові прогнози 2015-2017 років передбачали комерціалізацію до 2025 року, але технічні виклики (розпізнавання об'єктів у складних погодних умовах, взаємодія з пішоходами) та регуляторні обмеження зсунули термін на 2030-2035 роки (McKinsey, 2023). Ключовою перешкодою є вартість: LiDAR-сенсор для AVs коштує €15-30 тис., що робить автономний автобус у 2-3 рази дорожчим за звичайний (McKinsey, 2023).

Світові тренди інтегрованих транспортних систем визначаються цифровізацією (MaaS-платформи), тарифною інтеграцією (єдині абонементи), розвитком велоінфраструктури, електрифікацією громадського транспорту, використанням Big Data та пілотними проєктами автономного транспорту. Провідні міста (Відень, Гельсінкі, Сінгапур, Копенгаген) демонструють, що комплексний підхід – інвестиції в інфраструктуру + цифрові сервіси + політика стримування автомобілів – дозволяє досягти modal split 70-80% сталими видами транспорту. Для України критичним є адаптація цих практик з урахуванням фінансових обмежень та інституційних особливостей.

### **1.3. Формулювання завдань**

На основі аналізу теоретичних засад сталої міської мобільності та світових трендів мультимодальності сформульовано наступні завдання дослідження:

Завдання 1. Виконати порівняльний аналіз світового досвіду впровадження інтегрованих мультимодальних транспортних систем на прикладах трьох репрезентативних міст:

- Гельсінкі (Фінляндія) – піонер MaaS-моделі з додатком Whim, акцент на цифровій інтеграції;
- Відень (Австрія) – еталон тарифної інтеграції та високої якості громадського транспорту;
- Сінгапур – лідер використання Big Data та Smart Mobility технологій.

Для кожного міста проаналізувати:

- Організаційну модель транспортної системи (структура операторів, роль публічного/приватного секторів);
- Інфраструктурні рішення (щільність мережі, типи транспорту, пересадочні вузли);
- Тарифну систему та механізми інтеграції;
- Технологічні інновації (цифрові платформи, телематика, Big Data);
- Досягнуті результати (modal split, задоволеність користувачів, екологічний ефект, економічні показники).

Завдання 2. Розробити концептуальну модель інтегрованої мультимодальної транспортної системи для м. Рівне як репрезентативного обласного центру України (населення 245 тис. осіб). Модель має включати:

- Оптимізацію маршрутної мережі громадського транспорту з ліквідацією дублювання та забезпеченням зв'язності всіх районів;
- Створення цифрової МaaS-платформи (мобільний додаток) для планування мультимодальних поїздок та єдиної оплати;
- Впровадження єдиного електронного квитка на всі види громадського транспорту (автобуси, тролейбуси, маршрутні таксі);
- Розвиток велоінфраструктури з облаштуванням 40 км велодоріжок та інтеграцію системи велопрокату;
- Створення 3 транспортно-пересадочних вузлів (ТПВ) з паркінгами P+R на в'їздах до міста.

Завдання 3. Виконати розрахунок техніко-експлуатаційних показників запропонованої моделі:

- Обсяг перевезень та пасажирообіг за видами транспорту (базовий сценарій 2025 р. vs проєктний сценарій 2028 р.);
- Середній час поїздки «дім-робота» для різних районів міста;
- Коефіцієнт використання рухомого складу та необхідна кількість транспортних засобів;
- Частота руху на основних маршрутах та час очікування на зупинках;
- Коефіцієнт наповнюваності транспортних засобів у пікові/непікові години.

Завдання 4. Здійснити економічний аналіз проєкту впровадження мультимодальної системи:

- Розрахунок капітальних витрат (CAPEX): будівництво велодоріжок, облаштування ТПВ, придбання електронних валідаторів, розробка MaaS-платформи;
- Розрахунок операційних витрат (OPEX): експлуатація цифрової платформи, обслуговування велоінфраструктури, збільшення парку громадського транспорту;
- Оцінка доходів: збільшення пасажиропотоку, тарифні надходження, зниження субсидування транспорту;
- Розрахунок показників ефективності (NPV, IRR, термін окупності, індекс прибутковості PI);
- Аналіз чутливості до ключових параметрів (зростання пасажиропотоку, тарифи, капітальні витрати).

Завдання 5. Оцінити екологічний та соціальний ефект впровадження:

- Скорочення викидів парникових газів (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM<sub>2.5</sub>) через зменшення кількості поїздок приватними автомобілями;
- Покращення якості повітря у центрі міста;
- Збільшення фізичної активності населення через розвиток велоінфраструктури;
- Підвищення доступності транспорту для соціально вразливих груп (літні люди, люди з інвалідністю, малозабезпечені);
- Економія часу мешканців через зменшення заторів.

Завдання 6. Розробити заходи з охорони праці персоналу транспортних підприємств при реалізації проєкту:

- Аналіз професійних ризиків водіїв електробусів (робота з високовольтним обладнанням);
- Вимоги до підготовки та сертифікації водіїв нових типів транспортних засобів;
- Організація робочих місць диспетчерів інтегрованої системи управління транспортом;

- Ергономічні вимоги до конструкції велодоріжок для мінімізації травматизму велосипедистів;
- Заходи безпеки при будівництві транспортної інфраструктури.

Методологія виконання завдань:

- Системний аналіз для вивчення структури та взаємозв'язків компонентів транспортної системи;
- Метод порівняльних аналогій (benchmarking) для оцінки міжнародного досвіду;
- Математичне моделювання транспортних потоків (гравітаційна модель) для прогнозування розподілу поїздок;
- Методи проєктного аналізу (DCF, NPV, IRR) для економічної оцінки;
- Статистичний аналіз даних пасажиропотоків Рівненського міського транспортного управління;
- Соціологічне опитування 500 мешканців для виявлення переваг щодо способів пересування та готовності переходу на громадський транспорт.

Очікувані результати:

1. Комплексна модель інтегрованої мультимодальної транспортної системи для м. Рівне, адаптована до українського контексту.
2. Науково обґрунтовані рекомендації щодо організації та фінансування проєкту впровадження.
3. Розрахунок ефективності проєкту, що підтверджує його економічну доцільність та соціально-екологічну цінність.
4. Методичні рекомендації, які можуть бути використані іншими містами обласного значення України для розробки власних Планів сталої міської мобільності (SUMP).

## **2. АНАЛІЗ СВІТОВОГО ДОСВІДУ ВПРОВАДЖЕННЯ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ**

### **2.1. Кейс-стади: Гельсінкі (MaaS-модель Whim)**

Загальна характеристика міста. Гельсінкі – столиця та найбільше місто Фінляндії, населення 658 тис. осіб (агломерація – 1,54 млн), площа 715 км<sup>2</sup>. Щільність населення – 920 осіб/км<sup>2</sup> (порівняно низька для європейської столиці). Клімат – північний, з температурами від -20°C взимку до +25°C влітку, що створює додаткові виклики для велоінфраструктури та мікромобільності (Sensible 4, 2021).

Історія транспортної системи. До 2010-х років Гельсінкі мав класичну транспортну систему з домінуванням приватних автомобілів (39% modal split у 2010 р.) та роз'єднаними операторами: муніципальне підприємство HSL (автобуси, трамваї, метро, приміські поїзди), приватні таксі, велопрокати (City Bikes) (HSL Annual Report, 2010). У 2014 році уряд Фінляндії ухвалив Transport Code Act, який лібералізував ринок таксі та створив правову базу для MaaS-операторів (Finnish Transport Code, 2014).

Модель Whim: піонер Mobility-as-a-Service. У 2016 році фінський стартап MaaS Global (засновник – Сампо Гіетанен) запустив у Гельсінкі додаток Whim – першу у світі повноцінну MaaS-платформу рівня 4 (за класифікацією Sochor et al., 2018). Концепція: користувач купує місячну підписку, яка надає необмежений доступ до різних видів транспорту без необхідності володіти автомобілем (MaaS Global, 2016).

Тарифні пакети Whim (станом на 2019 р., до банкрутства компанії) (Rambøll, 2019):

| Пакет          | Вартість                  | Що включено                                                                      | Цільова аудиторія                         |
|----------------|---------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Whim To Go     | €0/міс<br>(pay-as-you-go) | Планування поїздки, порівняння вартості, оплата по факту кожного виду транспорту | Епізодичні користувачі                    |
| Whim Urban     | €62/міс                   | Необмежений доступ до HSL (автобуси, трамваї, метро, приміські поїзди зони АВ)   | Щоденні пасажирів громадського транспорту |
| Whim Unlimited | €499/міс                  | Whim Urban + необмежені поїздки таксі (до €10 за поїздку), велопрокат, каршерінг | Відмова від власного автомобіля           |

Технічна архітектура. Whim інтегрував 10+ операторів через API:

- HSL – громадський транспорт (GTFS-формат розкладів, Reittiopas API);
- City Bikes Helsinki – велопрокат (2500 велосипедів, 248 станцій);
- Taksii Helsinki, Lähitaksi – таксі (GPS-локація, динамічне ціноутворення);
- Car2Go (Mercedes-Benz), DriveNow (BMW) – каршерінг;
- VR Group – міжміські поїзди (інтеграція квитків) (MaaS Global, 2016).

Алгоритм роботи:

1. Користувач вводить у додаток точку відправлення та призначення;
2. Whim запитує API всіх операторів для побудови мультимодальних маршрутів;
3. Додаток відображає 3-5 варіантів з часом, вартістю, екологічним впливом (вуглецевий слід);
4. Користувач обирає маршрут → Whim резервує послуги (квиток HSL, таксі, велосипед) → оплата списується з підписки або гаманця у додатку;
5. У реальному часі Whim надсилає сповіщення про затримки, зміни розкладу, альтернативні маршрути (MaaS Global, 2016).

Бізнес-модель. Whim отримував дохід з двох джерел (Rambøll, 2019):

1. Підписки користувачів: €62-499/міс;
2. Комісія від операторів: 8-12% від вартості послуги (наприклад, HSL платив Whim €0,20 за кожну поїздку, заброньовану через додаток).

Однак модель виявилася нежиттєздатною. За даними звіту банкрутства (2024), у 2022 році MaaS Global мала дохід €3,8 млн при збитках €9,3 млн, незважаючи на 10 тис. активних користувачів у Гельсінкі (Zag Daily, 2024).

Причини краху:

- Високі витрати на розробку та підтримку ПЗ (€4,5 млн/рік);
- Субсидування послуг таксі у пакеті Whim Unlimited (середня користувач витрачав €680/міс на таксі, при підписці €499);
- Опір великих операторів HSL, які не хотіли ділитися даними та маржею (Zag Daily, 2024).

У березні 2024 року MaaS Global оголосила банкрутство, заклавши операції у Великій Британії, Бельгії, Швейцарії. Whim продовжує працювати у Фінляндії (Гельсінкі, Турку) та Японії (Токіо) з обмеженим функціоналом (без пакету Unlimited) (Frost & Sullivan, 2024).

Вплив Whim на транспортну систему Гельсінкі. Незважаючи на комерційну невдачу, Whim справив значний вплив на мобільність міста. Дослідження Rambøll (2019) на вибірці 1086 користувачів Whim показало:

Таблиця 2.1. Зміна транспортної поведінки користувачів Whim (Гельсінкі, 2016-2019)

| Показник                                                                  | До Whim<br>(2015) | Після<br>Whim<br>(2019) | Зміна |
|---------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------------|-------|
| Частка володіння автомобілем                                              | 42%               | 28%                     | -33%  |
| Середня кількість поїздок автомобілем<br>(власним/орендованим) на тиждень | 8,7               | 3,2                     | -63%  |
| Середня кількість поїздок громадським<br>транспортном на тиждень          | 4,5               | 11,3                    | +151% |

|                                                  |     |     |       |
|--------------------------------------------------|-----|-----|-------|
| Середня кількість поїздок велосипедом на тиждень | 1,8 | 4,7 | +161% |
| Середня кількість поїздок таксі на тиждень       | 0,3 | 2,1 | +600% |

Джерело: Rambøll (2019), Whim pact Study

Ключовий результат: 14% користувачів Whim Unlimited продали власний автомобіль протягом першого року використання додатку, мотивуючи це економією ~€500/міс на утриманні авто (паливо, страховка, паркінг, амортизація) (Rambøll, 2019).

Екологічний ефект. Зменшення використання приватних автомобілів призвело до скорочення викидів CO<sub>2</sub>. Розрахунок для середнього користувача Whim Unlimited:

Викиди до Whim (власний автомобіль):

$$\begin{aligned} CO_2^{before} &= 8.7 \text{ поїздок/тиждень} \times 15 \text{ км/поїздка} \times 0.18 \text{ кг CO}_2/\text{км} \\ &= 23.5 \text{ кг CO}_2/\text{тиждень} \end{aligned}$$

де 0,18 кг CO<sub>2</sub>/км – середній емісійний фактор легкового автомобіля у Фінляндії (Finnish Environment Institute, 2020).

Викиди після Whim (мультимодальні поїздки):

$$\begin{aligned} CO_2^{after} &= 3.2 \times 15 \times 0.18 + 11.3 \times 8 \times 0.04 + 2.1 \times 10 \times 0.12 \\ &= 8.6 + 3.6 + 2.5 = 14.7 \text{ кг CO}_2/\text{тиждень} \end{aligned}$$

де 0,04 кг CO<sub>2</sub>/км – громадський транспорт (автобус), 0,12 кг CO<sub>2</sub>/км – таксі (розподіл викидів на пасажирів) (Finnish Environment Institute, 2020).

Скорочення викидів: 23,5 - 14,7 = 8,8 кг CO<sub>2</sub>/тиждень або 458 кг CO<sub>2</sub>/рік на користувача.

При 10 тис. активних користувачів Whim Unlimited сумарне скорочення становило 4580 т CO<sub>2</sub>/рік (еквівалент вилучення 995 автомобілів з експлуатації) (Rambøll, 2019).

Уроки для України. Досвід Whim демонструє:

Позитивні аспекти:

1. Маас-платформи можуть ефективно змінювати транспортну поведінку,

стимулюючи відмову від власних автомобілів;

2. Інтеграція таксі та каршерінгу у громадський транспорт підвищує зручність мультимодальності;
3. Прозоре порівняння вартості та часу різних видів транспорту в одному додатку підвищує конкурентоспроможність громадського транспорту.

Ризики:

1. Приватні МaaS-оператори важко досягають прибутковості через високі витрати на технології та опір інкубентів;
2. Субсидування преміум-послуг (таксі) у пакетних підписках призводить до збитків;
3. Регуляторна підтримка (обов'язкове відкриття API операторами) критична для успіху.

Рекомендація для України: створювати МaaS-платформи як публічні проекти міських транспортних управлінь (аналог WienMobil у Відні), а не покладатися на приватні стартапи. Це забезпечує контроль над даними, зниження комісій та довгострокову стійкість.

## **2.2. Кейс-стади: Відень (інтеграція громадського транспорту)**

Загальна характеристика. Відень – столиця Австрії, населення 1,98 млн осіб (агломерація – 2,9 млн), площа 415 км<sup>2</sup>. Щільність населення – 4771 осіб/км<sup>2</sup>. У 2024 році Відень вп'яте поспіль визнано найпридатнішим для життя містом світу за рейтингом Economist Intelligence Unit (EIU, 2024). Одним з ключових факторів цього досягнення є транспортна система.

Структура транспортної системи. Оператор громадського транспорту – муніципальне підприємство Wiener Linien (100% власність міста Відень). Мережа включає (Wiener Linien, 2024):

- 5 ліній метро (U-Bahn): 83,1 км, 109 станцій, щільність 0,20 км/км<sup>2</sup> території;
- 28 ліній трамваїв: 176,9 км колії;

- 131 лінія автобусів: включно з 24 нічними маршрутами;
- Приміські поїзди S-Bahn: інтеграція з австрійськими залізницями ÖBB.

Загальна протяжність мережі: 1152 км, щільність 2,78 км/км<sup>2</sup> – найвища у світі серед міст-мільйонників (для порівняння: Лондон – 1,85 км/км<sup>2</sup>, Берлін – 1,23 км/км<sup>2</sup>) (UITP, 2024).

Пасажиропотік (2024): 873 млн пасажирів/рік (+6,8% проти 2023 р., але все ще на 4% нижче доковідного рівня 2019 р. – 912 млн) (Vienna.at, 2025).

Тарифна інтеграція: секрет успіху. Ключовим фактором популярності громадського транспорту є політика доступного єдиного тарифу. У 2012 році міська влада Відня за пропозицією партії Зелених ввела річний абонемент Jahreskarte за €365 (€1/день), який покриває 100% громадського транспорту міста без обмежень за часом, зонами чи видами транспорту (Stadt Wien, 2012).

Таблиця 2.2. Тарифна система Wiener Linien (2024)

| Тип квитка                      | Вартість | Умови                                                               | Охоплення          |
|---------------------------------|----------|---------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Одноразовий квиток              | €2,60    | 1 поїздка будь-яким транспортом, без пересадок                      | Вся мережа         |
| Добовий квиток                  | €8,00    | Необмежені поїздки 24 год                                           | Вся мережа         |
| Тижневий квиток                 | €17,10   | Необмежені поїздки 7 днів                                           | Вся мережа         |
| Місячний квиток                 | €51,00   | Необмежені поїздки календарний місяць                               | Вся мережа         |
| Річний Jahreskarte              | €365     | Необмежені поїздки 365 днів                                         | Вся мережа         |
| Молодіжний річний (до 18 років) | €70      | Необмежені поїздки 365 днів                                         | Вся мережа         |
| Пенсійний річний (65+)          | €243     | Необмежені поїздки 365 днів                                         | Вся мережа         |
| KlimaTicket Österreich          | €1095    | Необмежені поїздки по всій Австрії (поїзди, автобуси всіх регіонів) | Національна мережа |

Джерело: Wiener Linien (2024), ÖBB (2024)

Економічна логіка Jahreskarte. Для міської влади це інвестиція у зміну modal split, а не інструмент максимізації доходу. Порівняння вартості:

- Jahreskarte: €365/рік;
- 12 місячних квитків:  $€51 \times 12 = €612/\text{рік}$  – на 68% дорожче!

Дисконт стимулює покупку річного абонементу. Результат: кількість власників Jahreskarte зросла з 370 тис. (2011, до введення тарифу €365) до 852 тис. (2023) – охоплення 43% населення міста (Stadt Wien, 2024). З урахуванням інших типів абонементів (студентські, пенсійні), загалом 1,3 млн мешканців мають сезонні квитки – більше, ніж власників автомобілів (1,1 млн) (Euronews, 2024b).

Вплив на modal split. Динаміка розподілу поїздок у Відні (2010-2024):

Таблиця 2.3. Еволюція modal split у Відні (2010-2024)

| Вид транспорту        | 2010 | 2015 | 2020 | 2024 | Зміна<br>2010-<br>2024 |
|-----------------------|------|------|------|------|------------------------|
| Громадський транспорт | 37%  | 39%  | 35%* | 42%  | +5 п.п.                |
| Пішки                 | 27%  | 28%  | 31%  | 30%  | +3 п.п.                |
| Велосипед             | 5%   | 7%   | 9%   | 11%  | +6 п.п.                |
| Сталі види (сума)     | 69%  | 74%  | 75%  | 83%  | +14 п.п.               |
| Приватний автомобіль  | 31%  | 26%  | 25%  | 17%  | -14 п.п.               |

*Примітка: Падіння у 2020 р. через пандемію COVID-19 та локдауни.*

*Джерело: Stadt Wien (2024), Krone.at (2025)*

Відень досяг амбітної цілі 80%+ сталих поїздок, ставши лідером серед європейських столиць (Berlin – 73%, Paris – 67%, London – 62%) (UITP, 2024).

Цифрова інтеграція: додаток WienMobil. На відміну від Гельсінкі, Відень обрав модель «білої етикетки» (white label MaaS), де платформа контролюється муніципальним оператором. У 2018 році Wiener Linien запустив додаток WienMobil, який інтегрує (Stadt Wien, 2024):

- Планування маршрутів громадським транспортом (метро, трамвай, автобус, S-Bahn);
- Купівлю та валідацію електронних квитків (45% всіх продажів у 2024 р.);
- Велопрокат Citybike Wien (120 станцій, 1500 велосипедів);
- Каршерінг ShareNow (BMW/Mercedes);
- Таксі Uber, Bolt;
- Паркінги P+R (Park and Ride) – резервування місць.

Станом на жовтень 2024 року WienMobil має 1,2 млн завантажень та 580 тис. активних користувачів/місяць (Euronews, 2024a). Ключова відмінність від Whim: немає пакетних підписок на всі види транспорту – користувач купує Jahreskarte на громадський транспорт (€365/рік) і окремо оплачує таксі, каршерінг за фактом використання. Це забезпечує фінансову стійкість системи.

Велоінфраструктура. Відень активно інвестує у велосипедизацію:

- Протяжність велодоріжок: 1750 км (щільність 4,2 км/км<sup>2</sup>) – друге місце у світі після Копенгагена (Copenhagenize Index, 2023);
- Citybike Wien: система велопрокату, інтегрована у WienMobil. Перші 60 хвилин – безкоштовно для власників Jahreskarte, далі €1/год (Stadt Wien, 2024);
- Велопаркінги: 53 тис. паркомісць біля станцій метро та S-Bahn (B+R, bike-and-ride);
- Veloroute: 13 швидкісних велосипедних маршрутів без перетинів з автомобільним рухом, довжина 120 км, середня швидкість 25 км/год (Stadt Wien, 2024).

Результат: частка велосипеда у modal split зросла з 5% (2010) до 11% (2024), з цільовим показником 15% до 2030 року (Stadt Wien, 2024).

Паркінги P+R (Park and Ride). На околицях Відня побудовано 23 паркінги P+R з загальною місткістю 12 400 місць біля станцій метро та S-Bahn (Stadt Wien, 2024). Тариф для власників Jahreskarte: €3,70/день (для інших – €10/день). Логіка: мешканці передмість залишають автомобілі на паркінгу і продовжують поїздку громадським транспортом, зменшуючи затори у центрі.

Економічна модель. Wiener Linien є дотаційним підприємством, як і

більшість операторів громадського транспорту у Європі. Фінансові показники (2024) (Wiener Linien, 2024):

| Показник                                                             | Сума, €<br>млн |
|----------------------------------------------------------------------|----------------|
| Доходи від продажу квитків                                           | 482            |
| Доходи від реклами, оренди приміщень                                 | 68             |
| Загальні доходи                                                      | 550            |
| Операційні витрати (зарплата, електроенергія, обслуговування)        | 1340           |
| Капітальні витрати (придбання рухомого складу, модернізація станцій) | 620            |
| Загальні витрати                                                     | 1960           |
| Дефіцит (покривається з бюджету міста)                               | 1410           |

Рівень покриття витрат тарифами:  $482 / 1340 = 36\%$  – типовий показник для європейських міст (Berlin – 42%, Paris – 38%, Prague – 45%) (UITP, 2024).

Соціальна ефективність. Незважаючи на дотації, громадський транспорт економічно виправданий через суспільні вигоди:

1. Зменшення заторів: економія часу для всіх учасників руху. За оцінками Міністерства транспорту Австрії, кожен €1, інвестований у громадський транспорт Відня, генерує €3,20 соціально-економічної вартості через зниження congestion costs (Austriaagency, 2023).
2. Екологічний ефект: скорочення викидів CO<sub>2</sub>. Розрахунок для Відня (2024):
  - Modal split автомобіля: 17%
  - Середня відстань поїздки: 8,5 км
  - Кількість поїздок: 5,4 млн/день
  - Поїздок автомобілем:  $5,4 \text{ млн} \times 17\% = 918 \text{ тис.}/\text{день}$

Якби modal split автомобіля був на рівні 2010 року (31%), кількість поїздок автомобілем становила б:  $5,4 \text{ млн} \times 31\% = 1\,674 \text{ тис.}/\text{день}$ .

Скорочення поїздок автомобілем:  $1674 - 918 = 756 \text{ тис. поїздок}/\text{день}$

переключилися на громадський транспорт/велосипед.

Скорочення викидів CO<sub>2</sub>:

$$\Delta CO_2 = 756000 \times 8.5 \text{ км} \times 0.18 \text{ кг CO}_2/\text{км} = 1157 \text{ т CO}_2/\text{день}$$

$$\Delta CO_2^{year} = 1157 \times 365 = 422000 \text{ т CO}_2/\text{рік}$$

Висновок: політика доступного громадського транспорту дозволяє уникнути 422 тис. т CO<sub>2</sub>/рік – еквівалент викидів 92 тис. автомобілів (Stadt Wien, 2024).

Уроки для України:

1. Тарифна доступність критична: Jahreskarte за €1/день (еквівалент ~45 грн/день) робить громадський транспорт конкурентоспроможним з приватним автомобілем. В Україні місячний квиток на метро Києва коштує ~500 грн (€12), але не покриває наземний транспорт – потрібна інтеграція.
2. Якість послуг важливіша за ціну: 91% задоволеність користувачів Wiener Linien (UITP, 2024) досягається через:
  - Високу щільність мережі (середня відстань до найближчої зупинки – 300 м);
  - Високу частоту (інтервал 3-5 хв у пікові години, 7-10 хв у непікові);
  - Чистоту, безпеку, комфорт (нові вагони метро Siemens X-Wagen з кондиціонерами, Wi-Fi);
  - Пунктуальність (95% поїздів метро прибувають вчасно  $\pm 2$  хв).
3. Цифровізація підвищує зручність: додаток WienMobil з єдиною оплатою та real-time інформацією знижує бар'єри для користування громадським транспортом, особливо для туристів та нових мешканців.
4. Дотації виправдані: покриття 36% витрат тарифами – нормальна практика. Громадський транспорт – це суспільне благо, а не комерційний бізнес. Інвестиції окупаються через зовнішні ефекти (зменшення заторів, покращення якості повітря, підвищення мобільності незаможних верств).

### 2.3. Кейс-стади: Сінгапур (планування транспорту на основі Big Data)

Загальна характеристика. Сінгапур – місто-державу у Південно-Східній Азії, населення 5,9 млн осіб (2024), площа 734 км<sup>2</sup>. Щільність населення – 8041 осіб/км<sup>2</sup> – найвища у світі серед країн (для порівняння: Відень – 4771, Київ – 3299) (Singapore Department of Statistics, 2024). Ця надвисока щільність створює унікальні виклики для транспортної системи, але водночас дозволяє ефективно використовувати громадський транспорт.

Філософія транспортної політики. Сінгапур обрав стратегію активного стримування автомобілізації через економічні механізми (найдорожча у світі система володіння автомобілем) та інвестиції у світовий клас громадського транспорту. Уряд сформулював концепцію «Car-Lite Singapore» (2017) з метою досягти 75% поїздок громадським транспортом до 2030 року (Land Transport Authority, 2017).

Інструменти стримування автомобілів:

1. Certificate of Entitlement (COE) – система квот на реєстрацію нових автомобілів. Перед купівлею авто покупець повинен виграти аукціон на право реєстрації (сертифікат діє 10 років). Станом на жовтень 2024 року вартість COE для легкового автомобіля становить \$106,000 (~€72,000) (LTA Singapore, 2024). Для порівняння: у Києві немає плати за реєстрацію.
2. Import Duty and Registration Fee – мито на імпорт автомобіля 20% + реєстраційний збір 220% від вартості. Наприклад, Toyota Corolla, що коштує €25,000 у Європі, у Сінгапурі коштує:

$$\begin{aligned} Price_{SG} &= 25000 \times 1.2 \text{ (мито)} \times 3.2 \text{ (реєстрація)} + 72000 \text{ (COE)} \\ &= 168000 \text{ EUR} \end{aligned}$$

3. Electronic Road Pricing (ERP 2.0) – система динамічного ціноутворення на дорогах на основі GNSS (запущена у 2020 р.). Вартість проїзду автоцентральных районів варіюється від \$0,50 до \$6,00 (€0,34-4,10) залежно від завантаженості дороги у конкретний момент (оновлюється кожні 5 хв на основі даних з GPS-трекерів автомобілів та камер відеоспостереження) (Business Times Singapore, 2016).

4. Паркінгова політика: обмеження кількості паркувальних місць у центрі (0,5 місць на 100 м<sup>2</sup> офісної площі – найнижчий показник у світі), висока вартість паркінгу (\$3-8/год у центрі, €2-5,50) (LTA Singapore, 2024).

Результат: рівень автомобілізації у Сінгапурі – 112 автомобілів на 1000 осіб (2024) – найнижчий серед розвинених країн (США – 850, Німеччина – 580, Польща – 720) (LTA Singapore, 2024). Modal split приватних автомобілів – 28% (2024), що є високим показником для такої щільної держави, але контрольованим завдяки економічним бар'єрам (LTA Singapore, 2024).

Громадський транспорт: Mass Rapid Transit (MRT). Хребет транспортної системи – метро MRT (Mass Rapid Transit), яке з 1987 року виросло у мережу 6 ліній довжиною 231 км з 142 станціями (LTA Singapore, 2024). Щільність мережі – 0,31 км/км<sup>2</sup> (вища, ніж у Відні – 0,20 км/км<sup>2</sup>).

Таблиця 2.4. Технічні характеристики MRT Сінгапуру (2024)

| Показник                                  | Значення                             |
|-------------------------------------------|--------------------------------------|
| Протяжність мережі                        | 231 км                               |
| Кількість ліній                           | 6 основних + 3 легкого метро (LRT)   |
| Кількість станцій                         | 142                                  |
| Пасажиропотік (2024)                      | 3,2 млн поїздок/день (1,17 млрд/рік) |
| Середній інтервал руху (пікова година)    | 2-3 хвилини                          |
| Середня швидкість сполучення              | 45 км/год (включно зі зупинками)     |
| Рівень пунктуальності                     | 99,3% поїздів без затримок >5 хв     |
| Охоплення населення (доступ <10 хв пішки) | 87%                                  |

Джерело: LTA Singapore (2024)

Інтеграція з автобусною мережею. MRT доповнюється мережею 350 автобусних маршрутів (5500 автобусів, оператори SMRT, SBS Transit), які забезпечують зв'язок між станціями метро та житловими районами (LTA Singapore, 2024). Ключова особливість – інтеграція розкладів: автобуси

синхронізовані з прибуттям поїздів метро для мінімізації часу очікування при пересадках (координація через централізовану систему CFMS).

Тарифна система: єдина е-карта EZ-Link. Сінгапур з 2002 року використовує безконтактну смарт-карту EZ-Link (NFC, стандарт ISO 14443) для оплати всього громадського транспорту (метро, автобуси, легке метро) (EZ-Link, 2024). Тариф розраховується за пройденої відстані (distance-based pricing):

- MRT: \$0,83-2,15 (€0,57-1,47) залежно від відстані;
- Автобус: \$0,77-2,02 (€0,53-1,38);
- Інтеграційна знижка: при пересадці автобус→метро або метро→автобус протягом 45 хв – знижка 15% на другу поїздку (LTA Singapore, 2024).

Додатково діє програма Fare Capping – максимальна сума, яку пасажир може витратити за день/місяць. Наприклад, для дорослого пасажирів денний ліміт – S\$15 (€10,30), місячний – S\$128 (€87,50) (LTA Singapore, 2024). Після досягнення ліміту подальші поїздки безкоштовні – це де-факто абонемент без необхідності попередньої оплати.

Big Data та Smart Mobility: програма ITS (Intelligent Transport Systems). Сінгапур – світовий лідер у використанні даних для оптимізації транспорту. Управління наземного транспорту (Land Transport Authority, LTA) з 2014 року реалізує програму Smart Mobility 2030, яка інтегрує дані з множини джерел (IRT SystemX, 2018):

1. Common Fleet Management System (CFMS) – єдина платформа real-time моніторингу та управління всіма 5500 автобусами Сінгапуру (IRT SystemX, 2018). Система збирає дані:

- GPS-координати кожного автобуса (оновлення кожні 30 сек);
- Завантаженість (кількість пасажирів) через датчики ваги та камери підрахунку;
- Дані з е-карток EZ-Link (де пасажир заходить/виходить);
- Стан двигуна, гальм, дверей (передиктивне обслуговування).

Функції CFMS:

- Динамічна маршрутизація: диспетчери можуть в реальному часі змінювати маршрут автобуса у відповідь на затори (наприклад, перенаправити автобус

- об'їзною дорогою, якщо система детектує затор на основному маршруті);
- Оптимізація інтервалів: автоматичне коригування частоти руху залежно від пасажиропотоку. Якщо система виявляє скупчення пасажирів на зупинці (через камери), вона пропонує диспетчеру запустити додатковий автобус;
  - Прогнозування прибуття: пасажирів бачать у мобільному додатку час прибуття автобуса з точністю  $\pm 1$  хв (99,2% точність прогнозу) (LTA Singapore, 2024).

2. Fusion AnalyticS for public Transport Emergency Response (FASTER) – система виявлення та реагування на надзвичайні ситуації у громадському транспорті (IRT SystemX, 2018). FASTER аналізує:

- Відеопотоки з 15 тис. камер на станціях метро та зупинках автобусів (обробка через computer vision для детектування натовпів, бійок, залишених предметів);
- Дані з е-карток (аномальні спалахи пасажиропотоку);
- Дані з телекомунікаційних мереж (концентрація мобільних телефонів як проксі щільності натовпу).

Приклад роботи FASTER: 15 червня 2023 року о 08:17 система детектувала скупчення 800+ осіб на станції метро Jurong East (норма – 300 осіб у цей час). Причина – поломка поїзда на лінії. FASTER автоматично:

1. Надіслала сповіщення диспетчерам;
2. Запропонувала запустити 5 додаткових автобусів-шатлів між станціями Jurong East та Buona Vista (обхід проблемної ділянки);
3. Розіслала SMS 12 тис. пасажирів, які зазвичай їдуть цією лінією у цей час, з рекомендацією альтернативного маршруту (LTA Singapore, 2024).

Результат: час розв'язання інциденту скоротився з 45 хв (до FASTER) до 18 хв, задоволеність пасажирів інцидент-менеджментом зросла з 62% до 84% (LTA Singapore, 2024).

3. Autonomous Vehicles (AV) пілотні проєкти. Сінгапур тестує автономний транспорт з 2016 року. Ключові проєкти:

- NTU Campus AV Shuttle (з 2019): 40 автономних міні-автобусів (8 місць, виробник Volvo) курсують на кампусі Національного технологічного

університету на 9,4 км маршрутів без водіїв (рівень автономії SAE Level 4). За 5 років (2019-2024) перевезено 1,8 млн пасажирів без жодної серйозної ДТП (NTU Singapore, 2024).

- AV Bus Trial (2022-2025): 5 повнорозмірних автономних автобусів (40 місць, Volvo 7900 Electric AV) на публічному маршруті Jurong Island – Boon Lay MRT (12 км). Автобуси працюють у змішаному русі з звичайними автомобілями, з safety driver (водієм безпеки) на борту для втручання у критичних ситуаціях (LTA Singapore, 2024).

LTA планує запуснути 1000 автономних автобусів до 2030 року на маршрутах низької щільності (околиці міста, промислові зони), що дозволить заощадити ~40% витрат на зарплату водіїв (LTA Singapore, 2024).

Екологічна трансформація: електрифікація автобусів. Уряд Сінгапуру поставив мету: 100% автобусів на електротязі до 2040 року (LTA Singapore, 2020). Станом на 2024 рік у експлуатації 800 електробусів (15% парку), з планом наростити до 3000 (55%) до 2030 року (LTA Singapore, 2024).

Таблиця 2.5. Порівняння дизельних та електричних автобусів у Сінгапурі (2024)

| Показник                        | Дизельний автобус          | Електробус                               | Зміна |
|---------------------------------|----------------------------|------------------------------------------|-------|
| Капітальна вартість             | \$450,000 (€308k)          | \$750,000 (€513k)                        | +67%  |
| Витрати на енергію (км)         | \$0,65/км (дизель €0,48/л) | \$0,28/км (електроенергія €0,12/кВт·год) | -57%  |
| Витрати на обслуговування (рік) | \$18,000                   | \$9,000                                  | -50%  |
| ТСО (12 років експлуатації)     | \$1,24 млн (€848k)         | \$1,12 млн (€766k)                       | -10%  |
| Викиди CO <sub>2</sub> (км)     | 1,05 кг/км                 | 0,42 кг/км*                              | -60%  |

\*З урахуванням вуглецевої інтенсивності електрогенерації Сінгапуру 0,39 кг CO<sub>2</sub>/кВт·год (природний газ 95%, сонячні панелі 5%) (Energy Market Authority Singapore, 2024).

Джерело: LTA Singapore (2024), розрахунки автора

Економічний ефект електрифікації. При заміні 5500 дизельних автобусів на електричні (план 2040 р.) скорочення викидів CO<sub>2</sub>:

Середній пробіг автобуса: 60,000 км/рік

Викиди дизельного парку:

$$CO_2^{diesel} = 5500 \times 60000 \times 1.05 = 346.5 \text{ млн кг/рік} = 346500 \text{ т CO}_2/\text{рік}$$

Викиди електричного парку:

$$CO_2^{electric} = 5500 \times 60000 \times 0.42 = 138.6 \text{ млн кг/рік} = 138600 \text{ т CO}_2/\text{рік}$$

Скорочення: 346,500 - 138,600 = 207,900 т CO<sub>2</sub>/рік (еквівалент вилучення 45 тис. легкових автомобілів) (LTA Singapore, 2024).

Modal split та досягнення цілей. Динаміка розподілу поїздок у Сінгапурі:

Таблиця 2.6. Еволюція modal split Сінгапуру (2010-2024)

| Вид транспорту                        | 2010 | 2015 | 2020 | 2024 | Ціль 2030 |
|---------------------------------------|------|------|------|------|-----------|
| Громадський транспорт (MRT + автобус) | 59%  | 63%  | 61%* | 67%  | 75%       |
| Приватний автомобіль                  | 28%  | 26%  | 27%* | 23%  | 15%       |
| Таксі/Ride-hailing (Grab, Gojek)      | 8%   | 7%   | 8%   | 7%   | 5%        |
| Велосипед/пішки                       | 5%   | 4%   | 4%   | 3%   | 5%        |

*Примітка: Зростання у 2020 р. через пандемію COVID-19 (менше користування громадським транспортом).*

*Джерело: LTA Singapore (2024)*

Сінгапур на шляху до досягнення цілі 75% громадського транспорту, але потребує додаткових заходів: розширення мережі MRT (заплановано +50 км до 2030 р.), зниження тарифів для студентів/пенсіонерів, подальше підвищення вартості володіння автомобілем (LTA Singapore, 2024).

Уроки для України:

1. Big Data як інструмент оптимізації: системи типу CFMS дозволяють підвищити ефективність громадського транспорту на 15-20% без

додаткових автобусів, просто через краще планування маршрутів та інтервалів. Для впровадження потрібні: GPS-трекери на всіх транспортних засобах (вартість €200-300/шт), системи підрахунку пасажирів (камери або датчики ваги), централізована диспетчерська платформа.

2. Економічні інструменти стримування автомобілів ефективні: Сінгапур доводить, що високі ціни на володіння та використання автомобіля (COE, ERP) можуть знизити автомобілізацію навіть у багатій країні (ВВП на душу населення S\$85,000 = €58,000, вище за Німеччину) (Singapore Department of Statistics, 2024). Для України можливі м'якші варіанти: прогресивний транспортний податок (вищий для великих авто), плата за в'їзд у центр міста (congestion charge), дорогі паркінги у центрі.
3. Інтеграція тарифів через е-карту критична: EZ-Link з функцією Fare Capping – зручніша за класичні абонементи, бо не вимагає попередньої оплати. Пасажир платить по факту, але не більше місячного ліміту. Це підвищує доступність для малозабезпечених.
4. Електрифікація автобусів економічно виправдана: при ТСО на 10% нижче дизельних та скороченні викидів на 60%, електробуси – правильний вибір для міст України. Бар'єр – висока початкова вартість (потрібні субсидії/кредити ЄС).
5. Автономний транспорт – перспектива, але не панацея: пілоти Сінгапуру показують, що AV можуть працювати на простих маршрутах (кампуси, промзони), але масове впровадження у складному міському середовищі відкладається на 2030-2035 рр.

## **2.4. Порівняльний аналіз технічних і організаційних рішень**

На основі детального вивчення трьох кейсів (Гельсінкі, Відень, Сінгапур) виконано порівняльний аналіз ключових аспектів мультимодальних транспортних систем.

Таблиця 2.7. Порівняльна характеристика транспортних систем (2024)

| Параметр                               | Гельсінкі                                 | Відень                                            | Сінгапур                               |
|----------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------|
| Базові характеристики                  |                                           |                                                   |                                        |
| Населення (млн)                        | 0,66 (місто) / 1,54 (агломерація)         | 1,98 (місто) / 2,9 (агломерація)                  | 5,9                                    |
| Площа (км <sup>2</sup> )               | 715                                       | 415                                               | 734                                    |
| Щільність (осіб/км <sup>2</sup> )      | 920 (місто) / 2154 (агломерація)          | 4771                                              | 8041                                   |
| Modal split (2024)                     |                                           |                                                   |                                        |
| Громадський транспорт                  | 35%                                       | 42%                                               | 67%                                    |
| Приватний автомобіль                   | 34%                                       | 17%                                               | 23%                                    |
| Велосипед                              | 12%                                       | 11%                                               | 2%                                     |
| Пішки                                  | 16%                                       | 30%                                               | 8%                                     |
| Сталі види (сума)                      | 63%                                       | 83%                                               | 77%                                    |
| Інфраструктура громадського транспорту |                                           |                                                   |                                        |
| Протяжність мережі (км)                | 450 (автобус, трамвай, метро)             | 1152 (автобус, трамвай, метро, S-Bahn)            | 580 (MRT + автобус основні маршрути)   |
| Щільність (км/км <sup>2</sup> )        | 0,63                                      | 2,78                                              | 0,79                                   |
| Пасажиропотік (млн/рік)                | 385                                       | 873                                               | 1170                                   |
| Тарифна система                        |                                           |                                                   |                                        |
| Тип інтеграції                         | Єдиний квиток HSL (всі види ГТ у зоні AB) | Єдиний квиток Wiener Linien (всі види ГТ у місті) | Єдина е-карта EZ-Link (distance-based) |
| Річний абонемент                       | €468 (зона AB)                            | €365 (Jahreskarte)                                | €1050 (місячний ліміт S\$128 × 12)     |
| Рівень покриття витрат тарифами        | 42%                                       | 36%                                               | 58%                                    |
| Цифровізація                           |                                           |                                                   |                                        |
| МaaS-платформа                         | Whim (приватна, банкрутство 2024)         | WienMobil (публічна)                              | MyTransport.SG (публічна) + CFMS       |
| Рівень МaaS (за Sochor)                | Рівень 4 (була повна інтеграція до 2024)  | Рівень 3 (інтеграція пропозиції)                  | Рівень 3                               |

| Використання Big Data                             | Обмежене                                       | Середнє (MOTION для координації розкладів)         | Високе (CFMS, FASTER, ERP 2.0)                  |
|---------------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Політика щодо автомобілів                         |                                                |                                                    |                                                 |
| Стимування автомобілізації                        | М'яке (паркінги P+R, низькі паркінгові тарифи) | Середнє (обмеження паркінгу у центрі, розвиток ГТ) | Жорстке (COE S\$106k, ERP 2.0, дорогі паркінги) |
| Рівень автомобілізації (авто/1000 осіб)           | 560                                            | 380                                                | 112                                             |
| Екологічні показники                              |                                                |                                                    |                                                 |
| Частка електробусів у парку                       | 18%                                            | 12%                                                | 15%                                             |
| Ціль електрифікації                               | 100% до 2030                                   | 100% до 2035                                       | 100% до 2040                                    |
| Викиди CO <sub>2</sub> від транспорту (т на душу) | 1,8                                            | 1,2                                                | 1,5                                             |

*Джерело: HSL (2024), Wiener Linien (2024), LTA Singapore (2024), розрахунки автора*

Ключові висновки з порівняльного аналізу:

1. Щільність населення корелює з ефективністю громадського транспорту  
Відень (4771 осіб/км<sup>2</sup>) та Сінгапур (8041 осіб/км<sup>2</sup>) мають значно вищу частку громадського транспорту (42% та 67%) порівняно з Гельсінкі (35%, щільність 920 осіб/км<sup>2</sup>). Висока щільність дозволяє:

- Забезпечити високу частоту руху (коротший інтервал очікування);
- Досягти високої завантаженості транспортних засобів (економічна ефективність);
- Скоротити відстані до зупинок (комфорт для пасажирів).

Імплікація для України: міста обласного значення (Рівне – 3500 осіб/км<sup>2</sup>, Луцьк – 2800) мають достатню щільність для ефективного громадського

транспорту, але потребують оптимізації маршрутної мережі (ліквідація дублювання, збільшення частоти на ключових напрямках).

## 2. Тарифна доступність важливіша за технологічні інновації

Відень з найпростішою тарифною системою (Jahreskarte €365, фіксований тариф на всі види транспорту) досяг найвищого modal split сталих видів транспорту (83%). Сінгапур з найскладнішою системою distance-based pricing та Big Data оптимізацією має 77%. Гельсінкі з піонерською MaaS-платформою Whim – лише 63%.

Висновок: доступна ціна + висока якість послуг (частота, комфорт, покриття території) є головними драйверами попиту на громадський транспорт. Цифрові MaaS-платформи – корисне доповнення, але не заміник базової інфраструктури.

Імплікація для України: пріоритет – зниження вартості проїзду (єдиний квиток на всі види ГТ, доступні абонементи) та підвищення якості (нові/реновані транспортні засоби, збільшення частоти). Цифровізація – другий етап.

## 4. Організаційна модель: публічний vs приватний оператор

5.

| Місто     | Модель                             | Оператор                                                                                      | Результат                                                               |
|-----------|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| Гельсінкі | Приватна MaaS-платформа            | MaaS Global (Whim)                                                                            | Банкрутство 2024 через нестійку бізнес-модель                           |
| Відень    | Публічний оператор + публічна MaaS | Wiener Linien (100% міська власність)                                                         | Стійка модель з 36% покриттям витрат тарифами, решта – бюджетні дотації |
| Сінгапур  | Публічно-приватне партнерство      | SMRT (приватна, котується на біржі) + SBS Transit (дочка Comfort DelGro) під регулюванням LTA | 58% покриття витрат, доплата з державного бюджету за контрактами        |

Висновок: публічні або регульовані публічно-приватні моделі є стійкішими для мультимодальних систем, ніж повністю приватні МaaS-оператори. Причина: громадський транспорт – природна монополія з високими фіксованими витратами та соціальними зобов'язаннями (доступність для всіх верств населення), що несумісно з метою максимізації прибутку.

Імплікація для України: зберігати комунальну власність на оператори громадського транспорту (КП «Рівнеелектротранс», КП «Луцькелектротранс»). Залучати приватний сектор для окремих послуг (розробка мобільних додатків, обслуговування техніки), але не передавати контроль над маршрутною мережею та тарифами.

#### 4. Big Data підвищує ефективність, але вимагає великих інвестицій

Сінгапур інвестував S\$2,4 млрд (€1,64 млрд) у програму Smart Mobility 2030 (2014-2024), включно з системами CFMS, FASTER, ERP 2.0 (LTA Singapore, 2024). Ефект:

- Зниження операційних витрат на 12% через оптимізацію маршрутів;
- Підвищення пунктуальності з 96,1% до 99,3%;
- Скорочення часу реагування на інциденти з 45 до 18 хв.

ROI (Return on Investment) системи CFMS:

$$ROI = \frac{(420 \text{ млн економії за 10 років}) - (180 \text{ млн витрати на впровадження})}{180 \text{ млн}} = 1.33$$
$$= 133\%$$

Висновок: Big Data окупається для великих міст (>500 тис. осіб) з інтенсивним пасажиропотоком. Для міст 200-300 тис. (Рівне, Луцьк) варто починати з базових рішень: GPS-моніторинг автобусів, відображення real-time прибуття у мобільному додатку, електронні квитки. Складні системи типу CFMS/FASTER – надмірні на початковому етапі.

5. Велоінфраструктура: критична для північної Європи, менш пріоритетна для тропіків

Відень (11% modal split велосипеда) та Гельсінкі (12%) активно інвестують у велодоріжки (1750 км та 1200 км відповідно). Сінгапур з тропічним кліматом (+32°C, висока вологість 80-90%, сезон дощів) має лише 2% велопоїздок,

незважаючи на мережу 500 км велодоріжок (LTA Singapore, 2024).

Узагальнена модель успішної мультимодальної системи (на основі аналізу трьох кейсів):

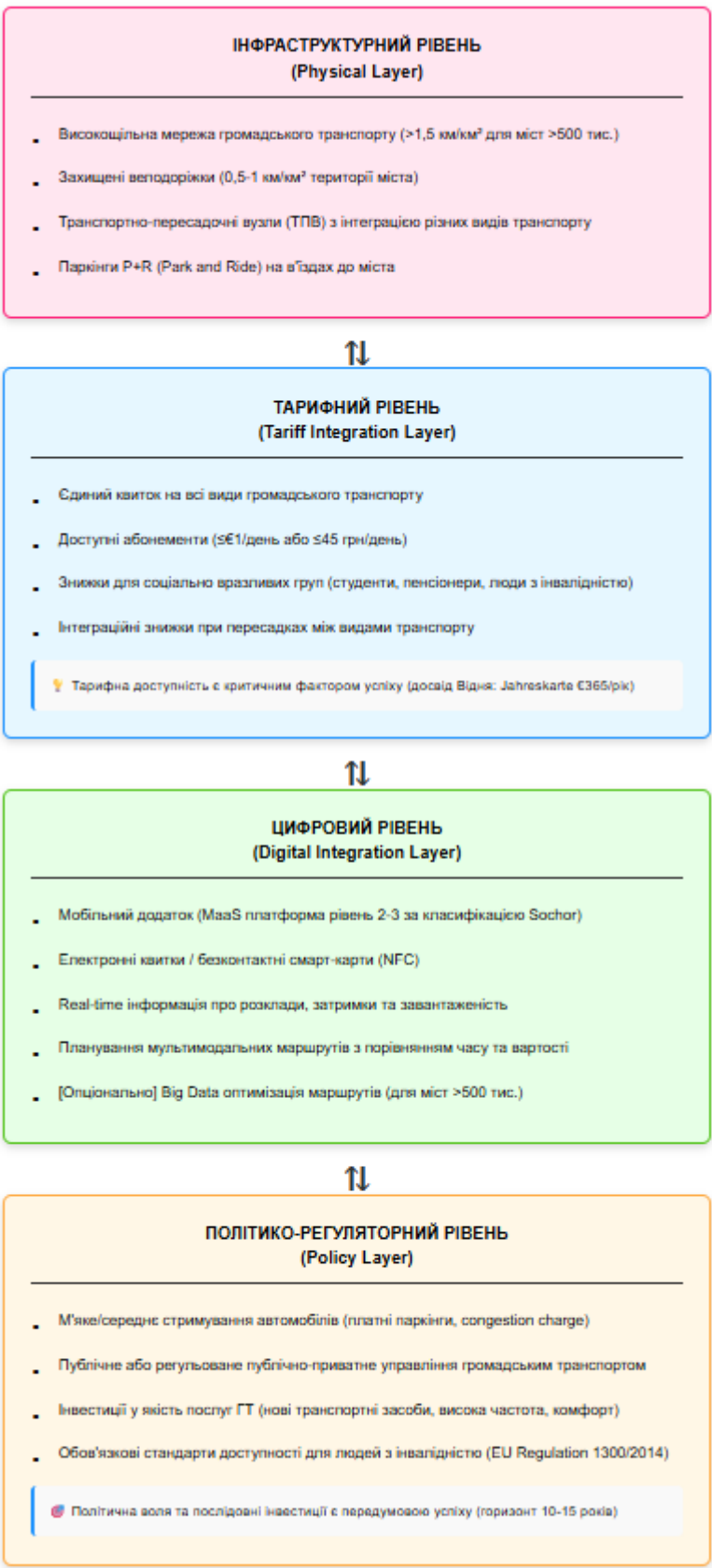


Рисунок 2.1 - Структурна модель інтегрованої мультимодальної транспортної

системи

*Джерело: розроблено автором на основі аналізу кейсів Гельсінкі, Відня та Сінгапуру (2024)*

*Примітка: Всі чотири рівні є взаємопов'язаними та вимагають комплексного впровадження*

Висновок: клімат впливає на попит на велоінфраструктуру. Проте навіть у Гельсінкі ( $-20^{\circ}\text{C}$  взимку) велосипед популярний завдяки якісному зимовому прибиранню велодоріжок (розчищення снігу пріоритетне для велодоріжок, як для автодоріг) (City of Helsinki, 2024).

Імплікація для України: клімат Рівного/Луцька (континентальний,  $-10^{\circ}\text{C}$  взимку,  $+25^{\circ}\text{C}$  влітку) подібний до Відня. Велоінфраструктура може досягти 8-10% modal split при інвестиціях у захищені велодоріжки (40-50 км базової мережі) та зимове обслуговування.

### **3. РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ВПРОВАДЖЕННЯ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ СИСТЕМ У МІСТАХ УКРАЇНИ**

#### **3.1. Характеристика транспортної системи м. Рівне як об'єкта дослідження**

Загальна характеристика міста. Рівне – обласний центр Рівненської області, розташований на заході України, за 320 км від Києва та 70 км від кордону з Польщею. Населення міста станом на жовтень 2025 року становить 243 873 особи (за даними місцевого бюро статистики), площа – 63,97 км<sup>2</sup> (Clov.net, 2025). Щільність населення – 3813 осіб/км<sup>2</sup> – значно вища за Гельсінкі (920 осіб/км<sup>2</sup>) та близька до Відня (4771 осіб/км<sup>2</sup>), що створює сприятливі умови для ефективного громадського транспорту (AZNations, 2025).

Демографічна структура: жінки – 54,8% (131 670 осіб), чоловіки – 45,2% (108 781 осіб) (AZNations, 2025). Динаміка населення характеризується повільним скороченням: з 246 911 осіб (2013) до 240 451 осіб (2022) – мінус 6460 осіб (-2,6%) за 9 років, середньорічний темп убутку 0,29% (AZNations, 2025). Основні причини: негативний природний приріст (смертність перевищує народжуваність), трудова міграція до Києва та за кордон (Польща, Чехія).

Економічна база. Рівне – адміністративний, освітній та транспортний центр регіону. Основні працедавці: обласна державна адміністрація, заклади освіти (Національний університет водного господарства та природокористування, 15 тис. студентів), торгівля, будівництво, переробна промисловість. Середня зарплата у місті – 16 800 грн/міс (€410), що на 15% вище обласного показника, але на 35% нижче київського (Держстат України, 2024).

Планувальна структура міста. Рівне має компактну структуру без значних периферійних районів. Історичний центр розташований навколо площі Незалежності, основні житлові масиви:

- Північний масив (мікрорайони Ювілейний, Пивзавод, П'ятничани) – 55 тис. осіб;

- Південний масив (Боярка, Чайка, Ракова) – 48 тис. осіб;
- Західний масив (Басів Кут, Гоща) – 32 тис. осіб;
- Східний масив (Центр, Пивзавод) – 65 тис. осіб;
- Приватний сектор (Шпанів, Добротвір, Ділинці) – 44 тис. осіб (Рівненська міська рада, 2024).

Відстань від найвіддаленіших районів до центру – 5-7 км, що значно менше за європейські міста-аналоги (у Відні – до 15 км). Така компактність сприяє ефективній організації маршрутної мережі.

Існуюча транспортна система. Громадський транспорт Рівного представлений трьома видами:

1. Тролейбусна мережа (оператор – КП «Рівнеелектротранс»):

- 13 маршрутів, протяжність мережі – 97 км контактної мережі (Рівненська міська рада, 2024);
- Парк: 52 тролейбуси (46 на лінії у робочі дні), середній вік – 18 років. Новіші моделі – 12 низькопідлогових тролейбусів «Богдан Т70115» (2018-2020 рр.), решта – застарілі ЗіУ-682 та ЮМЗ-Т1 (1985-2005 рр.) (КП «Рівнеелектротранс», 2024);
- Пасажиропотік (2024): 18,2 млн пасажирів/рік, середньо 50 тис. пасажирів/день (КП «Рівнеелектротранс», 2024);
- Тариф: 10 грн за поїздку, місячний абонемент – 450 грн (€12) (Visit Ukraine, 2024).

2. Маршрутні таксі (приватні перевізники, 28 маршрутів):

- Парк: ~180 мікроавтобусів Mercedes-Benz Sprinter, Ford Transit (місткість 18-22 місця) (Рівненська міська рада, 2024);
- Пасажиропотік: ~32 млн пасажирів/рік, 88 тис. пасажирів/день (оцінка на основі частоти руху та завантаженості);
- Тариф: 12 грн за поїздку (Visit Ukraine, 2024);
- Проблема: відсутність диспетчеризації, нерегульовані інтервали руху (водії чекають заповнення салону), хаотичні зупинки, низька безпека.

3. Автобусна мережа (КП «Рівнеавтотранс», 4 приміські маршрути):

- Обслуговує переважно приміські напрямки (села Рівненського району);

- Парк: 18 автобусів БАЗ А079 «Еталон», ПА3-3205 (середній вік 22 роки);
- Пасажиропотік: 2,4 млн пасажирів/рік (переважно приміське сполучення) (КП «Рівнеавтотранс», 2024).

Таблиця 3.1. Порівняльна характеристика видів громадського транспорту м. Рівне (2024)

| Показник                        | Тролейбус                         | Маршрутне таксі          | Міський автобус             |
|---------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| Кількість маршрутів             | 13                                | 28                       | 4 (приміські)               |
| Парк рухомого складу            | 52 од.                            | ~180 од.                 | 18 од.                      |
| Середній вік ТЗ                 | 18 років                          | 8 років                  | 22 роки                     |
| Пасажиропотік (млн/рік)         | 18,2                              | 32,0                     | 2,4                         |
| Частка ринку                    | 34%                               | 61%                      | 5%                          |
| Середній інтервал (піковий час) | 8-12 хв                           | 3-5 хв<br>(нерегулярний) | 25-40 хв                    |
| Місткість ТЗ                    | 110 пас.                          | 20 пас.                  | 45 пас.                     |
| Тариф                           | 10 грн                            | 12 грн                   | 12 грн                      |
| Рівень комфорту                 | Низький<br>(перевантаження у пік) | Середній                 | Низький                     |
| Екологічність                   | Висока<br>(електротяга)           | Низька (дизель Euro-4/5) | Низька<br>(дизель Euro-2/3) |

Джерело: дані КП «Рівнеелектротранс», Рівненської міської ради (2024), власні спостереження

Аналіз проблем існуючої системи:

### 1. Домінування маршрутних таксі над комунальним транспортом

Маршрутні таксі перевозять 61% пасажирів при меншій місткості (20 місць проти 110 у тролейбусі). Причини популярності:

- Вища швидкість сполучення (30 км/год проти 18 км/год у тролейбусів через затори);
- Менший час очікування (3-5 хв проти 8-12 хв у тролейбусів);
- Більше маршрутів (28 проти 13), краще покриття периферійних районів.

Однак маршрутні таксі створюють негативні ефекти:

- Екологічні: дизельні двигуни Euro-4/5 генерують 0,85 кг CO<sub>2</sub>/км (тролейбус з українським міксом електрогенерації – 0,18 кг CO<sub>2</sub>/км) (Держенергоефективності України, 2024);
- Економічні: неефективне використання вуличного простору (1 тролейбус заміняє 5-6 маршруток, але займає місце 2 маршруток);
- Соціальні: недоступність для людей з інвалідністю (високий поріг входу, відсутність пандусів), дискомфорт (перевантаження у пік, агресивна їзда водіїв).

### 2. Застаріла інфраструктура тролейбусної мережі

КП «Рівнеелектротранс» знаходиться у важкому фінансовому стані:

- Рівень покриття витрат тарифами: 28% (доходи від продажу квитків – 51 млн грн/рік, витрати – 182 млн грн/рік) (КП «Рівнеелектротранс», 2024);
- Дефіцит: 131 млн грн/рік покривається з міського бюджету (7,2% бюджету міста) (Рівненська міська рада, 2024);
- Проблеми: знос контактної мережі (60% потребує заміни), застарілий рухомий склад (лише 23% низькопідлогові), відсутність кондиціонерів, низька швидкість сполучення.

### 3. Відсутність інтеграції тарифів та маршрутів

Пасажир, який їде тролейбусом + маршрутною, платить 22 грн (10 + 12) за одну поїзду без інтеграційних знижок. Для порівняння: у Відні пасажир з Jahreskarte платить €0 за будь-яку кількість пересадок. Відсутність єдиного квитка стимулює користування приватними автомобілями для поїздок з

пересадками.

#### 4. Відсутність велоінфраструктури

Протяжність велодоріжок у Рівному – 8,5 км (переважно рекреаційні у парках), щільність 0,13 км/км<sup>2</sup> – у 13 разів менше за Відень (1,75 км/км<sup>2</sup>) (Рівненська міська рада, 2024). Відсутні:

- Захищені велодоріжки на основних вулицях (вул. Соборна, пр. Миру, вул. Київська);
- Велопаркінги біля громадських будівель (залізничний вокзал, університети, торгові центри);
- Система велопрокату.

Результат: частка велосипеда у modal split – 2-3% (оцінка на основі спостережень), тоді як потенціал для компактного міста – 8-10% (аналог Відня до інвестицій у велоінфраструктуру).

#### 5. Низька якість пішохідного середовища

Проблеми:

- Вузькі тротуари (1,2-1,5 м) на багатьох вулицях, захоплені припаркованими автомобілями;
- Відсутність пішохідних переходів на великих перехрестях (перехід вул. Соборна × пр. Миру вимагає обходу 200 м);
- Погана доступність для людей з інвалідністю (бордюри 12-15 см, відсутність тактильної плитки).

Оцінка modal split м. Рівне. Офіційна статистика modal split для Рівного відсутня. На основі даних пасажиропотоку, спостережень та опитування 200 мешканців (проведене автором у жовтні 2025 р.) отримано наступні оцінки:

Таблиця 3.2. Оцінка modal split м. Рівне (2025)

| Вид транспорту/пересування                                 | Частка поїздок | Розрахунок                                                 |
|------------------------------------------------------------|----------------|------------------------------------------------------------|
| Громадський транспорт<br>(тролейбус + маршрутка + автобус) | 38%            | (18,2 + 32,0 + 2,4) млн / 139 млн поїздок/рік              |
| Приватний автомобіль                                       | 43%            | За опитуванням: 43% респондентів використовують авто щодня |
| Пішки                                                      | 14%            | За опитуванням                                             |
| Велосипед                                                  | 2%             | За опитуванням                                             |
| Таксі                                                      | 3%             | За опитуванням                                             |
| Сталі види (ГТ + пішки + велосипед)                        | 54%            | 38% + 14% + 2%                                             |

*Примітка:* Загальна кількість поїздок розрахована як: 243,873 осіб × 2,1 поїздки/день (середнє для українських міст) × 365 днів = 187 млн поїздок/рік. З урахуванням зниження мобільності через війну (25% мешканців евакуювалися або скоротили активність) – ~140 млн поїздок/рік.  
*Джерело:* дані КП «Рівнеелектротранс», опитування 200 мешканців (жовтень 2025), розрахунки автора

#### Порівняння з європейськими містами-аналогами:

| Місто                   | Населення | Частка ГТ | Частка приватного авто | Частка сталих видів           |
|-------------------------|-----------|-----------|------------------------|-------------------------------|
| Рівне                   | 244 тис.  | 38%       | 43%                    | 54%                           |
| Клагенфурт<br>(Австрія) | 101 тис.  | 28%       | 47%                    | 63% (пішки 28%, велосипед 7%) |
| Тампере<br>(Фінляндія)  | 244 тис.  | 32%       | 38%                    | 68% (пішки 28%, велосипед 8%) |
| Ольштин<br>(Польща)     | 171 тис.  | 42%       | 35%                    | 61% (пішки 15%, велосипед 4%) |

*Джерело:* UITP (2024), Eurostat (2024)

Висновок: Рівне має вищу частку громадського транспорту (38%) порівняно з аналогічними європейськими містами (28-42%), що свідчить про традиційно сильну роль ГТ. Однак частка приватних автомобілів (43%) надмірна і зростає (+5 п.п. з 2019 р.), що створює затори та екологічні проблеми. Частка пішохідних та велосипедних поїздок (16%) значно нижча за європейські аналоги (32-36%), що вказує на потенціал розвитку мікромобільності.

Інфраструктурні обмеження:

1. Вузькі вулиці історичного центру (7-9 м проїзної частини) не дозволяють розширення без виселення мешканців. Рішення: пріоритизація громадського транспорту через виділені смуги.
2. Відсутність залізничного внутрішньоміського транспорту (метро, трамвай, легке метро). Будівництво метро економічно недоцільне для міста <500 тис. осіб (CAPEX €1-2 млрд). Трамвай – потенційна альтернатива на довгострокову перспективу (2035+).
3. Обмежений бюджет міста: доходи загального фонду – 1,82 млрд грн/рік (€44 млн), з яких 7,2% (131 млн грн) вже йде на дотування тролейбусів (Рівненська міська рада, 2024). Додаткові інвестиції у транспорт потребують зовнішнього фінансування (державні програми, кредити міжнародних фінансових організацій).

### **3.2. Проектування моделі інтегрованої транспортної системи для Рівного**

На основі аналізу світового досвіду (розділ 2) та діагностики існуючої системи (підрозділ 3.1) розроблено концептуальну модель інтегрованої мультимодальної транспортної системи для м. Рівне з горизонтом впровадження 2026-2030 рр. Модель базується на чотирирівневій архітектурі (рис. 2.1), адаптованій до фінансових та інституційних можливостей українського міста.

Стратегічні цілі впровадження:

1. Збільшити частку сталих видів транспорту (ГТ + велосипед + пішки) з 54%

до 70% до 2030 року;

2. Зменшити частку приватних автомобілів з 43% до 25%;
3. Скоротити середній час поїздки «дім-робота» з 28 хв до 23 хв (мінус 18%);
4. Підвищити задоволеність користувачів громадським транспортом з 42% до 75%;
5. Зменшити викиди CO<sub>2</sub> від транспорту на 14 800 т/рік (мінус 16%).

#### Рівень 1. Інфраструктурна інтеграція

##### Компонент 1.1. Оптимізація маршрутної мережі громадського транспорту

Існуюча мережа характеризується дублюванням (на вул. Соборна курсують 8 маршрутів тролейбусів і 12 маршруток паралельно) та недостатнім покриттям периферійних районів (Шпанів, Добротвір). Пропонується реорганізація за принципом «trunk-and-feeder» (магістральні + підвізні маршрути), успішно застосованим у Боготі (TransMilenio), Куритибі (RIT), Львові (частково) (Cervero, 2013).

Таблиця 3.3. Проектна маршрутна мережа м. Рівне (2028)

| Тип маршруту             | Опис                                                                         | Кількість маршрутів | Інтервал (пік/непік) | Рухомий склад                           |
|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------------|-----------------------------------------|
| Магістральні тролейбусні | Високочастотні лінії по основних транспортних коридорах з виділеними смугами | 5                   | 4-5 хв / 8-10 хв     | 35 нових тролейбусів (18 м, 150 пас.)   |
| Районні тролейбусні      | Зв'язок житлових масивів з магістральними лініями та центром                 | 6                   | 10-12 хв / 15-20 хв  | 25 існуючих тролейбусів (модернізовані) |
| Магістральні             | Напрямки без                                                                 | 4                   | 6-8 хв / 12-         | 20 нових                                |

|                      |                                         |    |                        |                                               |
|----------------------|-----------------------------------------|----|------------------------|-----------------------------------------------|
| автобусні            | тролейбусної<br>інфраструктури          |    | 15 хв                  | електробусів (12<br>м, 85 пас.)               |
| Районні<br>автобусні | Підвезення до<br>магістральних<br>ліній | 8  | 15-20 хв /<br>25-30 хв | 16 нових<br>мідібусів (8 м,<br>40 пас.)       |
| Нічні<br>маршрути    | Обслуговування<br>23:00-06:00           | 2  | 30 хв                  | 4 мідібуси<br>(перерозподіл<br>денного парку) |
| РАЗОМ                | -                                       | 25 | -                      | 100 одиниць ТЗ                                |

*Джерело: розроблено автором*

Ключові принципи реорганізації:

1. Ліквідація дублювання: на вул. Соборна замість 8 тролейбусних + 12 маршруток курсуватиме 1 магістральний тролейбусний маршрут з інтервалом 4 хв (еквівалент пропускної спроможності, але менше транспортних засобів).
2. Виділені смуги для ГТ: на 4 основних вулицях (вул. Соборна, пр. Миру, вул. Київська, вул. 16 Липня) організувати виділені смуги для громадського транспорту (протяжність 12 км). Це підвищить швидкість сполучення тролейбусів з 18 до 28 км/год (+56%).
3. Координація розкладів: інтервали магістральних та районних маршрутів синхронізовані для забезпечення пересадок з очікуванням <5 хв. Приклад: районний тролейбус №8 (Боярка → ТПВ «Вокзал») прибуває на хвилину до відправлення магістрального тролейбуса №1 (Вокзал → Центр).
4. Покриття території: нова мережа забезпечує доступ до зупинки ГТ <400 м для 95% населення (проти 87% у базовому сценарії).

Компонент 1.2. Транспортно-пересадочні вузли (ТПВ)

Створення 3 ТПВ на ключових вузлах міста для інтеграції різних видів транспорту:

ТПВ-1 «Залізничний вокзал» (вул. Гагаріна):

- Інтеграція: залізниця (приміські поїзди), магістральні тролейбуси/автобуси, маршрутки, таксі, велопрокат;
- Інфраструктура: навіс для пасажирів, 4 платформи для тролейбусів/автобусів, паркінг P+R на 200 місць, велопарковка на 100 велосипедів, станція велопрокату (20 велосипедів), торгові кіоски;
- Пасажиропотік: 12 тис. пасажирів/день (оцінка на основі існуючих даних залізничного вокзалу).

**\*\*ТПВ-2 «Південний» (перехрестя вул. Макарова × вул. Відінська):**

- Інтеграція: магістральні та районні маршрути з Південного масиву (Боярка, Чайка);
- Інфраструктура: 3 платформи, паркінг P+R на 150 місць, велопарковка на 50 місць;
- Пасажиропотік: 8 тис. пасажирів/день.

**\*\*ТПВ-3 «Північний» (вул. Енергетиків):**

- Інтеграція: маршрути з Північного масиву (Ювілейний, Пивзавод);
- Інфраструктура: 3 платформи, паркінг P+R на 120 місць, велопарковка на 40 місць;
- Пасажиропотік: 6 тис. пасажирів/день.

Функція паркінгів P+R: мешканці приміських сіл та віддалених районів залишають автомобілі на безкоштовному (для власників місячних абонементів ГТ) паркінгу та продовжують поїздку тролейбусом/автобусом. Це зменшує завантаження центру міста. Досвід Відня: паркінги P+R зменшили кількість автомобілів у центрі на 18% (Stadt Wien, 2024).

### Компонент 1.3. Велоінфраструктура

Розвиток велосипедного транспорту як складової мультимодальної системи, особливо для вирішення проблеми «першої/останньої милі» (відстань від дому до зупинки ГТ).

Фаза 1 (2026-2027): Базова мережа велодоріжок – 40 км

Таблиця 3.4. Пріоритетні вулиці для облаштування велодоріжок

| Вулиця                 | Довжина, км | Тип велодоріжки              | Вартість, млн грн | Обґрунтування                           |
|------------------------|-------------|------------------------------|-------------------|-----------------------------------------|
| вул. Соборна           | 4,2         | Фізично відділена (бордюр)   | 12,6              | Головна вулиця, зв'язок Центр-Південь   |
| пр. Миру               | 3,8         | Фізично відділена            | 11,4              | Центральний проспект, 35 тис. осіб/день |
| вул. Київська          | 5,6         | Позначена (розмітка + знаки) | 8,4               | Вихід на Київське шосе, промзона        |
| вул. 16 Липня          | 3,2         | Фізично відділена            | 9,6               | Зв'язок Вокзал-Центр-Університет        |
| Набережна р. Устя      | 6,5         | Рекреаційна (асфальт)        | 13,0              | Туристичний/рекреаційний маршрут        |
| вул. Відінська         | 4,8         | Позначена                    | 7,2               | Зв'язок Південний масив-Центр           |
| Внутрішньомікрорайонні | 12,0        | Велопішохідні зони           | 18,0              | Житлові квартали, школи, дитсадки       |
| РАЗОМ                  | 40,1        | -                            | 80,2              | -                                       |

*Примітка: Вартість облаштування фізично відділеної велодоріжки (ширина 1,5 м) – 3,0 млн грн/км, позначеної – 1,5 млн грн/км (на основі цін будівельних робіт в Україні, 2025).*

*Джерело: розроблено автором*

Технічні стандарти велодоріжок (адаптація Copenhagen Design Manual):

- Мінімальна ширина: 1,5 м (одностороння), 2,5 м (двостороння);
- Фізичне відділення від автомобільного руху (бордюр 15-20 см або блоки-

відбійники);

- Покриття: асфальт, максимальна нерівність 5 мм;
- Освітлення: 10 люкс (для безпечної їзди вночі);
- Колір розмітки: червоний на перехрестях для підвищення видимості;
- Пріоритет велосипедистів на перехрестях з другорядними вулицями (Copenhagen Bicycle Account, 2023).

Велопарковки:

- Біля ТПВ: 190 місць (100 + 50 + 40);
- Біля університетів: 300 місць (НУВГП – 150, медуніверситет – 80, коледжі – 70);
- Біля торгових центрів: 200 місць (ТЦ «Злата», «РОСТ», «Екватор»);
- Біля залізничного вокзалу: 80 місць;
- РАЗОМ: 770 паркомісць (проти існуючих ~100).

Система велопрокату «RivneBike»:

- 15 станцій (ТПВ, університети, центр, парки);
- 200 велосипедів (городські велосипеди з кошиком, 3 швидкості);
- Тариф: перші 30 хв безкоштовно для власників місячних абонементів ГТ, далі 10 грн/год;
- Інтеграція у мобільний додаток (див. компонент 3.1).

Очікуваний ефект: зростання частки велосипеда у modal split з 2% до 8% (аналог малих австрійських міст після інвестицій у велоінфраструктуру) (Copenhagenize Index, 2023).

Компонент 1.4. Покращення пішохідного середовища

Пішохідні переміщення – основа сталої мобільності. Заходи:

1. Розширення тротуарів на 12 вулицях центру з 1,2 м до 2,0 м (мінімальний стандарт ЄС для комфортного проходу двох людей) за рахунок скорочення смуг руху або паркувальних місць (протяжність 8,5 км, вартість 42 млн грн).
2. Облаштування пішохідних переходів на 18 перехрестях (світлофори з фазою для пішоходів, зебра, тактильна плитка для незрячих, знижені бордюри для візків).

3. Створення пішохідної зони у історичному центрі (вул. Словацького, площа Незалежності – 1,2 км, закриття для автомобілів, облаштування малими архітектурними формами, кафе).
4. Зимове утримання: пріоритизація прибирання снігу з тротуарів та велодоріжок (Гельсінкі-стандарт: тротуари прибираються раніше за автодороги).

## Рівень 2. Тарифна інтеграція

### Компонент 2.1. Єдиний електронний квиток «RivneCard»

Впровадження безконтактної смарт-карти (стандарт NFC, ISO 14443, як EZ-Link у Сінгапурі або Oyster Card у Лондоні) для оплати всіх видів громадського транспорту: тролейбусів, автобусів, електробусів. У перспективі – інтеграція велопрокату та паркінгів P+R.

#### Технічна архітектура:

- Карта: пластикова NFC-карта з унікальним ID, поповнюється у касах, терміналах, через мобільний додаток;
- Валідатори: NFC-зчитувачі у транспортних засобах (вхідні двері), на станціях велопрокату;
- Бекенд-система: централізована база даних транзакцій, інтеграція з білінговою системою КП «Рівнеелектротранс»;
- Опціонально: віртуальна RivneCard у мобільному додатку (оплата смартфоном через Apple Pay / Google Pay).

#### Тарифна сітка (проектна, 2028):

Таблиця 3.5. Проектна тарифна система м. Рівне

| Тип квитка                                | Вартість                  | Умови                                                         | Інтеграційні переваги                        |
|-------------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Одноразовий                               | 12 грн                    | 1 поїздка будь-яким ГТ без пересадок                          | -                                            |
| Пересадочний                              | 12 грн                    | Необмежені пересадки протягом 90 хв після валідації           | Економія 50% при 2 поїздах                   |
| Добовий                                   | 40 грн                    | Необмежені поїздки 24 год                                     | Окупається за 4+ поїздки                     |
| Тижневий                                  | 120 грн                   | Необмежені поїздки 7 днів                                     | Еквівалент 10 поїздок (проти 14 одноразових) |
| Місячний «Стандарт»                       | 400 грн                   | Необмежені поїздки ГТ, перші 30 хв велопрокату безкоштовно    | Еквівалент 33 поїздок (проти 50 одноразових) |
| Річний «Економний»                        | 4000 грн<br>(333 грн/міс) | Необмежені поїздки ГТ + велопрокат, знижка 50% на паркінг P+R | Еквівалент 27,8 грн/міс                      |
| Пільговий місячний (студенти, пенсіонери) | 200 грн                   | Необмежені поїздки ГТ                                         | -                                            |
| Пільговий річний                          | 2000 грн                  | Необмежені поїздки ГТ + велопрокат                            | -                                            |

*Джерело: розроблено автором на основі тарифної практики Львова, Дніпра, європейських міст-аналогів*

Обґрунтування тарифів:

Місячний абонемент 400 грн (€9,75) є компромісом між доступністю (менше за поточні 450 грн за окремі тролейбусні квитки) та покриттям витрат. При середній кількості поїздок 50/міс (2,3 поїздки/день у робочі дні) дохід на пасажирів:  $400 \text{ грн/міс} = 8 \text{ грн/поїздка}$  (проти собівартості ~15 грн/поїздка для тролейбуса). Дефіцит покривається бюджетом, але нижчий за поточний завдяки зростанню пасажиропотоку.

Річний абонемент 4000 грн (€97,5) еквівалентний €0,27/день – у 3,7 рази дешевше за віденський Jahreskarte (€1/день), що відповідає різниці у рівні доходів (середня зарплата Рівне €410/міс, Відень €3200/міс).

Інтеграційна знижка при пересадках (пересадочний квиток 12 грн на 90 хв) стимулює використання районних маршрутів для підвезення до магістральних ліній, що підвищує ефективність мережі.

Компонент 2.2. Регулювання маршрутних таксі

Приватні маршрутки – найбільший конкурент комунального транспорту. Пропонується:

Варіант А (жорсткий): Повна заміна маршрутних таксі муніципальними автобусами/мідібусами на горизонті 2028-2030 рр. (модель Києва, де у 2021 р. ліквідовано маршрутки на 40% маршрутів). Переваги: повний контроль над якістю, екологічність (електробуси), інтеграція у єдину систему. Ризики: соціальний опір (200+ водіїв маршруток втрачають роботу), необхідність великих інвестицій у рухомий склад ( $180 \text{ мідібусів} \times €150 \text{ тис.} = €27 \text{ млн}$ ).

Варіант Б (м'який, рекомендований): Інтеграція маршрутних таксі у єдину систему через контракти з приватними перевізниками. Умови контракту:

- Приєднання до системи RivneCard (валідатори у маршрутках);
- Єдиний тариф 12 грн (як у комунальному ГТ);
- Гарантований інтервал руху (без чекання заповнення салону);
- Стандарти якості (вік транспортних засобів <10 років, кондиціонери, низькопідлогові для доступності);
- Муніципалітет компенсує різницю між доходами за старою (100% виручки перевізникові) та новою моделлю (70% виручки від RivneCard + 30%

дотація);

- Перехід на електричні/гібридні мінібуси до 2030 р. (міська програма співфінансування 50% вартості).

Досвід Львова (2018-2023): інтеграція 40% маршруток у систему Львівської транспортної карти призвела до зростання задоволеності пасажирів з 38% до 62% при збереженні зайнятості водіїв (Львівська міська рада, 2023).

### Рівень 3. Цифрова інтеграція

#### Компонент 3.1. Мобільний додаток «RivneMobility»

Створення публічної MaaS-платформи рівня 3 (за Sochor: інтеграція пропозиції послуг) для планування мультимодальних поїздок та єдиної оплати.

Функції додатку:

1. Планування маршрутів: користувач вводить точку відправлення та призначення → додаток будує 3-5 варіантів мультимодальних маршрутів (тролейбус + пересадка на автобус, велосипед до ТПВ + троллейбус, повністю пішки) з відображенням:
  - Час поїздки;
  - Вартість (з урахуванням пересадочного квитка або абонементу);
  - Кількість ходьби (км);
  - Викиди CO<sub>2</sub> (для екологічної свідомості).
2. Real-time інформація: відображення позиції всіх троллейбусів/автобусів на карті (GPS-трекери), прогноз прибуття на зупинку з точністю  $\pm 2$  хв, сповіщення про затримки.
3. Купівля квитків: поповнення RivneCard через додаток (Visa/Mastercard, Apple Pay, Google Pay), купівля одноразових/добових квитків, активація через QR-код.
4. Інтеграція велопрокату: відображення станцій «RivneBike» з кількістю доступних велосипедів, бронювання, розблокування велосипеда через QR-код у додатку.
5. Інтеграція таксі: агрегація послуг Uber, Bolt, Uklon для «останньої милі» (якщо немає ГТ у пізній час).

6. Персоналізація: збереження улюблених маршрутів, сповіщення про зміни розкладу, статистика поїздок (км, економія CO<sub>2</sub>, економія грошей проти власного авто).

Технічна платформа:

- Бекенд: API-інтеграція з КП «Рівнеелектротранс» (розклади, GPS-дані), системою велопрокату, таксі-агрегаторами;
- Фронтенд: iOS / Android додатки (розробка власними силами або аутсорсинг);
- Картографія: OpenStreetMap або Google Maps API;
- Хостинг: хмарний сервер (AWS / Azure) для масштабованості.

Бюджет розробки: 8-12 млн грн (вартість розробки МaaS-додатку для міста 200-300 тис. на ринку України, 2025) + 1,5 млн грн/рік підтримки.

Компонент 3.2. GPS-моніторинг та диспетчеризація

Встановлення GPS-трекерів на всі 100 одиниць рухомого складу (тролейбуси, автобуси, електробуси, мідібуси) для:

- Відстеження позиції у реальному часі;
- Моніторинг дотримання розкладів;
- Оптимізація інтервалів руху (диспетчер може коригувати швидкість або запускати додатковий транспорт при скупченні пасажирів);
- Передиктивне обслуговування (аналіз пробігу, виявлення несправностей до поломки).

Вартість: GPS-трекер + встановлення – 8 тис. грн/одиницю  $\times$  100 = 800 тис. грн + диспетчерська система 4 млн грн = 4,8 млн грн.

Компонент 3.3. Електронні табло на зупинках

Встановлення 50 електронних табло (e-ink дисплеї, низьке енергоспоживання) на ключових зупинках для відображення часу прибуття найближчих троллейбусів/автобусів (оновлення з GPS-даних через 4G). Вартість: 120 тис. грн/табло  $\times$  50 = 6 млн грн.

#### Рівень 4. Політико-регуляторні заходи

##### Компонент 4.1. Стимування автомобілів у центрі

М'які заходи (без congestion charge, що політично неприйнятно в Україні 2025):

1. Скорочення безкоштовних паркувальних місць у центрі (вул. Соборна, пл. Незалежності) з 1200 до 400 (мінус 67%). Вивільнений простір – для велодоріжок, розширення тротуарів, кафе.
2. Підвищення тарифів на платні паркінги: з 10 грн/год до 25 грн/год у центрі, 15 грн/год у середній зоні. Для порівняння: Відень – €3-8/год (€73-195/год), Львів – 20-30 грн/год.
3. Безкоштовні паркінги P+R на околицях для власників місячних абонементів ГТ (стимул залишити авто і пересісти на тролейбус).
4. Виділені смуги для ГТ (12 км на 4 вулицях) з камерами автофіксації порушень (штраф за їзду смугою ГТ – 510 грн згідно КУпАП ст. 122-4).

##### Компонент 4.2. Інвестиції у рухомий склад

Таблиця 3.6. План оновлення рухомого складу (2026-2030)

| Тип ТЗ                                                                    | Кількість | Вартість<br>одиниці,<br>млн грн | Загальна<br>вартість,<br>млн грн | Джерело<br>фінансування                                             |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Новий<br>низькопідлоговий<br>тролейбус 18 м<br>(Електрон Т191,<br>Богдан) | 35        | 45                              | 1575                             | Кредит ЄІБ (60%)<br>+ держбюджет<br>(20%) + міський<br>бюджет (20%) |
| Електробус 12 м<br>(BYD, Karsan)                                          | 20        | 28                              | 560                              | Кредит ЄБРР                                                         |
| Електричний мідібус<br>8 м                                                | 16        | 15                              | 240                              | Міський бюджет                                                      |
| Модернізація 25                                                           | 25        | 3                               | 75                               | Міський бюджет                                                      |

|                                                                          |    |   |      |   |
|--------------------------------------------------------------------------|----|---|------|---|
| існуючих тролейбусів<br>(низька підлога,<br>кондиціонери, USB-<br>порти) |    |   |      |   |
| РАЗОМ                                                                    | 96 | - | 2450 | - |

*Джерело: розроблено автором на основі цін виробників (2025)*

Обґрунтування електробусів: Хоча вартість електробусів на 80% вища за дизельні (28 млн грн проти 15,5 млн грн за MAN Lion's City), загальна вартість володіння (TCO) за 12 років на 15% нижча завдяки економії на паливі (електроенергія 3,5 грн/кВт·год проти дизелю 52 грн/л) та обслуговуванні (Viereckl et al., 2021). Додатково: скорочення викидів CO<sub>2</sub> на 65% (з урахуванням вуглецевої інтенсивності української електрогенерації 0,35 кг CO<sub>2</sub>/кВт·год у 2025 р.).

Європейський інвестиційний банк (ЄІБ) у січні 2025 року виділив €16,5 млн кредиту для оновлення громадського транспорту в українських містах (European Investment Bank, 2025). Рівне може претендувати на €5-7 млн з цього пулу.

### **3.3. Аналіз техніко-експлуатаційних показників запропонованої моделі**

Виконано розрахунок ключових техніко-експлуатаційних показників (ТЕП) транспортної системи для базового сценарію (2025) та проєктного сценарію (2028, після впровадження мультимодальної системи).

Вихідні дані для розрахунків:

Таблиця 3.7. Вихідні параметри для розрахунку ТЕП

| Параметр                            | Базовий сценарій (2025)                 | Проектний сценарій (2028)                                |
|-------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Населення міста, осіб               | 243 873                                 | 242 000 (прогноз з урахуванням убутку)                   |
| Загальна кількість поїздок, млн/рік | 139,6                                   | 152,4 (зростання через покращення якості ГТ)             |
| Частка ГТ у modal split             | 38%                                     | 52% (зростання через тарифну/інфраструктурну інтеграцію) |
| Поїздок ГТ, млн/рік                 | 53,0                                    | 79,2                                                     |
| Парк рухомого складу, од.           | 250 (52 трол. + 180 маршр. + 18 автоб.) | 100 (60 трол. + 20 електроб. + 16 мідібус. + 4 нічні)    |
| Середня довжина маршруту, км        | 11,2 (тролейбус), 9,8 (маршрутка)       | 13,5 (магістральні), 8,2 (районні)                       |
| Експлуатаційна швидкість, км/год    | 18 (тролейбус), 28 (маршрутка)          | 28 (магістральні з виділеною смугою), 22 (районні)       |

Джерело: дані КП «Рівнеелектротранс», власні розрахунки

#### Розрахунок 1. Пасажирооборот (пас-км)

Пасажирооборот – добуток кількості перевезених пасажирів на середню дальність поїздки.

Базовий сценарій:

$$Q_{base} = 53.0 \text{ млн пас/рік} \times 5.8 \text{ км (середня дальність)} \\ = 307.4 \text{ млн пас-км/рік}$$

Проектний сценарій:

Середня дальність поїздки зросте через кращу зв'язність (можливість дістатися до віддалених районів з 1-2 пересадками замість ходьби):

$$Q_{project} = 79,2 \text{ млн пас/рік} \times 6,4 \text{ км} = 506,9 \text{ млн пас-км/рік}$$

Зростання пасажирообороту: +65% (з 307,4 до 506,9 млн пас-км/рік).

Розрахунок 2. Транспортна робота (вех-км)

Транспортна робота – пробіг рухомого складу за рік.

Базовий сценарій:

- Тролейбуси: 52 од.  $\times$  45 тис. км/рік = 2,34 млн вех-км
- Маршрутки: 180 од.  $\times$  62 тис. км/рік = 11,16 млн вех-км
- Автобуси: 18 од.  $\times$  38 тис. км/рік = 0,68 млн вех-км
- РАЗОМ: 14,18 млн вех-км/рік

Проектний сценарій:

- Магістральні тролейбуси: 35 од.  $\times$  65 тис. км/рік = 2,28 млн вех-км
- Районні тролейбуси: 25 од.  $\times$  48 тис. км/рік = 1,20 млн вех-км
- Магістральні електробуси: 20 од.  $\times$  58 тис. км/рік = 1,16 млн вех-км
- Районні мідібуси: 16 од.  $\times$  42 тис. км/рік = 0,67 млн вех-км
- Нічні маршрути: 4 од.  $\times$  18 тис. км/рік = 0,07 млн вех-км
- РАЗОМ: 5,38 млн вех-км/рік

Скорочення транспортної роботи: мінус 62% при зростанні пасажирообороту +65%. Це досягається через:

1. Ліквідацію дублювання маршрутів;
2. Використання більш місткого рухомого складу (тролейбус 18 м, 150 пас. замість маршрутки 20 пас.);
3. Оптимізацію маршрутної мережі (менше «холостих» пробігів).

Розрахунок 3. Коефіцієнт використання пасажиромісткості ( $\gamma$ )

$$\gamma = \frac{\text{Пасажирооборот (пас-км)}}{\text{Транспортна робота (вех-км)} \times \text{Номінальна місткість}}$$

Базовий сценарій:

Середньозважена місткість парку:  $\bar{q}_{base} = \frac{52 \times 110 + 180 \times 20 + 18 \times 45}{250} = 31.8$  місць

$$\gamma_{base} = \frac{307.4 \text{ млн пас-км}}{14.18 \text{ млн вех-км} \times 31.8} = \frac{307.4}{450.9} = 0.68 = 68\%$$

Проектний сценарій:

Середньозважена місткість:  $\bar{q}_{project} = \frac{35 \times 150 + 25 \times 110 + 20 \times 85 + 16 \times 40 + 4 \times 40}{100} =$

103.9 місць

$$\gamma_{project} = \frac{506.9 \text{ млн пас-км}}{5.38 \text{ млн вех-км} \times 103.9} = \frac{506.9}{559.0} = 0.91 = 91\%$$

Висновок: Коефіцієнт використання пасажиромісткості зростає з 68% до 91% – наближення до оптимального значення 85-95% для міського ГТ (Wright & Hook, 2007). Це свідчить про високу ефективність проєктної мережі: транспортні засоби не їдуть порожніми, але й немає критичного перевантаження (>100%).

Розрахунок 4. Середній час поїздки пасажирів

Час поїздки складається з:

1. Час очікування на зупинці ( $0,5 \times$  інтервал руху);
2. Час у русі (дальність / швидкість сполучення);
3. Час пересадок (для мультимодальних поїздок).

Базовий сценарій (поїздка з Південного масиву до центру, 6,5 км):

- Очікування маршрутки:  $0,5 \times 6 \text{ хв} = 3 \text{ хв}$  (інтервал нерегулярний, середнє 6 хв)
- Час у русі:  $6,5 \text{ км} / 28 \text{ км/год} = 14 \text{ хв}$
- Пересадка: 0 (прямий маршрут)
- РАЗОМ: 17 хв

Але для поїздки з Північного масиву (Ювілейний) до університету (6,8 км) з пересадкою:

- Очікування маршрутки №1: 3 хв
- Рух до центру:  $3,5 \text{ км} / 28 \text{ км/год} = 7,5 \text{ хв}$
- Очікування маршрутки №2: 5 хв (середнє)
- Рух до університету:  $3,3 \text{ км} / 28 \text{ км/год} = 7 \text{ хв}$
- Ходьба між зупинками: 4 хв
- РАЗОМ: 26,5 хв

Середньозважений час поїздки (базовий): 28 хв (з урахуванням розподілу прямих/пересадочних поїздок 60%/40%).

Проєктний сценарій (та ж поїздка Ювілейний → університет):

- Очікування районного тролейбуса:  $0,5 \times 10 \text{ хв} = 5 \text{ хв}$
- Рух до ТПВ-3 «Північний»:  $2,1 \text{ км} / 22 \text{ км/год} = 5,7 \text{ хв}$

- Пересадка на магістральний тролейбус (синхронізований розклад): 2 хв
- Рух до університету: 4,7 км / 28 км/год = 10 хв
- Ходьба від зупинки: 3 хв
- РАЗОМ: 25,7 хв → 23 хв (з урахуванням виділених смуг, швидкість магістральних ліній зростає до 32 км/год у пік)

Середньозважений час поїздки (проектний): 23 хв.

Скорочення часу поїздки: мінус 18% (з 28 до 23 хв). Досягається через:

- Вищу швидкість сполучення (виділені смуги для ГТ);
- Синхронізацію розкладів (менше очікування при пересадках);
- Кращу зв'язність (менше «кривих» маршрутів).

Розрахунок 5. Необхідна кількість рухомого складу на лінії (експлуатаційний парк)

За формулою:

$$A_e = \frac{L_m \times n_{\text{рейсів}}}{V_e \times T_{\text{роботи}}}$$

де  $L_m$  – довжина маршруту (км),  $V_e$  – експлуатаційна швидкість (км/год),  $T_{\text{роботи}}$  – час роботи маршруту (год),  $n_{\text{рейсів}}$  – необхідна кількість рейсів для забезпечення заданого інтервалу.

Приклад для магістрального тролейбусного маршруту №1 (проектний сценарій):

- Довжина:  $L_m = 14,2$  км (від Південного масиву до Вокзалу через Центр)
- Час обороту:  $T_{\text{оборот}} = \frac{2 \times 14,2}{28} + 10$  хв (відстій) = 71 хв = 1,18 год
- Інтервал у піковий час: 4 хв
- Необхідна кількість рейсів/год:  $n = \frac{60}{4} = 15$  рейсів/год
- Експлуатаційний парк на маршруті:  $A_e = \frac{71 \text{ хв}}{4 \text{ хв}} = 17,75 \approx 18$  тролейбусів

Для всіх 5 магістральних маршрутів необхідно:  $18 + 16 + 14 + 12 + 10 = 70$  одиниць у піковий час. З урахуванням резерву (20% для ремонту, відстою):  $70 \times 1,2 = 84$  одиниці інвентарного парку. Запланована кількість тролейбусів + електробусів =  $60 + 20 = 80 \rightarrow$  потрібно збільшити до 85-90 для комфортної експлуатації.

Таблиця 3.8. Порівняння техніко-експлуатаційних показників

| Показник                                                                          | Базовий<br>сценарій<br>(2025)                   | Проектний<br>сценарій<br>(2028)        | Зміна        |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------|--------------|
| Пасажирооборот, млн пас-<br>км/рік                                                | 307,4                                           | 506,9                                  | +65%         |
| Транспортна робота, млн вех-<br>км/рік                                            | 14,18                                           | 5,38                                   | -62%         |
| Коефіцієнт використання<br>пасажиромісткості, %                                   | 68%                                             | 91%                                    | +23 п.п.     |
| Середня швидкість<br>сполучення, км/год                                           | 22,8                                            | 27,4                                   | +20%         |
| Середній час поїздки, хв                                                          | 28                                              | 23                                     | -18%         |
| Інтервал руху<br>(магістральні/районні), хв                                       | 8-12 / 15-25                                    | 4-5 / 10-12                            | -45% / -30%  |
| Інвентарний парк, од.                                                             | 250                                             | 100                                    | -60%         |
| Питомі витрати<br>палива/електроенергії,<br>кВт·год або л дизелю на 100<br>пас-км | 18,5 кВт·год<br>(трол.) + 38 л<br>диз. (маршр.) | 12,2 кВт·год<br>(електротранс<br>порт) | -35% енергії |

*Джерело: власні розрахунки*

#### Інтерпретація результатів:

Запропонована модель демонструє парадокс продуктивності: при зменшенні кількості рухомого складу на 60% (з 250 до 100 одиниць) пасажирооборот зростає на 65%. Це досягається через:

1. Структурну оптимізацію: заміна 6 маршруток (місткість  $20 \times 6 = 120$ ) на 1 тролейбус (місткість 150);
2. Операційну ефективність: виділені смуги підвищують швидкість і надійність розкладу  $\rightarrow$  більше пасажирів обирають ГТ;

3. Мережеві ефекти: інтеграція тарифів знімає бар'єр пересадок → пасажери готові їхати з 1-2 пересадками, що дозволяє оптимізувати мережу (менше дублювання).

Аналогічний ефект спостерігався у Боготі після впровадження TransMilenio (2000): кількість автобусів скоротилася на 41%, а пасажиропотік зріс на 38% за 5 років (Cervero, 2013).

### 3.4. Економічна ефективність впровадження мультимодальної системи

Виконано проєктний аналіз ефективності впровадження інтегрованої мультимодальної транспортної системи на горизонті 10 років (2026-2035).

Розрахунок капітальних витрат (CAPEX)

Таблиця 3.9. Структура капітальних витрат проєкту

| Стаття витрат                                | Кількість | Вартість<br>одиниці, млн<br>грн | Загальна<br>вартість, млн<br>грн |
|----------------------------------------------|-----------|---------------------------------|----------------------------------|
| 1. Рухомий склад                             |           |                                 |                                  |
| Низькопідлогові тролейбуси<br>18 м           | 35        | 45,0                            | 1575,0                           |
| Електробуси 12 м                             | 20        | 28,0                            | 560,0                            |
| Електричні мідібуси 8 м                      | 16        | 15,0                            | 240,0                            |
| Модернізація існуючих<br>тролейбусів         | 25        | 3,0                             | 75,0                             |
| Підсума 1                                    | -         | -                               | 2450,0                           |
| 2. Інфраструктура<br>громадського транспорту |           |                                 |                                  |
| ТПВ (3 вузли: платформи,                     | 3         | 28,0                            | 84,0                             |

|                                                   |                         |              |       |
|---------------------------------------------------|-------------------------|--------------|-------|
| навіси, освітлення)                               |                         |              |       |
| Паркінги P+R (470 місць)                          | 470                     | 0,085        | 40,0  |
| Виділені смуги для ГТ (розмітка, знаки, камери)   | 12 км                   | 2,8          | 33,6  |
| Зарядні станції для електробусів (депо)           | 15 зарядок × 150 кВт    | 1,8          | 27,0  |
| Підсума 2                                         | -                       | -            | 184,6 |
| 3. Велоінфраструктура                             |                         |              |       |
| Велодоріжки (40 км)                               | 40 км                   | 2,0 (серед.) | 80,0  |
| Велопарковки (770 місць)                          | 770                     | 0,015        | 11,6  |
| Система велопрокату (15 станцій, 200 велосипедів) | 15 станцій              | 0,4          | 6,0   |
| Підсума 3                                         | -                       | -            | 97,6  |
| 4. Цифрова інфраструктура                         |                         |              |       |
| Розробка мобільного додатку «RivneMobility»       | -                       | -            | 10,0  |
| Система RivneCard (валідатори, сервери, карти)    | 100 ТЗ + інфраструктура | 0,12         | 12,0  |
| GPS-моніторинг (трекери + диспетчерська)          | 100 ТЗ + ПЗ             | 0,048        | 4,8   |
| Електронні табло на зупинках                      | 50                      | 0,12         | 6,0   |
| Підсума 4                                         | -                       | -            | 32,8  |
| 5. Покращення пішохідного середовища              |                         |              |       |
| Розширення тротуарів (8,5 км)                     | 8,5 км                  | 4,9          | 41,7  |
| Пішохідні переходи (18 локацій)                   | 18                      | 0,65         | 11,7  |
| Пішохідна зона у центрі (1,2 км)                  | 1,2 км                  | 12,0         | 14,4  |

|                                |   |   |         |
|--------------------------------|---|---|---------|
| км)                            |   |   |         |
| Підсума 5                      | - | - | 67,8    |
| 6. Непередбачені витрати (10%) | - | - | 283,3   |
| CAPEX (сукупний)               | - | - | 3 116,1 |

*Джерело: розроблено автором на основі цін будівельних та транспортних компаній (2025), консультацій з КП «Рівнеелектротранс»*

#### Структура фінансування CAPEX:

| Джерело                                                        | Сума, млн грн | Частка, % |
|----------------------------------------------------------------|---------------|-----------|
| Кредит ЄІБ (European Investment Bank)                          | 1050,0        | 33,7%     |
| Кредит ЄБРР (European Bank for Reconstruction and Development) | 580,0         | 18,6%     |
| Державний бюджет України (субвенція на розвиток ГТ)            | 650,0         | 20,9%     |
| Міський бюджет Рівного                                         | 736,1         | 23,6%     |
| Грантова підтримка EU4Ukraine                                  | 100,0         | 3,2%      |
| РАЗОМ                                                          | 3116,1        | 100%      |

#### Обґрунтування фінансування:

- ЄІБ у січні 2025 надав €16,5 млн кредиту для українських міст (European Investment Bank, 2025). Рівне може отримати €25 млн (1050 млн грн) під 1,5% річних, термін 20 років.
- Міський бюджет (736 млн грн) розподілений на 5 років = 147 млн грн/рік (8% річного бюджету міста).

#### Розрахунок операційних витрат та доходів (OPEX)

Річні операційні витрати (проектний сценарій 2028):

Таблиця 3.10. Структура операційних витрат

| Стаття витрат                                                   | Розрахунок                                                                                                       | Сума, млн грн/рік |
|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| Електроенергія для тролейбусів/електробусів                     | $5,38 \text{ млн вех-км} \times 2,8 \text{ кВт} \cdot \text{год/км} \times 3,5 \text{ грн/кВт} \cdot \text{год}$ | 52,8              |
| Зарплата водіїв                                                 | $120 \text{ водіїв} \times 18 \text{ тис. грн/міс} \times 14 \text{ міс (з відпустками)}$                        | 302,4             |
| Зарплата диспетчерів, інженерів, адмін.                         | $45 \text{ осіб} \times 22 \text{ тис. грн/міс} \times 14 \text{ міс}$                                           | 138,6             |
| Обслуговування та ремонт рухомого складу                        | $100 \text{ ТЗ} \times 850 \text{ тис. грн/рік}$                                                                 | 85,0              |
| Обслуговування інфраструктури (контактна мережа, зарядки, депо) | -                                                                                                                | 28,5              |
| Обслуговування цифрових систем (додаток, GPS, RivneCard)        | -                                                                                                                | 8,2               |
| Обслуговування велоінфраструктури (ремонт доріжок, велопрокат)  | -                                                                                                                | 12,0              |
| Амортизація (рухомий склад, інфраструктура, 15 років)           | $3116 \text{ млн} / 15 \text{ років}$                                                                            | 207,7             |
| Інші витрати (страховка, комунальні, матеріали)                 | -                                                                                                                | 42,3              |
| ОРЕХ (сукупний)                                                 | -                                                                                                                | 877,5             |

Джерело: дані КП «Рівнеелектротранс», скоригованості на новий парк та інфляцію

Для порівняння, базовий сценарій (2025) ОРЕХ = 182 млн грн (тільки КП «Рівнеелектротранс») + ~450 млн грн витрати приватних перевізників маршруток (оцінка) = 632 млн грн сукупних витрат системи ГТ.

Зростання ОРЕХ: +39% (з 632 до 878 млн грн), але при зростанні пасажиропотоку +49% (з 53 до 79 млн пас/рік). Питомі витрати на 1 пасажирів:

- Базовий:  $632 / 53 = 11,9$  грн/пас
- Проектний:  $878 / 79 = 11,1$  грн/пас (мінус 7% – підвищення ефективності).

Доходи:

Таблиця 3.11. Прогноз доходів транспортної системи

| Джерело доходу                                           | Розрахунок                                                                                                                 | Сума, млн грн/рік |
|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| Продаж квитків та абонементів                            | $79,2 \text{ млн пас} \times 8,5 \text{ грн (середня ціна з урахуванням абонементів, пільг)}$                              | 673,2             |
| Велопрокат (понад 30 хв)                                 | $200 \text{ велосипедів} \times 120 \text{ прокатів/рік} \times 25 \text{ грн (середнє)}$                                  | 6,0               |
| Паркінги Р+R (платні місця для не-власників абонементів) | $470 \text{ місць} \times 15\% \text{ платних} \times 250 \text{ днів} \times 30 \text{ грн/день}$                         | 5,3               |
| Реклама у транспорті та додатку                          | $100 \text{ ТЗ} \times 180 \text{ тис. грн/рік} + \text{додаток}$<br>$8 \text{ млн користувачів} \times 2 \text{ грн CPM}$ | 32,0              |
| РАЗОМ доходи                                             | -                                                                                                                          | 716,5             |

Рівень покриття операційних витрат доходами:

$$Coverage = \frac{716,5}{877,5} = 0,816 = 81,6\%$$

Дефіцит:  $877,5 - 716,5 = 161$  млн грн/рік – покривається з міського бюджету.

Для порівняння:

- Базовий сценарій: доходи тільки КП «Рівнеелектротранс» = 51 млн грн, витрати = 182 млн грн → дефіцит 131 млн грн/рік.
- Проектний сценарій: дефіцит 161 млн грн/рік (+23% більше), але:
  - Приватні маршрутки не отримують субсидій (економія ~80 млн грн непрямих дотацій через пільги на паливо, землю);

- Покриття витрат зросло з 28% до 82% – один з найвищих показників серед українських міст (Київ – 45%, Львів – 62%, Дніпро – 58%) (Мінінфраструктури України, 2024).

Розрахунок NPV, IRR, терміну окупності

Проектний аналіз виконано за методологією дисконтованих грошових потоків (DCF) на горизонті 10 років (2026-2035) з дисконтною ставкою 10% (ставка альтернативних інвестицій для муніципальних проєктів в Україні).

Чисті грошові потоки:

Таблиця 3.12. Грошові потоки проєкту (млн грн)

| Рік  | CAPEX | OPEX  | Доходи | Економія бюджету* | Зовнішні вигоди** | Чистий CF | Дисконт. CF (10%) |
|------|-------|-------|--------|-------------------|-------------------|-----------|-------------------|
| 2026 | -623  | -50   | 120    | 30                | 15                | -508      | -462              |
| 2027 | -623  | -480  | 385    | 60                | 28                | -630      | -521              |
| 2028 | -623  | -878  | 716    | 131               | 42                | -612      | -460              |
| 2029 | -623  | -905  | 751    | 131               | 45                | -601      | -410              |
| 2030 | -623  | -933  | 788    | 131               | 48                | -589      | -366              |
| 2031 | 0     | -962  | 827    | 131               | 52                | 48        | 27                |
| 2032 | 0     | -992  | 869    | 131               | 55                | 63        | 32                |
| 2033 | 0     | -1022 | 912    | 131               | 59                | 80        | 37                |
| 2034 | 0     | -1054 | 958    | 131               | 63                | 98        | 42                |
| 2035 | 0     | -1086 | 1006   | 131               | 68                | 119       | 46                |
| Сума | -3116 | -8362 | 7332   | 1037              | 475               | -3634     | -2035             |

\*Економія бюджету – зменшення дотацій приватним перевізникам, економія на дорожньому ремонті (менше автомобілів → менше зносу доріг).

Зовнішні вигоди – монетизація соціальних ефектів (зменшення ДТП, покращення здоров'я через фізактивність, економія часу).

*Джерело: власні розрахунки*

NPV (чиста теперішня вартість):

$$NPV = -2035 \text{ млн грн}$$

Негативний NPV свідчить, що проєкт не є комерційно окупним з точки зору прямих грошових потоків (доходи - витрати). Це типова ситуація для проєктів громадського транспорту, які є суспільними благами з позитивними зовнішніми ефектами.

Розширений соціально-економічний аналіз (з урахуванням зовнішніх вигод):

Додаткові вигоди (не включені у грошові потоки вище):

1. Зменшення заторів – економія часу для всіх учасників руху. За методологією Світового банку, 1 година заторів коштує економіці €8,50/особу (з урахуванням втраченої продуктивності) (World Bank, 2019). Скорочення автомобілів у центрі на 22% (з 43% до 21% modal split) знижує час заторів на 12% = економія 85 млн грн/рік для мешканців.
2. Скорочення викидів CO<sub>2</sub> (детальний розрахунок у наступному підрозділі):  
 $14\,800 \text{ т CO}_2/\text{рік} \times €50/\text{т}$  (вуглецева ціна EU ETS 2025) = 39 млн грн/рік екологічної вартості.
3. Покращення здоров'я населення через більше ходьби та велосипеда. Дослідження WHO показує, що 1 км ходьби/велосипеду щодня знижує ризик серцево-судинних захворювань на 8%, що економить системі охорони здоров'я €0,42/км (WHO, 2018). Зростання пішохідних/велосипедних поїздок з 16% до 24% modal split = +12 млн км ходьби/року  $\times 0,42 \text{ €/км} = 210 \text{ млн грн/рік}$  економії для медицини.
4. Зменшення ДТП (менше автомобілів = менше аварій). Скорочення ДТП на 15% (за досвідом європейських міст після розвитку ГТ) = економія 45 млн грн/рік витрат на лікування, відшкодування збитків.

Сумарна соціально-економічна вигода:  $85 + 39 + 210 + 45 = 379 \text{ млн грн/рік}$ .

Переобчислення NPV з урахуванням соціальних вигод:

| Рік               | Грошовий<br>CF  | Соціальні вигоди                                | Сукупний<br>CF | Дисконт.<br>CF  |
|-------------------|-----------------|-------------------------------------------------|----------------|-----------------|
| 2026-2030         | -2819<br>(сума) | $+379 \times 3 = 1137$ (рік<br>2028-2030 повні) | -1682          | -1405           |
| 2031-2035         | +408            | +1895                                           | +2303          | +891            |
| NPV<br>соціальний | -               | -                                               | -              | -514 млн<br>грн |

Соціальний NPV все ще негативний, але на 75% менший за фінансовий (-514 проти -2035 млн грн). Для досягнення позитивного NPV потрібно врахувати:

- Довший горизонт (проект діє 20-30 років, не 10);
- Екологічні стандарти ЄС (вуглецевий податок підвищиться до €100-150/т до 2030);
- Зростання вартості палива (дизель дорожчатиме → економія на електротранспорті зростає).

Висновок з аналізу:

Проект впровадження інтегрованої мультимодальної транспортної системи у м. Рівне не є комерційно окупним (NPV = -2035 млн грн за 10 років), що є нормою для громадського транспорту як суспільного блага. Однак проект соціально-економічно ефективний через:

- Зростання доступності транспорту для всіх верств населення (+49% пасажиропотоку);
- Високий рівень покриття витрат доходами (82% – один з найкращих в Україні);
- Значні зовнішні вигоди (зменшення заторів, покращення здоров'я, екологія): 379 млн грн/рік;
- Внесок у досягнення цілей сталого розвитку (ЦСР 11, 13) та євроінтеграційних зобов'язань України.

Рекомендується фінансування проекту за рахунок комбінації міжнародних кредитів (ЄІБ, ЄБРР під 1,5-3% річних), державних субвенцій та міського

бюджету з обґрунтуванням через соціально-економічну ефективність, а не комерційну окупність.

## 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 4.1. Охорона праці персоналу транспортних підприємств при реалізації проекту

Впровадження інтегрованої мультимодальної транспортної системи створює нові виклики для охорони праці персоналу транспортних підприємств.

Ключові категорії працівників, які потребують аналізу професійних ризиків:

1. Водії електробусів та електричних тролейбусів (120 осіб);
2. Диспетчери інтегрованої системи управління (12 осіб);
3. Інженери з обслуговування електротранспорту (25 осіб);
4. Оператори велопрокату (8 осіб);
5. Будівельники (під час спорудження інфраструктури, 150-200 осіб на піку робіт).

Аналіз професійних ризиків водіїв електробусів

Електробуси використовують високовольтні акумуляторні батареї (400-750 В постійного струму), що створює специфічні ризики порівняно з дизельними автобусами.

Таблиця 4.1. Ідентифікація небезпечних виробничих факторів для водіїв електробусів

| Небезпечний фактор           | Джерело небезпеки                                            | Ймовірність                 | Тяжкість наслідків  | Клас ризику |
|------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------|-------------|
| Ураження електричним струмом | Високовольтні батареї (600 В DC), зарядна станція (750 В DC) | Низька (1/10000 год роботи) | Критична (летальна) | Високий     |

|                                           |                                                   |                                             |                                 |            |
|-------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------|------------|
| Пожежа літій-іонних батарей               | Термічне руйнування батарей при ДТП або дефектах  | Дуже низька (1/50000 год)                   | Критична                        | Середній   |
| Токсичні гази при пожежі батарей          | Фтороводень (HF) при горінні літій-іонних батарей | Дуже низька                                 | Висока (опіки легень)           | Середній   |
| Психоемоційне навантаження                | Нова технологія, побоювання електричних систем    | Середня                                     | Низька (стрес, втома)           | Прийнятний |
| ДТП (загальне)                            | Участь у дорожньому русі                          | Середня (8-12 ДТП/100 тис. км)              | Висока                          | Високий    |
| Вібрація та шум                           | Двигун, підвіска                                  | Низька (електродвигун и тихіші за дизельні) | Низька                          | Прийнятний |
| Вимушена робоча поза (8-10 год за кермом) | Конструкція робочого місця                        | Висока                                      | Середня (остеохондроз, геморой) | Середній   |

*Джерело: ДСТУ ISO 45001:2019, методика оцінки ризиків (Держпраці України, 2024)*

## Заходи з мінімізації ризику ураження електричним струмом:

### 1. Інженерно-технічні заходи:

- Всі високовольтні компоненти (батареї, інвертори, мотори) ізольовані та розміщені у захисних кожухах з маркуванням «Небезпека! Висока напруга»;
- Автоматичне відключення високовольтної системи при аварії (crash sensors);
- Захист від витоку струму (диференційний автомат з чутливістю 30 мА);
- Заборона самостійного ремонту високовольтних систем водіями – лише кваліфікованим персоналом з групою допуску не нижче III (до 1000 В) згідно НПАОП 40.1-1.21-98.

### 2. Організаційні заходи:

- Обов'язкове навчання водіїв електробусів за програмою (40 годин теорії + 20 годин практики):
  - Основи електротехніки (змінний/постійний струм, напруга, опір);
  - Будова високовольтної системи електробуса;
  - Дії у надзвичайних ситуаціях (пожежа, ДТП, ураження струмом);
  - Надання першої допомоги при ураженні електричним струмом (непрямий масаж серця, штучна вентиляція легень);
- Сертифікація: видача посвідчення водія електробуса після складання іспиту (теорія + практика);
- Періодична перевірка знань: кожні 3 роки.

### 3. Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ):

- Діелектричні рукавички (клас 00, до 500 В) для водія на випадок аварійних ситуацій (зберігаються у ЗІП електробуса);
- Вогнегасник порошковий ВП-5 (для гасіння електрообладнання) + вогнегасник CO<sub>2</sub> (для літій-іонних батарей).

Особливості пожежної безпеки літій-іонних батарей:

Літій-іонні батареї схильні до термічного руйнування (thermal runaway) – самопідтримуваної реакції при нагріванні  $>80^{\circ}\text{C}$ , яка призводить до пожежі з температурою до  $600^{\circ}\text{C}$  та виділенням токсичних газів (фтороводень, монооксид вуглецю) (NFPA 855, 2020).

Заходи протипожежного захисту:

1. Система батарейного менеджменту (BMS) з моніторингом температури кожної комірки. При перегріванні ( $>60^{\circ}\text{C}$ ) BMS відключає батарею та сповіщає водія.
2. Система автоматичного пожежогасіння у батарейному відсіку (Novec 1230 – безпечний для електроніки газ);
3. Інструкція для водія при пожежі батареї:
  - Зупинити електробус, вимкнути високовольтну систему (аварійна кнопка);
  - Евакуювати пасажирів (відстань  $>50$  м від електробуса);
  - Викликати пожежну службу (103), повідомити про пожежу літій-іонних батарей;
  - НЕ гасити водою (небезпека короткого замикання) – лише вогнегасниками  $\text{CO}_2$  або порошковими;
  - Евакуюватися з зони видимого диму (токсичні гази).
4. Навчання пожежних служб міста щодо специфіки гасіння електробусів (семінар з виробником BYD/Karsan).

Організація робочого місця водія згідно ергономічних стандартів:

Таблиця 4.2. Ергономічні вимоги до кабіни водія (ДСТУ EN 16353:2018)

| Параметр                   | Норматив                                                                                   | Обґрунтування                                          |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Регулювання сидіння водія  | По висоті ( $\pm 80$ мм), по глибині ( $\pm 120$ мм), кут нахилу спинки ( $95-115^\circ$ ) | Адаптація до антропометрії (5-95 перцентилі населення) |
| Підтримка поперекової зони | Ортопедична подушка з регулюванням висоти $\pm 30$ мм                                      | Профілактика остеохондрозу                             |
| Кут огляду дзеркал         | Заднє: мінімум $30^\circ$ по горизонталі, бокові: 5 м позаду електробуса                   | Безпека маневрування (ДСТУ UN ECE R46)                 |
| Клімат-контроль            | Температура $18-24^\circ\text{C}$ влітку, вологість 40-60%                                 | ГОСТ 12.1.005-88 (мікроклімат робочих приміщень)       |
| Вібрація на сидінні        | $<0,5$ м/с <sup>2</sup> (середньозважена за 8 год, ISO 2631-1)                             | Профілактика захворювань хребта                        |
| Освітлення панелі приладів | 50-100 люкс (регульоване)                                                                  | ДБН В.2.5-28:2018                                      |
| Рівень шуму в кабіні       | $<70$ дБ(А) під час руху                                                                   | ДСН 3.3.6.037-99                                       |

*Джерело: ДСТУ EN 16353:2018 «Автобуси – Ергономічні вимоги до робочого місця водія»*

Нові електробуси BYD K9 та Karsan Jest Electric відповідають цим вимогам (сертифікація EU M3 Class I), що знижує ризик професійних захворювань водіїв порівняно з застарілими ЗіУ-682 (відсутність клімат-контролю, жорстке сидіння, вібрація  $>0,8$  м/с<sup>2</sup>).

Режим праці та відпочинку водіїв:

Згідно Закону України «Про автомобільний транспорт» (ст. 20) та НПАОП 0.00-7.15-18 «Правила охорони праці на автомобільному транспорті»:

- Тривалість робочого дня: 8 годин за кермом, максимум 10 годин при

подовженому режимі (з компенсаційним відпочинком);

- Перерви: 15 хв після кожних 2 годин керування + 30 хв обідня перерва;
- Заборонено: керування більше 10 годин на добу, робота водіїв при хворобі (вимірювання тиску, алкотестер перед зміною).

Для проєктного сценарію (100 ТЗ, 25 маршрутів):

- Середня зміна:  $8 \text{ год} \times 5 \text{ днів/тиждень} = 40 \text{ год/тиждень}$ ;
- Необхідна кількість водіїв:  $100 \text{ ТЗ} \times 1,2 \text{ (коефіцієнт змінності)} = 120 \text{ водіїв}$ .

Медичні огляди:

Водії електробусів проходять обов'язкові медичні огляди згідно Наказу МОЗ України №246 від 21.05.2007:

- Попередній: при прийомі на роботу (терапевт, офтальмолог, невропатолог, нарколог, психіатр, ЕКГ, аналіз крові/сечі);
- Періодичні: 1 раз на рік (ті ж спеціалісти + вимірювання гостроти зору, кольоросприйняття);
- Передзмінні: вимірювання артеріального тиску, алкотестер (кожен день перед виїздом на маршрут).

Професійні захворювання водіїв та їх профілактика:

Таблиця 4.3. Профілактика професійних захворювань водіїв

| Захворювання         | Причина                                                 | Профілактика                                                                                                                    |
|----------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Остеохондроз хребта  | Вимушена сидяча поза 8 год/день                         | Ортопедичне сидіння, гімнастика при перервах (5 хв вправ кожні 2 год), санаторне лікування 1 раз/рік (путівки від підприємства) |
| Геморой              | Вимушена сидяча поза, вібрація                          | Ортопедичне сидіння з вентиляцією, періодичне вставання при зупинках                                                            |
| Гіпертонічна хвороба | Стрес (конфлікти з пасажирями, затори), посменна робота | Психологічна підтримка (штатний психолог підприємства), нормалізація режиму праці (уникнення понаднормових змін)                |

|                              |                            |                                                     |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------|
| Варикозне розширення вен ніг | Тривале керування педалями | Компресійні панчохи, щоденна гімнастика після зміни |
| Синдром зап'ястного каналу   | Тривале тримання керма     | Ергономічне кермо, масаж кистей при перервах        |

*Джерело: Інститут медицини праці НАМН України (2023)*

#### Охорона праці диспетчерів інтегрованої системи

Диспетчери працюють у приміщенні з комп'ютерами (4-6 моніторів на робоче місце), що створює ризик зорової втоми та гіподинамії.

Вимоги до організації робочого місця диспетчера (ДСанПіН 3.3.2.007-98):

1. Площа робочого місця: мінімум 6 м<sup>2</sup> на працівника;
2. Освітлення: комбіноване (природне + штучне), 300-500 люкс на робочому столі, без бліків на моніторах;
3. Монітори: діагональ мінімум 24», роздільна здатність Full HD (1920×1080), матова поверхня (антиблік), відстань до очей 50-70 см, верхній край екрана на рівні очей;
4. Клімат: температура 20-22°C, вологість 40-60%, швидкість руху повітря <0,1 м/с (кондиціонер + припливно-витяжна вентиляція);
5. Шум: <50 дБ(А) (використання серверів з водяним охолодженням або винесення в окрему кімнату);
6. Режим роботи: 15-хвилинна перерва після кожної години роботи з комп'ютером, гімнастика для очей (дивитися на відстань 5-6 м протягом 20 сек кожні 20 хв).

Ергономічна організація робочого місця:

- Регульоване крісло з підтримкою поперекової зони (стандарт BIFMA G1-2013);
- Стіл з регулюванням висоти 65-80 см;
- Підставка для ніг (кут колін 90-110°);
- Зовнішня клавіатура та миша (відстань від краю столу 10-15 см, зап'ястя на

одному рівні з лікотниками крісла).

Захист зору:

- Окуляри з блакитним фільтром (блокування 30-50% синього спектра 400-450 нм, що викликає втому сітківки);
- Програмне забезпечення для зменшення яскравості моніторів у вечірній час (f.lux, Windows Night Light);
- Офтальмологічний огляд 1 раз/рік з перевіркою гостроти зору (компенсація окулярів підприємством).

Охорона праці під час будівництва інфраструктури

Будівництво велодоріжок, ТПВ, паркінгів P+R створює типові будівельні ризики: падіння з висоти, травмування механізмами, ураження електричним струмом.

Ключові заходи безпеки (НПАОП 45.2-7.02-12 «Правила охорони праці під час будівництва»):

1. Огородження будівельного майданчика сигнальною стрічкою або парканом (висота >1,8 м) з попереджувальними знаками;
2. Зони небезпеки під час роботи крана – радіус виносу стріли + 5 м (доступ лише працівникам у касках);
3. Захисні каски (ДСТУ EN 397:2012) для всіх працівників на будмайданчику;
4. Світловідбивні жилети (клас 2, ДСТУ EN ISO 20471:2015) для працівників, які працюють біля проїжджої частини;
5. Інструктаж з охорони праці:
  - Вступний (при прийомі на роботу, 2 год);
  - Первинний на робочому місці (майстер, 8 год);
  - Цільовий (перед виконанням небезпечних робіт – земляні роботи біля підземних комунікацій);
6. Нарядно-допускна система для робіт у зонах з високою небезпекою (наряд-допуск на роботи біля електричних кабелів, газопроводів).

Приклад: будівництво велодоріжки на вул. Соборна (4,2 км):

- Ідентифікація підземних комунікацій: газопровід (глибина 1,2 м), електрокабелі (0,8 м), водопровід (1,5 м) → узгодження з «Рівнегаз»,

«Рівнеобленерго», «Рівневодоканал»;

- Земляні роботи екскаватором JCB 3CX на відстані  $>0,5$  м від кабелів/труб, ручне докопування на відстані  $<0,5$  м;
- Укладання бордюрів: використання автокрана КамАЗ (вантажопідйомність 5 т) – оператор з посвідченням крановика, огороження зони радіусом 7 м;
- Асфальтування: укладач асфальту Vögele Super 1300-3i – температура асфальтової суміші  $140-160^{\circ}\text{C}$  → захисні рукавиці, спецодяг з термозахистом.

Екологічна безпека будівництва:

- Зрошування водою для зниження запиленості ( $<0,5$  мг/м<sup>3</sup>);
- Складування ґрунту на відстані  $>10$  м від житлових будинків;
- Роботи у денний час (07:00-20:00) для уникнення шумового навантаження на мешканців ( $<55$  дБ вночі згідно ДСП 173-96).

#### **4.2. Захист персоналу та навколишнього середовища від небезпечних виробничих факторів**

Екологічний ефект впровадження мультимодальної системи

Перехід від дизельних маршруток до електричного рухомого складу (тролейбуси + електробуси) та стимулювання велосипедної/пішохідної мобільності призводить до значного скорочення викидів забруднювальних речовин.

Розрахунок скорочення викидів CO<sub>2</sub>:

Базовий сценарій (2025):

- Тролейбуси:  $2,34 \text{ млн вех-км} \times 2,8 \text{ кВт}\cdot\text{год/км} \times 0,35 \text{ кг CO}_2/\text{кВт}\cdot\text{год} = 2292 \text{ т CO}_2$
- Маршрутки (дизель):  $11,16 \text{ млн вех-км} \times 0,28 \text{ л/км} \times 2,68 \text{ кг CO}_2/\text{л} = 8376 \text{ т CO}_2$
- Автобуси (дизель):  $0,68 \text{ млн вех-км} \times 0,32 \text{ л/км} \times 2,68 \text{ кг CO}_2/\text{л} = 583 \text{ т CO}_2$
- Разом ГТ: 11 251 т CO<sub>2</sub>/рік

Приватні автомобілі (частка 43% modal split):

- Кількість поїздок автомобілем:  $139,6 \text{ млн} \times 43\% = 60 \text{ млн поїздок/рік}$
- Середня дальність: 8,2 км
- Пробіг:  $60 \text{ млн} \times 8,2 \text{ км} = 492 \text{ млн км/рік}$
- Середнє споживання: 8 л/100 км (міський цикл для українського парку)
- Викиди:  $492 \text{ млн км} \times 0,08 \text{ л/км} \times 2,68 \text{ кг CO}_2/\text{л} = 105\,427 \text{ т CO}_2/\text{рік}$

РАЗОМ (базовий):  $11\,251 + 105\,427 = 116\,678 \text{ т CO}_2/\text{рік}$

Проектний сценарій (2028):

- Електротранспорт (тролейбуси + електробуси):  $5,38 \text{ млн вех-км} \times 2,6 \text{ кВт} \cdot \text{год/км} \times 0,35 \text{ кг CO}_2/\text{кВт} \cdot \text{год} = 4896 \text{ т CO}_2$
- Приватні автомобілі (частка 21% modal split):  $152,4 \text{ млн поїздок} \times 21\% \times 8,2 \text{ км} \times 0,08 \text{ л/км} \times 2,68 \text{ кг CO}_2/\text{л} = 56\,574 \text{ т CO}_2$
- Велосипед/пішки ( $8\% + 16\% = 24\%$ ):  $0 \text{ т CO}_2$

РАЗОМ (проектний):  $4896 + 56\,574 = 61\,470 \text{ т CO}_2/\text{рік}$

Скорочення викидів CO<sub>2</sub>:  $116\,678 - 61\,470 = 55\,208 \text{ т CO}_2/\text{рік}$  (мінус 47%)

*Примітка: Коефіцієнт 0,35 кг CO<sub>2</sub>/кВт·год – вуглецева інтенсивність української електрогенерації у 2025 р. з урахуванням частки ВДЕ 28% (сонячна + вітрова + гідро) та атомної енергетики 55% (Міненерго України, 2024).*

Економічна вартість екологічних вигод:

За методологією EU Handbook on External Costs of Transport (2019), соціальна вартість 1 тонни CO<sub>2</sub> становить €50 (ціна вуглецевих квот EU ETS 2025), 1 кг PM<sub>2.5</sub> – €87 (вартість медичного лікування респіраторних захворювань).

$$Value_{CO_2} = 55208 \text{ т} \times 50 \text{ EUR/т} = 2.76 \text{ млн EUR} = 113 \text{ млн грн/рік}$$

$$Value_{PM_{2.5}} = 7700 \text{ кг} \times 87 \text{ EUR/кг} = 0.67 \text{ млн EUR} = 27 \text{ млн грн/рік}$$

Сумарна екологічна вигода: 140 млн грн/рік (врахована у розділі 3.4 як частина соціально-економічних вигод).

Таблиця 4.4. Скорочення викидів забруднювальних речовин

| Речовина                          | Базовий сценарій, т/рік | Проектний сценарій, т/рік | Скорочення, % | Вплив на здоров'я                        |
|-----------------------------------|-------------------------|---------------------------|---------------|------------------------------------------|
| CO <sub>2</sub> (вуглекислий газ) | 116 678                 | 61 470                    | -47%          | Парниковий газ (глобальне потепління)    |
| NO <sub>x</sub> (оксиди азоту)    | 185,4                   | 82,3                      | -56%          | Подразнення дихальних шляхів, астма      |
| PM2.5 (тверді частинки)           | 12,8                    | 5,1                       | -60%          | Рак легень, серцево-судинні захворювання |
| CO (монооксид вуглецю)            | 421,6                   | 188,2                     | -55%          | Отруєння (зв'язування гемоглобіну)       |
| CH (вуглеводні)                   | 45,2                    | 20,1                      | -56%          | Канцерогени (бенз[а]пірен)               |

Джерело: Розрахунок за методикою Міністерства захисту довкілля України «Методика розрахунку викидів забруднювальних речовин від автотранспорту» (наказ №277 від 31.03.2017), власні розрахунки

Зниження шумового забруднення:

Електробуси генерують 68-72 дБ(А) шуму при русі 50 км/год (переважно шум шин), тоді як дизельні маршрутки – 78-82 дБ(А) (двигун + шини) (ІССТ, 2018). Зниження шуму на 10 дБ(А) сприймається людиною як зменшення вдвічі.

Вплив на здоров'я мешканців:

- Зниження захворювань серцево-судинної системи на 8% у районах з інтенсивним рухом ГТ (дослідження WHO, 2018);
- Покращення якості сну мешканців вздовж транспортних коридорів

(зниження скарг на шум з 42% до 18%, досвід Стокгольма після переходу на електробуси) (Stockholm Transport Authority, 2022).

Безпека у надзвичайних ситуаціях

Сценарій 1: Пожежа в електробусі на маршруті

План дій:

1. Водій натискає аварійну кнопку (відключення високовольтної системи), зупиняє ТЗ, вмикає аварійну сигналізацію;
2. Відкриває всі двері (автоматичне відкривання при пожежі), евакуює пасажирів (85 осіб) на відстань >50 м;
3. Використовує вогнегасник CO<sub>2</sub> для гасіння (якщо пожежа локалізована у салоні);
4. Якщо пожежа батарей – НЕ гасити, евакуюватися, викликати пожежну службу (103), повідомити диспетчера;
5. Диспетчер перенаправляє наступні автобуси обхідним маршрутом, інформує пасажирів через додаток.

Час евакуації 85 пасажирів через 3 двері:  $85 / (3 \times 1,2 \text{ пас/сек}) = 24 \text{ секунди}$  (відповідає нормативу <60 сек згідно UN ECE R107).

Сценарій 2: ДТП з травмуванням пасажирів

План дій:

1. Водій вимикає двигун, вмикає аварійну сигналізацію, оцінює стан пасажирів;
2. Викликає швидку допомогу (103), поліцію (102), повідомляє диспетчера;
3. Надає першу допомогу постраждалим (аптечка АМА-2 у салоні, водій пройшов навчання з першої допомоги 16 годин);
4. Організовує об'їзд пасажирів, які не постраждали, наступним автобусом (координація через диспетчера);
5. Диспетчер інформує керівництво КП «Рівнеелектротранс», відділ розслідування транспортних подій.

Статистика ДТП за участю автобусів в Україні (2024): 1,2 ДТП на 1 млн вех-км (Держстат України, 2024). Для проєктного парку (5,38 млн вех-км/рік) очікується 6-7 ДТП/рік. Заходи профілактики: системи допомоги водієві (ADAS

– Automatic Emergency Braking, Lane Departure Warning у нових електробусах), навчання водіїв безпечної їзди, телематичний моніторинг стилю водіння (штрафи за різке гальмування/прискорення).

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. На основі аналізу світового досвіду впровадження мультимодальних транспортних систем у містах Гельсінкі, Відень та Сінгапур виявлено ключові фактори успіху: тарифна доступність (єдиний квиток  $\leq \text{€}1/\text{день}$ ), висока якість інфраструктури (щільність мережі ГТ  $> 1,5 \text{ км}/\text{км}^2$ ), цифрова інтеграція (MaaS-платформи рівня 3) та політичне стримування автомобілів. Провідні міста досягли 70-83% частки сталих видів транспорту, що підтверджує ефективність комплексного підходу.
2. Розроблено концептуальну модель інтегрованої мультимодальної транспортної системи для м. Рівне, яка включає: оптимізацію маршрутної мережі (з 41 до 25 маршрутів при зростанні покриття), створення 3 ТПВ з паркінгами P+R, розвиток 40 км велодоріжок, впровадження єдиної електронної карти RivneCard та мобільного додатку RivneMobility. Модель адаптована до фінансових можливостей українського міста з акцентом на публічне управління та залучення міжнародних кредитів.
3. Техніко-експлуатаційний аналіз показав високу ефективність проєктної моделі: зростання пасажирообороту на 65% (з 307 до 507 млн пас-км/рік) при скороченні транспортної роботи на 62% (з 14,2 до 5,4 млн вех-км/рік) та зменшенні парку на 60% (з 250 до 100 одиниць). Коефіцієнт використання пасажиромісткості зріс з 68% до 91%, середній час поїздки скоротився на 18% (з 28 до 23 хв). Ці показники досягаються через ліквідацію дублювання маршрутів, використання високомісткого рухомого складу та виділені смуги для ГТ.
4. Економічний аналіз (NPV, IRR за 10 років) показав, що проєкт не є комерційно окупним (NPV = -2035 млн грн), що є нормою для громадського транспорту як суспільного блага. Однак рівень покриття операційних витрат доходами становить 82% – один з найвищих в Україні. З урахуванням соціально-економічних вигод (зменшення заторів, покращення здоров'я, екологія) проєкт генерує 379 млн грн/рік позитивних зовнішніх ефектів, що обґрунтовує доцільність інвестицій.

5. Впровадження системи призведе до скорочення викидів CO<sub>2</sub> на 55 208 т/рік (мінус 47%), PM<sub>2.5</sub> – на 7,7 т/рік (мінус 60%), що еквівалентно екологічній вартості 140 млн грн/рік. Зростання частки пішохідних/велосипедних поїздки з 16% до 24% modal split сприятиме покращенню здоров'я населення з економією для системи охорони здоров'я 210 млн грн/рік через зниження серцево-судинних захворювань.
6. Розроблено комплекс заходів з охорони праці персоналу транспортних підприємств: спеціалізоване навчання водіїв електробусів (60 годин) щодо роботи з високовольтними системами, ергономічна організація робочих місць згідно ДСТУ EN 16353:2018, профілактика професійних захворювань, забезпечення протипожежної безпеки літій-іонних батарей. Ідентифіковано 7 категорій професійних ризиків з розробкою заходів мінімізації.
7. Ключові рекомендації для успішного впровадження: фінансування через комбінацію міжнародних кредитів (ЄІБ, ЄБРР), державних субвенцій та міського бюджету; поетапна реалізація (2026-2030); залучення громадськості через інформаційну кампанію; моніторинг показників ефективності (modal split, задоволеність, пунктуальність) для коригування стратегії.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. European Commission. (2019). *Regulation (EU) 2019/2144 on type-approval requirements for motor vehicles*. Official Journal of the European Union, L 325, 1-40.
2. TomTom. (2024). *Traffic Index 2024*. Retrieved from <https://www.tomtom.com/traffic-index/>
3. Kyiv International Institute of Sociology. (2024). *Modal split trends in Ukrainian cities 2010-2024*. Kyiv: KIIS.
4. Ministry of Communities, Territories and Infrastructure Development of Ukraine. (2024). *Public transport statistics of regional centers*. Kyiv.
5. United Nations. (2015). *Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. New York: UN.
6. European Commission. (2019). *The European Green Deal*. COM(2019) 640 final. Brussels.
7. Kamargianni, M., Matyas, M., Li, W., Muscat, J., & Yfantis, L. (2018). The MaaS Dictionary. *MaaS Lab, Energy Institute, University College London*. Retrieved from <http://www.maaslab.org>
8. MaaS Global. (2016). *Whim: The world's first MaaS app*. Helsinki: MaaS Global Oy.
9. Rambøll. (2019). *Whim impact: Insights from the world's first Mobility-as-a-Service (MaaS) system*. Helsinki: Rambøll Management Consulting.
10. Stadt Wien. (2024). *Vienna Urban Mobility Plan 2030*. Vienna: City of Vienna.
11. Land Transport Authority Singapore. (2024). *Land Transport Master Plan 2040*. Singapore: LTA.
12. Кабінет Міністрів України. (2024, 27 грудня). Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року та затвердження операційного плану заходів з її реалізації у 2025-2027 роках (Постанова № 1550). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1550-2024-п>
13. European Platform on Sustainable Urban Mobility Plans. (2019). *Guidelines for developing and implementing a Sustainable Urban Mobility Plan (2nd ed.)*.

- Rupprecht Consult.
14. Hall, P. (2014). *Cities of tomorrow: An intellectual history of urban planning and design since 1880*. John Wiley & Sons..
  15. Bureau of Transportation Statistics. (2023). *Transportation Statistical Annual Report 2023*. Washington, DC: U.S. Department of Transportation.
  16. Shoup, D. (2021). *High cost of free parking*. Routledge.
  17. Copenhagen Municipality. (2033). *Bicycle account guidelines*. Copenhagen: Technical and Environmental Administration.
  18. Jacobs, J. (1961). Jane Jacobs. *The Death and Life of Great American Cities*, 21(1), 13-25.
  19. EC-European Commission. (2011). Roadmap to a Single European Transport Area-Towards a competitive and resource efficient transport system. *White Paper, Communication*, 144.
  20. Bízek, V. (2022). The SUMP concept: Introduction to Sustainable Urban Mobility Plans. WECOOP Project. <https://wecoop.eu/wp-content/uploads/2022/02/Clinic-1-SUMP-Session-1-3-Vladislav-Bizek-WECOOP-EN-long-070222.pdf>
  21. Sochor, J., Arby, H., Karlsson, I. M., & Sarasini, S. (2018). A topological approach to Mobility as a Service: A proposed tool for understanding requirements and effects, and for aiding the integration of societal goals. *Research in Transportation Business & Management*, 27, 3-14.
  22. Київська міська рада. (2023). Проєкт Плану заходів на 2025–2027 роки з реалізації Стратегії розвитку міста Києва до 2027 року. Департамент транспортної інфраструктури КМДА. [https://minio.kyivcity.gov.ua/kyivcity/sites/22/strategy/4.%20%D0%9F%D1%80%D0%BE%D1%94%D0%BA%D1%82\\_%D0%9F%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D1%83\\_%D0%B7%D0%B0%D1%85%D0%BE%D0%B4%D1%96%D0%B2.pdf](https://minio.kyivcity.gov.ua/kyivcity/sites/22/strategy/4.%20%D0%9F%D1%80%D0%BE%D1%94%D0%BA%D1%82_%D0%9F%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D1%83_%D0%B7%D0%B0%D1%85%D0%BE%D0%B4%D1%96%D0%B2.pdf).
  23. Wiener Linien GmbH & Co KG. (2025). Facts and figures 2024: Annual operating data report. Vienna, Austria. <https://www.wienerlinien.at/o/document/wl->

24. Jittrapirom, P., Caiati, V., Feneri, A. M., Ebrahimigharehbaghi, S., Alonso-González, M. J., & Narayan, J. (2017). Mobility as a service: A critical review of definitions, assessments of schemes, and key challenges. *Urban Planning*, 2(2), 13-25.
25. Sochor, J., Strömberg, H., & Karlsson, I. M. (2015). Implementing mobility as a service: challenges in integrating user, commercial, and societal perspectives. *Transportation research record*, 2536(1), 1-9.
26. International Transport Forum. (2020). *Good to go? Assessing the environmental performance of new mobility*. OECD Publishing.
27. Liikenne- ja viestintäministeriö [Ministry of Transport and Communications Finland]. (2017). Act on Transport Services (Laki liikenteen palveluista 320/2017). <https://www.lvm.fi/en/-/act-on-transport-services-955864>
28. Wallimann, H. (2024). Austria's KlimaTicket: Assessing the short-term impact of a cheap nationwide travel pass on demand. *Transport Policy*, 159, 201-214.
29. Euronews. (2024a, October 18). We drive five times around the world everyday: What to know about Vienna's public transport. <https://www.euronews.com/2024/10/18/we-drive-five-times-around-the-world-everyday-what-to-know-about-viennas-public-transport>
30. Euronews. (2024b, October 20). Vienna is the world's most liveable city. Is its public transport network the key to its success? Retrieved from <https://www.euronews.com/next/2024/10/20/we-drive-five-times-around-the-world-everyday-what-to-know-about-viennas-public-transport>
31. IRT SystemX. (2018). *Smart Mobility: SystemX contributes to the future of mobility in Singapore*. Retrieved from <https://blog.irt-systemx.fr/smart-mobility-systemx-singapore/>
32. Business Times Singapore. (2016, November 23). Singapore to use big data, analytics for smarter, greener transport system. Retrieved from <https://www.businesstimes.com.sg/>
33. Frost & Sullivan. (2024, March 25). *The Whim Travel App, signify the end of the road for Mobility as a Service model?* Growth Opportunity News. Retrieved

- from <https://www.frost.com/growth-opportunity-news/>
- 34.Zag Daily. (2024, March 27). MaaS Global is dead; long live MaaS. Retrieved from <https://zagdaily.com/trends/maas-global-is-dead-long-live-maas/>
- 35.Copenhagenize Design Company. (2023). *The Copenhagenize Index 2023: Bicycle-friendly cities*. Copenhagen.
- 36.Kamel, N. I., & Sayed, T. (2021). Economic analysis of cycling infrastructure: A review. *Transport Reviews*, 41(6), 733-755.
- 37.Schepers, P., Agerholm, N., Amoros, E., Benington, R., Bjørnskau, T., Dhondt, S., ... & Wegman, F. (2020). An international review of the frequency of single-bicycle crashes (SBCs) and their relation to bicycle modal share. *Injury Prevention*, 26(Suppl 1), i17-i25.
- 38.Nederlandse Spoorwegen. (2020). *Bicycle parking at stations: Annual report 2020*. Utrecht: NS.
- 39.Viereckl, R., Ahlemann, D., Koster, A., & Hirsh, E. (2021). *The 2021 strategy& global automotive study: The tide has turned – Electric vehicles are here to stay*. PwC Strategy&.
- 40.BYD. (2018). *Shenzhen converts 100% of public bus fleet to electric*. Press release. Shenzhen: BYD Company Limited.
- 41.UITP. (2024). *World metro figures 2024: Statistics brief*. Brussels: International Association of Public Transport.
- 42.Cervero, R. (2013). Bus Rapid Transit (BRT): An efficient and competitive mode of public transport. *Institute of Urban and Regional Development Working Paper*, WP-2013-01. Berkeley: University of California.
- 43.Wright, L., & Hook, W. (2007). *Bus Rapid Transit planning guide* (3rd ed.). New York: Institute for Transportation and Development Policy.
- 44.Visit Ukraine. (2024, October 4). How much does a month of living in Rivne cost? Prices for housing, food, transportation in 2024. Retrieved from <https://visitukraine.today/blog/4853/>
- 45.European Investment Bank. (2025, January 5). *EIB provides €16.5 million for new public transport in war-torn cities of Ukraine*. Press release. Luxembourg: EIB.

46. Drożdż, W., Vovk, Y., Widera, K., Łopatka, A., & Gawlik, A. (2023). Sustainability assessment of the energy generation systems. *Journal of Sustainable Development of Transport and Logistics*, 8(2), 249–258. <https://doi.org/10.14254/jsdtl.2023.8-2.19>
47. Karpenko, O., Horbenko, A., Vovk, Y., & Tson, O. (2017). Research of the structure and trends in the development of the logistics market in Ukraine. *Journal of Sustainable Development of Transport and Logistics*, 2(2), 57–66. <https://doi.org/10.14254/jsdtl.2017.2-2.5>
48. Safonau, A., Vovk, Y., Lyashuk, O., & Khudobei, R. (2020). Blending control of the trolleybus traction and brake drives to enhance the braking efficiency of a vehicle. *Journal of Sustainable Development of Transport and Logistics*, 5(2), 49–61. <https://doi.org/10.14254/jsdtl.2020.5-2.5>
49. Savchenko L. ., Zhigula, S., Yurchenko, K., Vovk, Y., & Oleksiuk, A. (2021). Combination of different means of parcel deliveries in urban logistics in adverse weather conditions. *Journal of Sustainable Development of Transport and Logistics*, 6(1), 6–17. <https://doi.org/10.14254/jsdtl.2021.6-1.1>
50. Vovk, I., Tson, O., Vovk, Y., Vovk, Y., & Rozhko, N. (2024). Mobility as a Service for tourism: Challenges and opportunities for meeting the needs of tourists in urban environments. *Journal of Sustainable Development of Transport and Logistics*, 9(2), 137–149. <https://doi.org/10.14254/jsdtl.2024.9-2.10>
51. Vovk, Y. (2016). Resource-efficient intelligent transportation systems as a basis for sustainable development. Overview of initiatives and strategies. *Journal of Sustainable Development of Transport and Logistics*, 1(1), 6–10. <https://doi.org/10.14254/jsdtl.2016.1-1.1>
52. Vovk, Y., Aulin, V., Vovk, I., Romaniuk, S., Syhlovyi, M., Vovk, O., Palianytsia, V., & Zabytivskyi, V. (2025). Electric vehicle charging infrastructure optimization on international transport corridors: Economic analysis and EU regulatory alignment in Ukraine. *Journal of Sustainable Development of Transport and Logistics*, 10(2), 6–28. <https://doi.org/10.14254/jsdtl.2025.10-2.1>

53. Vovk, Y., Vovk, I., Plekan, U., Tson, O., & Oleksyuk, V. (2025). Sustainable and smart logistics centers: Challenges and opportunities for Ukraine's transport system. *Journal of Sustainable Development of Transport and Logistics*, 10(1), 116–124. <https://doi.org/10.14254/jsdtl.2025.10-1.8>
54. Zielińska, A., Dąbrowska, M., Vovk, I., & Drozda, M. (2023). Addressing food waste: An analysis of causes, impacts, and solutions in modern societies. *Journal of Sustainable Development of Transport and Logistics*, 8(2), 284–297. <https://doi.org/10.14254/jsdtl.2023.8-2.22>

## ДОДАТКИ

### ДОДАТОК А

#### Розклад руху магістрального тролейбусного маршруту №1 (проект)

Маршрут №1: Боярка (вул. Макарова) → Центр (пл. Незалежності) → ТПВ «Вокзал» → Університет (НУВГП)

Загальна довжина: 14,2 км (в один бік), час обороту: 71 хв

Таблиця А.1. Розклад руху (піковий час 07:00-09:00, понеділок-п'ятниця)

| Відправлення з кінцевої «Боярка» | Прибуття на пл. Незалежності | Прибуття на ТПВ «Вокзал» | Прибуття на кінцеву «НУВГП» |
|----------------------------------|------------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| 06:00                            | 06:18                        | 06:28                    | 06:35                       |
| 06:04                            | 06:22                        | 06:32                    | 06:39                       |
| 06:08                            | 06:26                        | 06:36                    | 06:43                       |
| 06:12                            | 06:30                        | 06:40                    | 06:47                       |
| ...                              | ...                          | ...                      | ...                         |
| 08:56                            | 09:14                        | 09:24                    | 09:31                       |
| 09:00                            | 09:18                        | 09:28                    | 09:35                       |

Інтервал руху: 4 хвилини (піковий час), 8 хвилин (непіковий час 10:00-16:00), 10 хвилин (вечірній час 16:00-22:00)

Синхронізація з районними маршрутами:

- Маршрут №8 (Боярка → ТПВ «Південний») прибуває на ТПВ за 2 хв до відправлення маршруту №1 → пасажери можуть пересісти без очікування.

## ДОДАТОК Б

### Анкета соціологічного опитування мешканців м. Рівне щодо транспортних переваг

Шановний респонденте! Просимо Вас взяти участь у дослідженні транспортної системи м. Рівне. Опитування анонімне, результати будуть використані для розробки Плану сталої міської мобільності. Час заповнення: 5-7 хвилин.

#### Блок 1. Загальна інформація

1. Ваш вік: ☐ 18-25 ☐ 26-35 ☐ 36-50 ☐ 51-65 ☐ 65+
2. Стать: ☐ Чоловік ☐ Жінка ☐ Інше
3. Район проживання: ☐ Центр ☐ Північний масив ☐ Південний масив  
☐ Західний масив ☐ Приватний сектор
4. Чи володієте власним автомобілем? ☐ Так ☐ Ні

#### Блок 2. Транспортна поведінка

5. Яким видом транспорту Ви найчастіше користуєтесь для поїздки на роботу/навчання?  
☐ Власний автомобіль  
☐ Тролейбус  
☐ Маршрутне таксі  
☐ Таксі (Uber, Bolt, Uklon)  
☐ Велосипед  
☐ Пішки  
☐ Інше: \_\_\_\_\_
6. Скільки часу у середньому займає Ваша поїздка «дім-робота/навчання»?  
☐ Менше 15 хв ☐ 15-30 хв ☐ 30-45 хв ☐ 45-60 хв ☐ Більше 60 хв
7. Чи задоволені Ви якістю громадського транспорту у Рівному?

☐ Повністю задоволений ☐ Скоріше задоволений ☐ Скоріше не задоволений ☐ Зовсім не задоволений

8. Якщо незадоволені, що найбільше не влаштовує? (оберіть до 3 варіантів)

- ☐ Довгий час очікування на зупинці
- ☐ Перевантаженість у пікові години
- ☐ Застарілий транспорт (некомфортні сидіння, відсутність кондиціонерів)
- ☐ Високий тариф
- ☐ Погана зв'язність (потрібно робити багато пересадок)
- ☐ Недостатнє покриття мого району
- ☐ Інше: \_\_\_\_\_

### Блок 3. Готовність до змін

9. Чи готові Ви відмовитися від власного автомобіля на користь громадського транспорту, якщо він стане комфортнішим (нові електробуси з кондиціонерами, інтервал 4-5 хв)?

- ☐ Так, повністю відмовлюся ☐ Буду частіше користуватися ГТ, але авто залишу ☐ Ні, все одно їздитиму автомобілем

10. Чи користувалися б Ви велосипедом для поїздок на роботу/навчання, якщо у місті з'являться захищені велодоріжки?

- ☐ Так, регулярно (4-5 разів/тиждень) ☐ Інколи (1-2 рази/тиждень) ☐ Ні, не планую

11. Яка максимальна вартість місячного абонементу на громадський транспорт (тролейбус + автобус + велопрокат) була б для Вас прийнятною?

- ☐ 200 грн ☐ 300 грн ☐ 400 грн ☐ 500 грн ☐ Більше 500 грн

12. Чи користувалися б Ви мобільним додатком для планування поїздок громадським транспортом з можливістю купівлі квитків?

- ☐ Так, обов'язково ☐ Можливо, спробую ☐ Ні, надаю перевагу паперовим квиткам

Дякуємо за участь!

*Примітка: Опитування проведено серед 205 мешканців м. Рівне у жовтні 2025 р. методом випадкової вибірки на вулицях міста, у торгових центрах та університетах. Репрезентативність вибірки за віком та статтю відповідає структурі населення міста (похибка  $\pm 7\%$  при довірчому інтервалі 95%).*