

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТРАНСПОРТУ
КАФЕДРА АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему:

*Аналіз можливостей «Мобільності як послуги (MaaS)» при
трансформації системи транспорту у місті Кривий Ріг*

Виконав

М. Є. Євтушенко

Керівник

В.О. Сістук

Допущено до захисту

“ _____ ” _____ 2024 р.

Зав. кафедрою АТ

_____ Ю.А. Монастирський

Кривий Ріг 2024 р.

КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Механічної інженерії та транспорту

Кафедра Автомобільного транспорту

Спеціальність 274 – автомобільний транспорт

Затверджую:

Зав. кафедрою АТ

Ю.А.Монастирський

« » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ ЄВТУШЕНКО МАКСИМУ ЄВГЕНІЙОВИЧУ

Тема роботи: *Аналіз можливостей «Мобільності як послуги (MaaS)» при трансформації системи транспорту у місті Кривий Ріг*

1. Затверджена наказом по університету від 16.09.2024 р. № 838 с
2. Термін здачі студентами закінченого проекту (роботи) 30.11. 2024 р.
3. Вихідні дані до роботи: *Керівництво до ПЗ PTV VISUM.*
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити). Вступ. Огляд літературних джерел. Аналіз трансформації транспортного попиту у місті Кривий Ріг. Розроблення концепції MaaS для міста Кривий Ріг. Підготовка та оформлення пояснювальної записки та презентації.
5. Перелік графічного матеріалу: Графіки та діаграми по результатам досліджень у вигляді презентації в програмі Microsoft Office Power Point, на компакт диску з шістьма екземплярами роздруківки презентації для членів ДЕКу.
7. Дата видачі завдання 16.09.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання	Примітка
1.	Вступ. Огляд літературних джерел	16.09.24 – 30.09.24	
2.	Аналіз трансформації транспортного попиту у місті Кривий Ріг	01.10.24 – 14.10.24	
3.	Розроблення концепції MaaS для міста Кривий Ріг	15.10.24 – 07.11.24	
4	Підготовка та оформлення пояснювальної записки та презентації	10.11.24 – 30.11.24	

Студент _____ М. Є.Євтушенко

Керівник _____ В.О. Сістук

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1.1. Постановка проблеми.....	8
1.3. Цілі та завдання.....	9
1.4. Наукова та практична цінність	10
1.5. Структура дослідження	10
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	11
2.1. Аналіз трансформації міської мобільності	11
2.2. Сталий розвиток та розумні міста.....	12
2.3. Представлення мобільності як послуги (MaaS).....	12
2.3.1. Концептуальна основа мобільності як послуги (MaaS).....	13
2.3.2. Моделі впровадження MaaS	14
2.4. Переваги від існуючих впроваджень MaaS.....	15
2.4.1. MaaS і безпека на транспорті.....	15
2.4.2. MaaS і захист даних	15
2.4.3. MaaS та навколишнє середовище	16
2.4.4. MaaS та інтеграція мультимодальної транспортної мережі.....	16
2.4.5. MaaS та смарт-квітки.....	17
2.4.6. Інтеграція технології MaaS (додатки).....	17
2.4.7. MaaS та зміна виду транспорту	19
2.5. Міжнародний досвід успіху MaaS.....	19
2.6. Виклики до MaaS	25
2.7. Досвід впровадження MaaS в Україні	28
2.8. Виклики щодо розгортання концепції MaaS в Україні.....	32

2.9. Висновки до розділу 1	34
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ТРАНСФОРМАЦІЇ ТРАНСПОРТНОГО ПОПИТУ У МІСТІ КРИВИЙ РІГ	36
2.1. Актуальність дослідження	36
2.2. Соціологічні опитування мешканців міста	37
2.2.1. Вікова структура вибірки респондентів	37
2.2.2. Задоволеність роботою громадським транспортом	37
2.2.3. Вибір транспорту та шари попиту	38
2.2.4. Відношення користувачів до безоплатного проїзду	45
2.2.5. Розподіл часу виїзду за шарами попиту	45
2.2.6. Розподіл режимів	47
2.3. Оцінка трансформації попиту на громадський транспорт під час війни	50
2.4. Висновки до розділу 2	57
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБЛЕННЯ КОНЦЕПЦІЇ МААС ДЛЯ МІСТА КРИВИЙ РІГ	60
3.1. Концепція інтелектуальної транспортної системи	60
3.2. Концепція МaaS	63
3.2.1. Описання МaaS-додатку	63
3.2.2. Функціонал МaaS-додатку	64
3.3. Виклики до впровадження МaaS	66
3.4. Тестування МaaS-додатку	68
3.5. Висновки до розділу 3	71
ВИСНОВКИ.....	72
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	75

ВСТУП

Серед користувачів дедалі більше спостерігається схильність до вибору приватних транспортних засобів завдяки їхній швидкості та зручності. Однак це призвело до значного збільшення обсягів дорожнього руху, що спричиняє затримки та затори [1]. Крім того, викиди від автомобілів становлять близько 24% викидів CO₂, що спричиняє такі проблеми, як смог, погіршення якості повітря та шумове забруднення [2]. Ці негативні наслідки можна зменшити за допомогою технологічних інновацій та змін у поведінці, які є ключовими для створення сталої міської транспортної системи [3]. Перша стратегія передбачає розробку екологічно ефективних технологій для зменшення впливу на довкілля та зниження заторів. Друга – стимулювання людей переходити на екологічно чисті види транспорту або використовувати відновлювані джерела палива [4].

Концепція розумного міста ґрунтується на використанні екологічно чистих видів палива та транспорту з метою зменшення забруднення довкілля. Водночас важливими складовими сталого дизайну є економічна та соціальна справедливість. Завдяки Інтернету речей та штучному інтелекту, які дозволяють збирати великі обсяги даних і моніторити транспортну систему в режимі реального часу, ця концепція зазнала подальшого розвитку [5].

Для покращення досвіду та сприйняття користувачами сталих видів транспорту в «розумному» місті важливо розуміти потенціал наявних послуг мобільності. Автоматизація може сприяти зміні поведінки користувачів на користь електромобілів. Це схоже на трансформацію звичайних автобусів у швидкісні автобусні маршрути (BRT), легкі рейкові маршрути (LRT), станції метро та інші форми сучасного транспорту.

Існує три основні типи транспорту, що використовуються в сучасних транспортних системах: спільна мобільність (СМ), мобільність на вимогу (МД) та мобільність як послуга (МаaS).

Спільна мобільність (СМ) дозволяє користуватися громадським транспортом, велосипедами, автомобілями, скутерами та маршрутними таксі спільно [6]. Вона охоплює такі елементи, як паркування та мікромобільність, до якої належать е-самокати та е-велосипеди. Мікротранспорт, включаючи невеликі мікроавтобуси та маршрутні автобуси, зазвичай використовується для підвозу учнів шкіл і студентів коледжів. Для міжміських поїздок люди можуть спільно користуватися як автомобілями, так і громадським транспортом.

Нова концепція спільної мобільності на вимогу та автоматизованих транспортних засобів (SAV) дозволяє використовувати автомобілі як громадський транспорт (ГТ) [7].

Мобільність на вимогу (MoD) надає користувачам можливість обирати тип транспортного засобу, маршрут, розклад, вартість проїзду та проміжні зупинки, що відповідає принципам економічної, соціальної та екологічної ефективності. До нещодавніх прикладів MoD належать таксі, транспортні мережеві компанії (ТНК), такі як Lyft та Uber, а також послуги для пошуку та виклику поїздок, як-от UberPool та Lyft Pool, спільні поїздки та пара-транзити [7]. Додатки для спільних поїздок, що підтримують ці послуги, включають Waze та Scoor.

Мобільність як послуга (MaaS) дозволяє користувачеві використовувати додаток для створення мультимодальних поїздок та управління оплатою за всіма видами транспорту: громадський транспорт, міська електричка, швидкісний трамвай, спільне користування автомобілем, шатл-сервіс тощо. Він включає в себе додатки-агрегатори поїздок та інформаційні додатки в режимі реального часу [6]. Агрегатор поїздок дозволяє візуалізувати декілька маршрутів від місця відправлення до місця призначення з різними видами транспорту, відстанню, вартістю проїзду та часом у дорозі. Інформаційні додатки в режимі реального часу містять інформацію про маршрути ГТ, наявність ГТ, розклад руху ГТ, час очікування, дані про трафік, а також про наявність послуг спільного користування автомобілями та велосипедами.

Платформи МaaS зазвичай включають широкий спектр транспортних засобів, таких як автобуси, поїзди, сервіси спільного користування, такі як Uber і Lyft, пірингові сервіси оренди, такі як Turo і Getaround, а також варіанти мікромобільності, такі як електросамокати і велосипеди.

В останнє десятиліття з'явилася послуга «Мобільність як послуга» (MaaS), яка об'єднує громадський та приватний транспорт для підвищення рівня мобільності на вимогу [8]. За визначенням Міжнародної асоціації органів управління громадським транспортом (UITP), MaaS об'єднує різні транспортні послуги в єдине цифрове рішення для мобільності, підкріплене активною мобільністю та ефективною системою громадського транспорту [9].

MaaS має на меті революціонізувати міську мобільність шляхом поєднання мультимодальних перевезень з інформаційно-комунікаційними технологіями (ІКТ) та рішеннями на основі додатків [10]. Ці послуги дозволяють користувачам зручно планувати, бронювати та оплачувати поїздки, пропонуючи більшу гнучкість і підтримуючи мультимодальні подорожі [11].

Помітною операційною MaaS-платформою є «Whim», представлена фінським стартапом MaaS Global у Гельсінкі в 2016 році. Користувачі Whim легко комбінують, планують і оплачують різні види транспорту, включаючи громадський транспорт, таксі, оренду автомобілів, каршерінг і поїздки на міських велосипедах, з можливістю оплати по факту або щомісячної підписки. Ефективність MaaS залежить від широкого впровадження смартфонів, інфраструктури зв'язку, захищеної інформації про поїздки в режимі реального часу та систем безготівкових платежів.

MaaS Global розширила сферу дії додатку Whim на такі країни, як Фінляндія, Австрія, Бельгія, Японія та Велика Британія [12]. Паралельно Швеція ініціювала випробування Go: Smart (пізніше UbiGo), що фінансується Шведським інноваційним агентством, для розробки рішень для сталої мобільності в Гетеборзі. UbiGo був запущений у Стокгольмі в 2019 році [9].

МааS, МО та МС мають потенціал для підвищення безпеки та ефективності перевезень за рахунок розширення можливостей вибору мобільності та сприяння розвитку громадського транспорту. Слугують економічно ефективною альтернативою володінню приватним автотранспортом, усувають прогалини у транспортному сполученні та збільшують пропускну спроможність доріг [6]. Потенційні недоліки включають збільшення пасажиропотоку, збільшення кількості поїздок ГПЗ або ГПС, нерегульований доступ до узбіччя, підвищені витрати на обслуговування в районах з низькою щільністю населення, відволікання від маршрутного громадського транспорту, вимоги до інфраструктури для мікромобільності та невизначеність щодо життєздатності бізнес-моделі [6].

1.1. Постановка проблеми

Міська транспортна система Кривого Рогу стикається з проблемами заторів, забрудненням та неефективним використанням ресурсів. Традиційні транспортні мережі намагаються задовольнити різноманітні потреби населення у мобільності, одночасно враховуючи екологічні виклики. Для вирішення цих проблем необхідно досліджувати та впроваджувати передові транспортні технології, такі як «Мобільність як послуга» (МааS). Широке впровадження МааS може змінити ставлення користувачів до приватних транспортних засобів. Однак користувачі досі стикаються з труднощами при використанні інтегрованих додатків, оскільки вони не надають дані в реальному часі про розклад автобусів, маршрути, можливість попереднього бронювання, продаж квитків через смарт-картки або місцезнаходження автобусів. Сприйняття користувачами МааS та його функцій, керованих додатками, має вирішальне значення для інтеграції всіх цих видів транспорту, таких як автобуси, тролейбуси, трамваї та швидкісний трамвай, в єдину систему.

1.2. Актуальність теми

Не існує відомих досліджень, які б розглядали можливості впровадження МaaS у Кривому Розі. У той же час, існує значна прогалина в тому, що жодне з досліджень не аналізує функціональні можливості додатків МaaS на основі уподобань користувачів щодо необхідних транспортних послуг. Це, у свою чергу, перешкоджає повному розкриттю потенціалу МaaS.

1.3. Цілі та завдання

Нижче наведені основні цілі дослідження:

- розглянути світовий досвід щодо концептуальних підходів до еволюції МaaS;
- провести аналіз розподілу транспортного попиту на перевезення громадським та індивідуальним транспортом у місті Кривий Ріг, визначити тенденцію мультимодальних поїздок серед різних учасників дорожнього руху.
- виявити поточний та майбутній потенціал МaaS для користувачів транспортною системою у місті Кривий Ріг.

Необхідно відповісти на такі питання для дослідження:

- Який потенціал має існуюче та майбутнє впровадження МaaS?
- Які тенденції поведінки користувачів щодо мультимодальних поїздок у Кривому Розі?
- Які особливості слід враховувати при розробці МaaS-додатків для Кривого Рогу?

1.4. Наукова та практична цінність

Дане дослідження має важливе значення, оскільки в ньому приводиться аналіз ставлення користувачів до різних моделей транспортних послуг у місті Кривий Ріг, шаблони мобільності та вибір транспорту серед різних вікових груп, соціально-демографічних категорій, враховуючи шари попиту та особливості розміщення робочих місць на містоутворюючих підприємствах. Загальною метою дослідження є сприяння впровадженню інноваційних концепцій мобільності в розвинених містах.

1.5. Структура дослідження

У першому розділі описано огляд літератури, а в наступних розділах представлено методологію дослідження, аналіз результатів та висновки, також додається список використаних джерел з 55 найменувань.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

2.1. Аналіз трансформації міської мобільності

Спочатку розвиток міського транспорту відбувався паралельно зі зростанням використання автомобілів. Термін «міська мобільність» вперше був введений містобудівниками в 1990 році [13]. Збільшення рівня автомобілізації, нові побічні ефекти у вигляді транспортних заторів, розростання міст, збільшення відстані поїздок і погана доступність призводять до частих заторів. Проблеми поглиблюються через змішане використання землі. Концепція міської мобільності має обернено пропорційний зв'язок із доступністю: житлові райони характеризуються меншою мобільністю та більшою доступністю, тоді як для міжзональних поїздок мобільність зростає за рахунок меншої доступності прилеглих районів. Міське зонування стало ключовим напрямком для тих, хто розробляє міську політику, перетворюючи більшість існуючих міст на зональні райони. Це призвело до класифікації доріг на швидкісні автомагістралі, головні магістралі та місцеві вулиці. Чотириступенева модель стала основою для розуміння генерування поїздок, їх розподілу, вибору виду транспорту та визначення маршрутів.

З часом затори на дорогах стали серйозною проблемою через недостатню ширину доріг або збільшення кількості транспортних засобів [14]. Було створено моделі, що визначають взаємозв'язок між потоком, швидкістю та щільністю, дозволяючи оцінювати стан дороги з точки зору якості обслуговування, пропускної здатності та складу транспортних засобів. Також було впроваджено систему управління сигналами світлофорами на перехрестях.

Зі збільшенням кількості приватних транспортних засобів акцент змістився в бік використання громадського транспорту та велосипедів. Незважаючи на впровадження Інтелектуальних транспортних систем (ІТС), таких як вдосконалена

координація та громадський транспорт у вигляді приміських електричок і трамваїв, стан доріг залишається незадовільним. Координація в реальному часі між різними компонентами ІТС і різними видами транспорту все ще є нерозв'язаною проблемою.

2.2 Сталий розвиток та розумні міста

Термін «сталий розвиток» охоплює екологічну відповідальність, соціальний добробут, економічну стабільність та використання відновлюваних ресурсів. Однією з ключових глобальних проблем є залежність автомобільного транспорту від викопного палива, що завдає значної шкоди довкіллю. Тому усвідомлений вибір виду транспорту є важливим для підтримки сталої мобільності [15]. Наприклад, активні види транспорту, такі як їзда на велосипеді й ходьба, а також громадський транспорт і електромобілі, сприяють розробці планів сталої міської мобільності.

Концепція «розумного міста» передбачає технологічно розвинене міське середовище, де пріоритетними є комунікація, збереження довкілля, енергоефективність, управління водними ресурсами, зменшення відходів, інформаційна безпека та використання великих даних [15]. Технології відіграють ключову роль у забезпеченні сталого розвитку розумних міст, полегшуючи збір, інтеграцію, зберігання та обмін даними між різними компонентами міста, що веде до створення більш розумних і сталих урбаністичних середовищ.

2.3 Представлення мобільності як послуги (MaaS)

Цифровізація та розвиток технологій відкрили нові можливості для спілкування та співпраці в режимі реального часу. Цю концепцію також застосували для інтеграції різних видів транспорту, таких як трамваї, залізничний

та автобусний транспорт. Спільне користування автомобілями працює на основі запитів від користувачів, аналогічно до того, як МaaS формує попит на транспорт, реагуючи на запити різних видів транспорту, що дозволяє уникнути затримок і зменшити витрати на поїздки. Найефективнішими видами транспорту вважаються легкі рейкові транспортні системи (LRT), швидкісні автобусні маршрути (BRT) та автобуси метрополітену, тоді як інші види, такі як спільне користування автомобілями, паркування та приміські поїзди, також можуть бути інтегровані.

Смартфони зробили мультимодальне планування поїздок привабливим для молодших поколінь [16]. Навіть ті, хто раніше прагнув мати власний автомобіль, тепер віддають перевагу зручності використання карток для безпроблемних поїздок на ГТ [16].

МaaS була визначена як універсальна платформа для управління поїздками, що пропонує підхід «Великого вибуху», об'єднуючи всі запити, пов'язані з поїздками, включаючи заходи, зупинки, тарифи, час у дорозі та маршрути. Вона інтегрує всі види транспорту в кожному просторово-часовому контексті [17].

2.3.1 Концептуальна основа мобільності як послуги (МaaS)

Запропонована концептуальна основа передбачає встановлення зв'язку між особливостями міського землекористування, витратами на проїзд та ефективністю перевезень для покращення загальної транспортної системи та сприяння сталому розвитку міста. У рамках цієї концепції представлені різні моделі надання послуг для МaaS. Дані моделі варіюються від комерційних підходів, які можуть погіршити проблеми з ефективністю, до систем, що передбачають інституційний нагляд. У цьому контексті МaaS розглядається як допоміжний інструмент мобільності, зокрема, для покращення доступу та виїзду (з'єднання першої та останньої милі) для транспортних систем з високою пропускнуою здатністю [17].

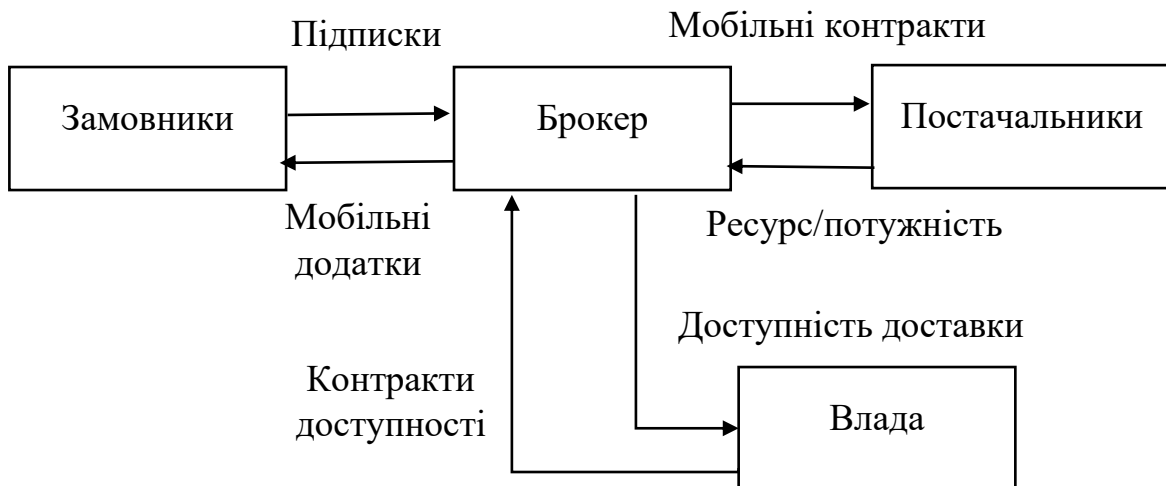


Рис.2.1. Структура моделі МaaS [17]

2.3.2. Моделі впровадження МaaS

Згідно з дослідженням [15], МaaS має три характеристики реалізації, які наведені нижче: транспорт на вимогу, що дозволяє користувачеві запитувати тип транспорту на власний розсуд, у власному темпі для різних зупинок до місця призначення; послуга на основі підписки дозволяє користувачеві платити відразу за всі здійснені поїздки за допомогою своєї смарт-картки; потенціал для розвитку ринку може бути збільшений за рахунок використання МaaS для отримання даних та моделей перевезень на вимогу.

Модуль автобусного передавача складається з GPS (Neo 6M), GSM та високопродуктивного комп'ютера Raspberry Pi. Він отримує інформацію про місцезнаходження, час прибуття та кількість місць через Wi-Fi і передає її користувачам на їхні смартфони або на екрани дисплеїв в автобусному терміналі [5].

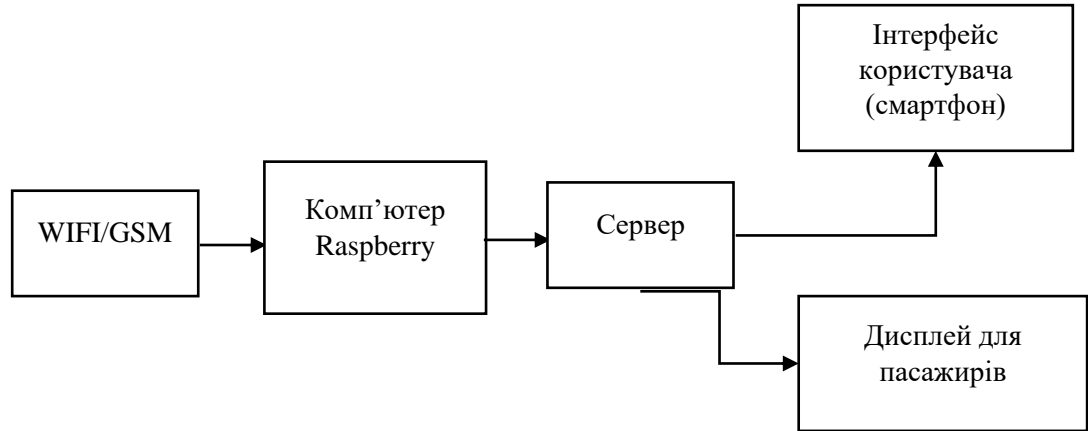


Рис.2.2. Модуль контролю автобусної станції [5]

2.4. Переваги від існуючих впроваджень МaaS

Нижче наведено потенційні можливості для впровадження МaaS у міських районах.

2.4.1 МaaS і безпека на транспорті

МaaS вважається безпечним і зручним режимом для транспорту, особливо в засніжених районах, де користувачі можуть легко подорожувати [18]. У системах МaaS передбачені спеціальні пристосування для забезпечення окремих сидінь або виділених місць для таких людей, що гарантує їхній комфорт і безпеку під час перевезення [3].

2.4.2 МaaS і захист даних

Одним з основних потенціалів МaaS є використання краудсорсингових даних для пошуку інформації про місцезнаходження користувачів, їхні маршрути, вибір виду транспорту тощо. Збір такої великої кількості даних про користувачів

по всьому місту вимагає безпечної обробки та управління даними [19]. Ця інформація може покращити досвід користувачів, а зацікавлені сторони також можуть отримати уявлення про схему пересування різних користувачів. Залежно від використання MaaS, користувачам можуть бути запропоновані знижки.

2.4.3 MaaS та навколишнє середовище

Використання приватних автомобілів призводить до ряду небажаних наслідків, таких як затори, шумове забруднення, зростання кількості дорожньо-транспортних пригод і забруднення навколишнього середовища. MaaS може допомогти пом'якшити ці проблеми, прагнучи зменшити залежність від приватного транспорту шляхом пропозиції інтегрованих і ефективних альтернатив [20]. Забезпечуючи легкий доступ до різних видів транспорту, таких як громадський транспорт, райдшерінг і велшерінг, через єдину платформу, MaaS стимулює людей обирати альтернативні способи пересування замість приватних автомобілів.

2.4.4 MaaS та інтеграція мультимодальної транспортної мережі

Інтегрована система громадського транспорту має п'ять ключових характеристик [21]:

1. Інтеграція мережі: система безперешкодно поєднує різні транспортні мережі, створюючи єдину та взаємопов'язану структуру.
2. Інтеграція тарифів: система пропонує спрощену структуру тарифів, що полегшує процес оплати проїзду для пасажирів, які користуються різними видами транспорту.
3. Інформаційна інтеграція: інформація про маршрути, розклади та послуги консолідована і доступна для пасажирів у зручному форматі.

4. Фізична інтеграція станцій: станції та зупинки спроектовані та організовані для полегшення пересадок між різними видами транспорту.

5. Скоординовані операції: система функціонує синхронізовано, забезпечуючи ефективне та своєчасне надання послуг.

2.4.5 МaaS та смарт-квітки

Інтеграція продажу квитків також дозволяє користувачеві здійснювати кілька поїздок без повторної купівлі квитка. Громадський транспорт у Нідерландах переважно покладається на OV-чип-картки, які є дійсними для різних видів транспорту [22]. Смарт-квиток є дуже цінним для громадського транспорту та органів влади. Вони ефективно відстежують маршрути пасажирів і час у дорозі, забезпечуючи безпеку завдяки швидкій деактивації викрадених карток, дозволяючи повертати кошти або здійснювати кредитні перекази, подібно до карток у банкоматах, зменшуючи ризик шахрайства [5].

Розумний продаж квитків через додатки МaaS, безсумнівно, призводить до зниження тарифів, знижок і варіантів пересадок, що сприяє зростанню популярності цього виду транспорту серед громадян [20]. Дана послуга стає найдоступнішим і найпривабливішим вибором для багатьох.

2.4.6 Інтеграція технології МaaS (додатки)

Інтеграція технологій дозволяє користувачам попередньо бронювати свої поїздки, отримувати доступ до деталей подорожі, адаптувати свої маршрути з можливістю проміжних зупинок, використовувати розумні квитки та здійснювати платежі через централізовану платформу. Ця цифрова інтеграція відповідає різноманітним потребам у мобільності різних видів транспорту, охоплюючи послуги та можливості кастомізації. У дослідженні також представлені додатки

МaaS, що використовуються в різних містах, як показано в Таблиці 2.1, що додається.

Табл.2.1

МaaS-додатки, що використовуються в різних містах

Додатки/Платформи	Місце	Додатки/Платформи	Місце
Beamrz	Ейндговен	NaviGoGo	Фіви, Данді
Citymapper	Європа	NordwestMobil	Швейцарія
Comtrade	Любляна	Optimile	Бельгія
Google Maps		Optymod	Ліон
ІМА**	Берлін	RACC	Барселона
Kyyti	Турку	Rome2rio	ЄС
Qixxit	Німеччина	TripGo	ЄС
MaaS Pilot	Гент	UBIGo	Стокгольм
Mobbileo	Сполучене королівство	UbiGo	Гетеборг
Mobility 2.0	Пальма	Ustra	Ганновер
MobiNET	ЄС	Whim	Гельсинки
MyWay	Барселона, Берлін	WienMobil	Відень

Система інформування пасажирів має вирішальне значення для доступу до інформації, пов'язаної з автобусами, такої як розклад руху та очікуваний час прибуття [5]. Ця система моніторингу в режимі реального часу в розумних містах показує місцезнаходження автобусів і пропонує похвилинну інформацію про послуги, прогножуючи час прибуття. Ця технологія надає користувачам інформацію в режимі реального часу через веб-сайти, додатки для смартфонів і табло на автобусних зупинках, включаючи інформацію про наявність вільних місць на певних автобусних маршрутах.

2.4.7 MaaS та зміна виду транспорту

Знання часу прибуття автобуса допомагає пасажиром вирішити, чи чекати на нього, чи шукати альтернативний транспорт, особливо в умовах щільного графіку. Пасажири вдома можуть отримати доступ до оновленої інформації в режимі реального часу про місцезнаходження конкретного автобуса та час його прибуття на кінцеву зупинку, використовуючи додаток для смартфона та бездротовий доступ до Інтернету [5].

MaaS забезпечує зручний доступ до житлових районів шляхом безперешкодної інтеграції під'їзних автобусів з BRT (швидкісним автобусним транспортом) і BRT з LRT (легким рейковим транспортом). Це заохочує людей обирати громадський транспорт [20]. Крім того, синхронізація часу для всіх видів транспорту додає переваг для користувачів.

2.5. Міжнародний досвід успіху MaaS

Дослідження мобільності працівників муніципалітету Падуї (Італія) дозволило відкалібрувати модель прогнозування впровадження MaaS [23]. Вона була застосована до реальних робочих поїздок для оцінки щоденної економії викидів за різних пакетів MaaS. Результати підкреслили важливість мультимодальних варіантів «від дверей до дверей» та роль громадського транспорту в системі MaaS. У порівнянні з поточним сценарієм, викиди скоротилися на 41%. Дослідження також наголосило на необхідності розробки пакетів послуг та попередньої оцінки скорочення викидів. Майбутні дослідження можуть зосередитися на мультимодальних сценаріях, оцінці впровадження MaaS та скорочення викидів протягом типового робочого дня, а також аналізувати конкретні зміни видів транспорту в межах маршрутів MaaS для поїздок на роботу та з роботи.

Дослідження [24] має на меті (1) вивчити обізнаність, важливість та переваги МaaS, особливо в хорватському туризмі, та (2) дослідити взаємозв'язок між мультимодальним мисленням, МaaS та задоволеністю від використання мобільних додатків у туризмі. Результати дослідження підтверджують значний зв'язок між мультимодальним мисленням і МaaS, опосередкований задоволеністю та обізнаністю про додатки. Дослідження вказує на необхідність більшого визнання, розвитку та повного впровадження МaaS в туризмі, щоб зменшити використання особистих транспортних засобів та сприяти розвитку сталих варіантів пересування.

Початкові дослідження та польові випробування в розвинених країнах свідчать про те, що МaaS може позитивно вплинути на мобільність і створити більш ефективні та сталі транспортні системи [25]. Це дослідження поширює сферу застосування на країни, що розвиваються, зосереджуючись на метрополітені Маніли, Філіппіни. Результати вказують на високу ймовірність (84%) впровадження додатків МaaS, що зумовлено такими факторами, як надійність та економія коштів. Майбутні дослідження повинні вивчити попит, готовність платити, вирішити питання ендогенності, а також дослідити управління, бізнес-моделі та впровадження МaaS у країнах, що розвиваються.

У дослідженні розглядаються різні європейські платформи МaaS з акцентом на функціональність, кастомізацію та відповідність суспільним цілям [26]. У ньому визначено такі ключові фактори, як оплата, кастомізація та планування поїздок, а також запропоновано концептуальну основу для індикаторів сталого розвитку МaaS, щоб підвищити ефективність користувачів та підтримати провайдерів у розробці сталих бізнес-моделей.

В іншій роботі досліджуються фактори, що впливають на впровадження МaaS, на основі опитування понад тисячі респондентів у Нідерландах [27]. У дослідженні виділено п'ять кластерів, що представляють різні сегменти клієнтів на основі їхньої схильності до використання МaaS для міської мобільності.

Найбільший кластер, що представляє третину респондентів, демонструє найвищу схильність до використання МaaS у майбутньому і має різноманітні моделі щотижневої мобільності. І навпаки, користувачі унімодальних автомобілів найменш схильні до впровадження МaaS. Висока потреба у власності та низький рівень впровадження технологій, виявлені в трьох з п'яти кластерів, є основними бар'єрами для впровадження МaaS. У документі висловлюється припущення, що політика, спрямована на подолання цих бар'єрів, може сприяти впровадженню МaaS.

У цьому документі описано послуги, інтегровані на демонстраційному майданчику МaaS в Афінах, Греція [9]. Демонстраційний майданчик включає різних транспортних операторів, таких як громадський транспорт, велошеринг, таксі та муніципальний громадський транспорт. Він демонструє реальні додатки в коридорі для підготовки до розгортання екосистеми МaaS. Заплановано три кейси: (1) мультимодальні робочі поїздки; (2) МaaS для туристів; і (3) міжміські/міські інтерфейси для робочих і туристичних поїздок. Майбутні дослідження повинні зосередитися на бажаних функціях додатків шляхом проведення широких опитувань для їх оптимізації. Планування схем МaaS, таких як райдшеринг та інші сервіси спільної мобільності, вимагає ретельного врахування місцевих і регіональних особливостей.

Дослідження [11] вивчає впровадження МaaS з акцентом на вікові групи та життєві етапи. У дослідженні використовується метод Дельфі за участю 89 міжнародних експертів у галузі транспорту та моделювання дискретного вибору за участю 1078 респондентів. Отримані результати свідчать про те, що молодші вікові групи більш схильні до впровадження МaaS, а життєвий етап суттєво впливає на прийняття рішення. Подальші дослідження вивчатимуть поведінковий вплив МaaS на щоденні моделі поїздок і сприятимуть розумінню факторів, що сприяють переходу до сталих транспортних рішень.

У цій статті [28] досліджено поведінкові наміри людей на основі опитування, в якому взяли участь 418 респондентів у столичному районі Рандстад (Нідерланди). Застосування моделі структурних рівнянь дозволило виявити ряд пояснювальних (поведінкових та особистісних) факторів, що впливають на прийняття МaaS. Потім за допомогою кластерного аналізу було визначено чотири профілі користувачів щодо їхнього наміру скористатися цим новим рішенням: «Короткотривалі подорожі», «Активні користувачі», «Традиційні прихильники автомобілів» та «Прихильники МaaS». Загалом, визначено три основні бар'єри для потенційного впровадження МaaS: низька готовність до комбінування різних видів транспорту, низька обізнаність з технологіями та низька надійність нових послуг мобільності.

Стаття [29] присвячена використанню інформаційно-технологічних платформ для інтеграції транспортних систем (МaaS). Мета – проаналізувати та оцінити функціональність МaaS на прикладі Базеля як міста та регіону. В результаті проведено аналіз використання систем МaaS на чотирьох різних рівнях: міждержавному, національному, регіональному та міському.

У регіоні Роттердам - Гаага (Нідерланди) існує велике навантаження на систему мобільності. Тому метою пілотного проекту МaaS в цьому регіоні є зменшення тиску і забезпечення доступності регіону для всіх, незалежно від способу пересування. Це включає покращення доступності аеропорту Роттердам-Гаага. Зараз до аеропорту здебільшого легко дістатися автомобілем, а пілотний проєкт мав би сприяти мультимодальному доступу [30].

Вісім муніципалітетів Твенте (Нідерланди) об'єднують зусилля, щоб забезпечити доступність мобільності для вразливих цільових груп у регіоні. Тому цей пілотний проєкт зосереджений на користувачах індивідуального транспорту. Насамперед, це стосується осіб, які отримують соціальну допомогу; з часом це також стосуватиметься структурного індивідуального транспорту. Зрештою, пілотний проєкт буде орієнтований на всіх мешканців та гостей міста Твенте [31].

На більшій частині провінцій Гронінген і Дренте (Нідерланди) громадський транспорт мало розвинений. Однак через концентрацію об'єктів у населених пунктах (таких як Гронінген та Ассен) існує велика потреба у транспортному сполученні. У провінціях вже створена мережа вузлових станцій. Ця мережа полегшує пересадку з одного виду транспорту на інший. Для того, щоб підвищити зручність користування для мандрівників, весь спектр транспорту повинен бути легкодоступним та інтегрованим [31].

У районах Утрехт-Лейдше-Рейн, Влейтен і Де-Меерн кількість мешканців швидко зростає, а рівень володіння та користування автомобілями є високим. До 2030 року очікується значний приріст населення (+25 000 до 105 000 мешканців). Саме тому необхідне втручання. Пілотний проєкт у цьому регіоні зосереджений на стимулюванні альтернатив автомобілю. Додаток МaaS має покращити доступність та якість життя в регіоні [32].

На автомагістралі A10 Zuid (Нідерланди) та прилеглих до неї ділянках спостерігаються сильні затори. Очікується, що затори ще більше збільшаться в найближчі роки, частково через роботи над проєктом Zuidasdok. Зуїдас в основному приваблює ділових людей, тому цей пілотний проєкт зосереджений на цій цільовій групі. Майбутній додаток МaaS повинен запропонувати серйозну альтернативу подорожам автомобілем і надати мандрівникові гнучкість і свободу вибору. Метою є структурне покращення доступності Zuidas [32].

Метою пекінської схеми МaaS 2.0 є інтеграція послуг мобільності на всіх видах транспорту, включаючи автобуси, метро, приміські поїзди, пішу ходьбу, їзду на велосипеді, послуги попутних поїздок, авіацію, залізницю, міжміські автобуси та приватні транспортні засоби. Мета полягає в тому, щоб надати громадянам комплексні та зручні інтелектуальні послуги мобільності «від дверей до дверей» протягом усієї подорожі, що охоплюють «прийняття розумних рішень до поїздки, керівництво під час поїздки, зелені стимули та послуги з планування міжміських поїздок».

Робота буде зосереджена на чотирьох ключових напрямках:

1. Розширення та оптимізація послуг.
2. Побудова взаємовигідної екосистеми.
3. Скорочення викидів вуглецю в усіх сферах послуг.
4. Створення пекінського бренду МaaS як глобального орієнтира.

Завдання на наступні три роки для МaaS 2.0 – покращити досвід користувачів інтегрованих послуг зеленої мобільності та збільшити охоплення вуглецево-інклюзивних послуг. До кінця 2025 року платформа МaaS 2.0 щодня обслуговуватиме понад 6 мільйонів людей, які користуватимуться послугами «зелених» подорожей, при цьому рівень проникнення послуг «зелених» подорожей становитиме 20%, а коефіцієнт конверсії для «зелених» подорожей - 3% [33].

Мультимодальний додаток SkedGo використовується для планування поїздок, що надає універсальний транспортний додаток для всіх австралійців. Додаток має кілька видів транспорту, включаючи громадський транспорт, велосипеди, автомобілі та мотоцикли, попутники і таксі, а також включає в себе бронювання та оплату, у ньому можна порівняти ціни від різних постачальників таксі та компаній, що надають послуги поїздок, включаючи бронювання та оплату в додатку [34].

У роботі [35] виконано аналіз результатів обстеження МaaS для трьох міських районів в Італії: Турін, Рим, Дженоа. Порівняльний аналіз дає змогу визначити рушійні сили, перешкоди та необхідні умови для успішного впровадження МaaS. Коли йдеться про міста з консервативною політикою мобільності або міста, які не мають досвіду впровадження МaaS, може виникнути опір впровадженню сервісу.

МaaS викликає величезний інтерес як перспективний спосіб підвищити прихильність до мобільності, що узгоджується з досягненням цілей сталого розвитку [36]. Водночас МaaS має на меті надати користувачам більший вибір за

допомогою цілеспрямованого інформування про планування мультимодальних подорожей за підтримки цифрової платформи. Хоча все це звучить дуже привабливо, поки немає продукту MaaS, який є успішною бізнес-моделлю і пропонує різні мультимодальні пакети за планом підписки, незважаючи на низку додатків, таких як Whim у Фінляндії, UbiGo у Швеції та Stadtwerke Augsburg у Німеччині. За рідкісним винятком, немає жодних або дуже обмежені докази того, як MaaS сприяла досягненню широких суспільних цілей. Випробування MaaS у Сіднеї дало багато уроків про те, як розробляти та експлуатувати екосистему MaaS [37], але основні висновки свідчать про те, що довіра та партнерство між постачальниками транспортних послуг (мобільності), урядом та агентом, який об'єднує всіх постачальників, є важливими для того, щоб MaaS зміг змінити мобільність таким чином, щоб досягти стійких результатів, які принесуть користь суспільству.

2.6. Виклики до MaaS

MaaS – це, по суті, ті самі рівні обслуговування кожного виду транспорту окремо, які пропонуються зараз; і як окрема пропозиція, що базується на тих самих рівнях обслуговування, чому пропозиція повідомити когось, що вони можуть користуватися певними видами транспорту на тих самих рівнях обслуговування через цифрову платформу (додаток) (за відсутності відповідних стимулів - не обов'язково фінансових), може мати достатню різницю, щоб змінити поведінку людей, які користуються транспортом?

Припустимо, що людина користується автомобілем, і її поїздка триває 39 хвилин, вартість паркування – 600 грн., плата за проїзд – 400 грн., але від дверей до дверей. Мультимодальна поїздка без жодних знижок на те, що пропонується як окремі модальні послуги - це 10 хвилин пішки до поїзда, 5 хвилин очікування

поїзда, 50 хвилин у поїзді, 200 грн. за проїзд і 10 хвилин пішки до місця призначення.

Однак знання (з точки зору важливих атрибутів) недостатньо, щоб змінити поведінку під час подорожей - причину, через яку хтось не користується ним зараз. Для початку потрібно зробити приватний автомобіль менш привабливим, що здається, неможливо або стає дедалі складнішим без серйозної реформи системи оплати за користування дорогами, та/або зробити модальні компоненти альтернативи більш привабливими. Але ця остання ініціатива може відбутися і поза межами МaaS (планувальники і постачальники послуг це роблять); отже, якщо додатковий атрибут(и), пов'язаний(і) з МaaS, який(і), як стверджується, представляє(ють) привабливість МaaS, є(ють) несуттєвим(ими), МaaS може взагалі не додати ніякої корисності. Отже, що ж це за відсутній атрибут(и)? Це ключове питання. Це зводиться до диференційованих зусиль і безперешкодним виходом за межі того, що вже відомо і доступно, що є відсутнім інгредієнтом. Чи є зусилля, спрямовані на проведення мультимодального допиту за допомогою цифрового додатку, достатньою інвестицією в обмін на очікувану корисність?

Автори [36] вважають, що існує можливість розширити фокус з виключно постачальників транспортних послуг на нетранспортних постачальників, таких як роздрібні торгові точки, медичні заклади, заклади догляду за людьми похилого віку, страхові та банківські установи, телекомунікаційні компанії, постачальники комунальних послуг, туристичні агенції та організатори подій. Можна сподіватись, що це може бути привабливим способом запропонувати додаткові стимули, які принесуть користь усім постачальникам послуг у розширенні їхньої клієнтської бази зі збільшенням кількості абонентів. Запропонована структура передбачає наявність тендерного органу, який відповідає за загальну платформу доступу, на якій оцінюються тендерні пропозиції консорціумів МaaS, і обирається кілька «переможців», щоб забезпечити покриття всіх мультимодальних і мультисервісних продуктів в рамках успішної тендерної пропозиції. Такий підхід

дає користувачам можливість вибору і забезпечує конкурентний ринок МaaS. Орган, що проводить тендер, відповідатиме за визначення набору пов'язаних із суспільством ключових показників ефективності, які пов'язані з фінансовими та нефінансовими винагородами, доступними для кожного консорціуму МaaS та їхніх абонентів, коли вони демонструють через систему спільного доступу зміни в поведінці пасажирів, які відповідають узгодженим суспільним показникам ефективності.

Наразі МaaS не так просто застосувати. Для успішного застосування необхідні наступні передумови:

- Доступність даних: відкриті дані від усіх перевізників є обов'язковою вимогою. Наразі, наприклад, NS (голландська залізниця) ще не має даних операторів паркування та інших транспортних компаній, і навпаки.

- Можливість продажу продуктів один одного: для громадського транспорту створюють картку громадського транспорту, але рішення «від дверей до дверей» вимагає набагато більшої кількості постачальників.

- Баланс між управлінням і ринком: ринку потрібно дати можливість розвиватися в ролі постачальника послуг, водночас уникаючи появи надмірної кількості додатків або конкуруючих послуг мобільності.

Крім того, успіх МaaS також значною мірою залежить від поведінки та сприйняття кінцевого користувача:

- Автономність і гнучкість: щоб бути успішною, послуга повинна щонайменше пропонувати учаснику руху автономність і гнучкість, бути надійною і, в ідеалі, доступною в будь-який час і в будь-якому місці.

- Додаткова цінність: МaaS повинен пропонувати додаткову цінність порівняно з існуючою ситуацією. Особливо важливими тут видаються економія коштів, більша зручність, більший вибір і кастомізація.

- Проблема мобільності: поточна мобільна поведінка визначатиме, чи готові користувачі перейти на МaaS, чи ні. Наприклад, важливо, чи відчують

люди проблеми з мобільністю, і чи мають вони вже досвід користування іншими видами транспорту, окрім звичних для них способів пересування.

Тому необхідно ретельно продумати, чи може МaaS сприяти досягненню (соціальних) цілей, і якщо так, то яким чином, і в які терміни. МaaS не є швидким рішенням для покращення доступності або якості життя в певній місцевості. У той же час, МaaS має потенціал для значного впливу в середньостроковій і довгостроковій перспективі.

2.7. Досвід впровадження МaaS в Україні

Міська мобільність змінюється, коли користувачі все частіше комбінують різні види транспорту протягом однієї поїздки. Зростає популярність активного транспорту, такого як велосипеди та піші прогулянки, а нові технології розширюють можливості таксі та приватних перевезень. Оператори дедалі більше орієнтуються на безперебійні послуги «від дверей до дверей» [38].

Перспективи впровадження МaaS в Україні широко представлені у роботі [39], у якій зазначено, що впровадження концепції мобільності як послуги (МaaS) в Україні стикається з численними викликами, які варто розглядати як у міських, так і сільських регіонах. Однією з ключових перешкод є недостатньо розвинена транспортна інфраструктура в малих містах та сільській місцевості, що суттєво ускладнює реалізацію концепції МaaS [39]. Автори [40] також розглядають аспекти впровадження МaaS в малих містах та сільській місцевості.

В аналітичній доповіді [41] від Центра Розумкова підкреслюється, що у впровадженні електронних послуг, зокрема контролю міського бюджету та роботи центру адмінпослуг одним із лідерів в Україні є місто Дніпро. Місто також використовує мобільні додатки для зв'язку зі службами, «розумні» зупинки, електронний квиток та «розумні» світлофори.

Інструментом надання муніципальних онлайн послуг у Кривому Розі є Центр «Віза» [42].

Для оплати проїзду на громадському транспорті у місті впроваджено три типи карток:

загальна для безконтактної оплати, ідентифікації мешканця та надання медичних послуг,

навчальна для безоплатного проїзду на комунальному транспорті учнів та студентів, контролю відвідування навчальних закладів, ідентифікації учнів,

транспортна для безоплатного проїзду та оплати додаткових міських послуг.

Також, починаючи з вересня 2023 року, у Кривому Розі впроваджено мобільний застосунок «Зручний маршрут», доступний для завантаження з Порталу Криворіжця [43] (рис.2.3).

Застосунок є зручним у використанні, сумісним із більшістю сучасних смартфонів і не містить реклами. Він стає особливо корисним для планування подорожей громадським транспортом. Користувач може обрати один із запропонованих маршрутів, які автоматично генеруються на основі початкового та кінцевого пунктів, із можливістю врахування пересадок. Крім того, доступна функція перевірки часу прибуття транспорту на зупинку, а також онлайн-відстеження руху транспортних засобів на будь-якому маршруті. У реальному часі можна слідкувати за власним переміщенням по маршруту. Усі нові маршрути відображаються в застосунку, а при зміні розкладу чи форс-мажорних ситуаціях користувач отримує відповідні попередження.

Таким чином, у Кривому Розі створена альтернатива існуючим програмам для оперативного планування переміщень на громадському транспорті.

Для моніторингу дорожнього руху та можливості екстреного реагування на небезпечні ситуації на дорогах Кривого Рогу з 2020 року у місті працює Ситуаційний центр [44], до якого підключено близько 150 камер

відеоспостереження. З них 46 камер підпорядковуються Національній поліції (23 з розпізнаванням номерних знаків), близько 50 — навчальним закладам, а 7 — приватним об'єктам.

Таким чином, Кривий Ріг розвивається у напрямку цифровізації муніципальних та транспортних послуг.

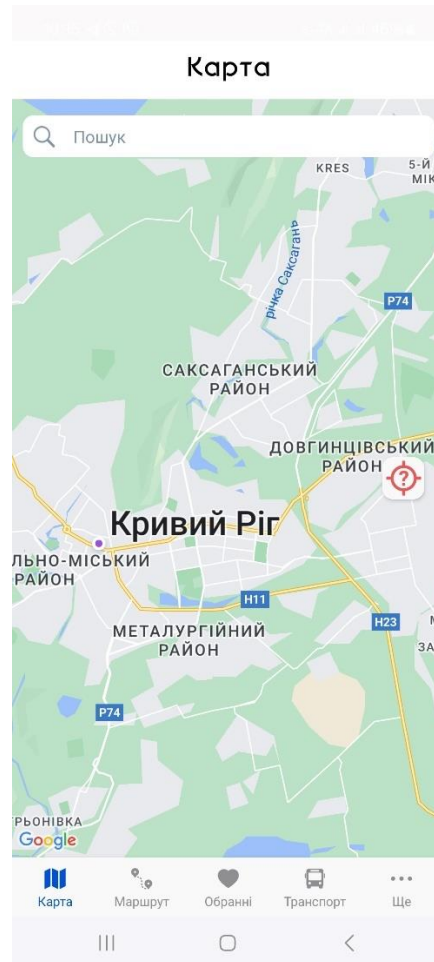


Рис.2.3. Інтерфейс мобільного додатку «Зручний маршрут».



Рис.2.4. Ситуаційний центр у Кривому Розі [44]

Потенціал впровадження МaaS в Україні має значний масштаб через кілька ключових факторів.

1. Зростаюча урбанізація: велике міське населення створює попит на ефективні транспортні рішення. МaaS може оптимізувати транспортні потоки та знизити навантаження на інфраструктуру за рахунок інтеграції різних видів транспорту (громадський транспорт, каршеринг, велосипедний транспорт тощо) в одну систему.

2. Розвиток цифрових технологій: Україна активно розвиває цифрові сервіси та мобільні додатки, що є основою для впровадження МaaS. На основі наявної інфраструктури для мобільних платежів та додатків можна створити платформи, які об'єднують різні транспортні рішення в єдину екосистему.

3. Екологічні ініціативи: зростає інтерес до екологічних рішень, таких як зниження викидів вуглекислого газу та зменшення автомобільного руху в містах. МaaS сприяє зниженню використання приватного транспорту, сприяючи більш стійкому розвитку міст.

4. Підтримка державних та приватних інвестицій: інвестиції в інфраструктуру, як державні, так і приватні, створюють сприятливе середовище

для впровадження інноваційних рішень у транспортній сфері. Український ринок залишається перспективним для таких інвестицій через незадоволений попит на сучасні транспортні послуги.

У той же час, в Україні немає прикладів повноцінного впровадження концепції МaaS та ґрунтовних наукових досліджень, присвячених даній темі. Проте можна вести мову про популярність серед населення мобільних додатків, які спеціалізуються на послугах таксі (ТОВ «Уклон» [45]), оренди самокатів (Bolt [46], Ewings [47], Joigent – тільки у Кривому Розі [48], KIWI [49], Scroll [50]), каршерінгу [51, 52], роботі громадського транспорту (Easyway [53], Зручний маршрут [43]). Додатку, який би об'єднував сервіси транспортних послуг на різних видах транспорту не існує.

2.8. Виклики щодо розгортання концепції МaaS в Україні

Виклики, які існують та перешкоджають цифровізації українських міст, умовно можна розділити на дві групи: пов'язані з об'єктивними умовами впровадження та пов'язані із воєнним станом.

Починаючи з 2022 року і по теперішній час бойові дії на території України створюють основний негативний вплив на роботу енергетичної, транспортної інфраструктури та суспільство у цілому.

Війна суттєво вплинула на впровадження МaaS в кількох аспектах:

1. Інфраструктура: масоване знищення енергетичної та транспортної інфраструктури російськими ракетами та БПЛА, що ускладнило реалізацію нових рішень у сфері мобільності. Перебої зі світлом впливають на роботу інтернету та підключених пристроїв, таких як світлофорні об'єкти. Тривалий час протягом доби відсутня подача електроенергії споживачам, а замість світлофорів на перехрестях міста вимушені працювати регулювальники дорожнього руху, що спричиняє збільшення заторів.

2. Фінансування: зменшення фінансових ресурсів, доступних для інвестицій у проекти МaaS, оскільки кошти були перенаправлені на оборону та гуманітарні потреби.

3. Стабільність і безпека: невизначеність і нестабільність під час війни знизило інтерес інвесторів і партнерів до впровадження нових технологій, оскільки вони прагнуть уникати ризиків.

4. Зміни в попиті на мобільність: змінилися потреби населення в мобільності. Наприклад, у місті Кривий Ріг збільшилась кількість внутрішньо переміщених осіб, що вимагає адаптації транспортних послуг.

Перешкоди для розвитку МaaS в Україні, які існували ще до війни, можна узагальнити наступним чином:

Недосконалість нормативно-правової бази: відсутність чітких законодавчих норм у сфері мобільності ускладнює впровадження нових технологій.

Недостатнє фінансування електронних послуг: обмежені фінансові ресурси не дозволяють повноцінно реалізувати проекти в цій сфері.

Відсутність державних стандартів: немає єдиних стандартів для технічної підтримки та адміністрування електронних послуг, що ускладнює їх інтеграцію.

Слабка інформаційна безпека: недостатня інформаційна безпека та міжвідомча взаємодія ставлять під загрозу дані користувачів і ефективність систем.

Несумісність інформаційних систем: різні інформаційні системи не взаємодіють між собою, що перешкоджає створенню єдиного сервісу МaaS.

Брак людського капіталу, який володів би необхідними компетентностями для розбудови МaaS.

Недостатня спроможність вищої освіти у підготовці компетентних фахівців.

2.9. Висновки до розділу 1

Концепція MaaS (Mobility as a Service) має кілька переваг у сфері надання транспортних послуг:

1. Зручність: об'єднання різних видів транспорту в одному додатку спрощує планування та оплату поїздок.
2. Ефективність: оптимізація маршрутів дозволяє зекономити час і зменшити витрати.
3. Екологічність: сприяє зменшенню використання приватних автомобілів і викидів CO₂.
4. Гнучкість: користувачі можуть адаптувати свої маршрути відповідно до потреб.
5. Доступність: покращує доступ до транспортних послуг для різних груп населення.
6. Зменшення часу очікування у черзі: оптимізація використання транспорту знижує навантаження на інфраструктуру.
7. Аналітичні дані: збір даних про використання транспорту допомагає в плануванні.
8. Інноваційні підходи: підтримує впровадження нових технологій у транспортній системі.

На шляху до реалізації MaaS в Україні існує ряд перешкод:

- Знищення енергетичної, транспортної та телекомунікаційної інфраструктури.
- Фінансові обмеження.
- Нестабільність і ризики.
- Зміни в попиті на мобільність.
- Проблеми з доступом до технологій.
- Складнощі з координацією.

- Проблеми з інформаційною безпекою.
- Недосконалість нормативно-правової бази.

Незважаючи на військові дії та близькість міста Кривий Ріг до лінії фронту, політика з реалізації цифрових технологій на надання транспортних послуг є сталою, за 2022-2023 роки впроваджено ряд проектів.

Однак повноцінне впровадження МaaS в жодному місті України не відбулося. Також не можна вести мову про повноцінне розгортання МaaS у розвинених країнах світу.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ТРАНСФОРМАЦІЇ ТРАНСПОРТНОГО ПОПИТУ У МІСТІ КРИВИЙ РІГ

2.1. Актуальність дослідження

Темпи розвитку сучасних міст і постійне зростання автомобілізації призводять до загострення ряду проблем, таких як погіршення організації дорожнього руху, труднощі з паркуванням, зниження якості дорожніх покриттів та збільшення викидів шкідливих речовин, що негативно впливає на якість життя мешканців. Для вирішення цих проблем потрібне «правильне» системне управління, ефективна організація транспортних потоків і оптимальне планування інфраструктури. Це вимагає чітких знань про існуючу транспортну ситуацію та можливі сценарії її розвитку. Отримати такі знання у сучасних умовах можливо за рахунок використання транспортної моделі міста.

Транспортна модель – це комп'ютерна програма, розроблена з урахуванням особливостей конкретного міста. Вона включає в себе дані про транспортну систему, такі як характеристики вулиць, зупинки, світлофори, пішохідні переходи, маршрути та розклади громадського транспорту. Додатково в модель вводяться дані про потреби мешканців: розподіл населення, концентрацію робочих місць, ключові освітні та культурні установи, а також інформація про цілі поїздки, час подорожей і вибір транспорту (автомобіль, громадський транспорт, велосипед або піша прогулянка).

Таким чином, транспортна модель слугує посередником між наявними можливостями міста та бажаннями його мешканців. Завдяки розрахункам модель може прогнозувати, як зміниться мобільність у місті при внесенні змін у транспортну систему. На основі цієї моделі можна здійснювати аналіз і прогнози розвитку міста, що сприятиме прийняттю обґрунтованих рішень щодо вдосконалення транспортної інфраструктури та проектів цифровізації.

2.2. Соціологічні опитування мешканців міста

Соціологічні опитування проводиться для кращого розуміння переміщень містом та оцінки проблем, труднощів і позитивних аспектів, з якими мешканці Кривого Рогу стикаються щоденно під час користування транспортною системою. Респонденти вибірки відбираються випадковим чином, репрезентативно до районів міста та інших критеріїв.

2.2.1. Вікова структура вибірки респондентів

Вікова структура вибірки респондентів представлена у табл. 2.1.

Табл.2.1

Група	1	2	3	4	5	6	7
Вік, років	14-17	18-23	24-35	36-45	46-55	56-64	65+

2.2.2. Задоволеність роботою громадським транспортом

Рівні задоволеності респондентів роботою громадського транспорту представлені на рис.2.1.

Більше 50% респондентів скоріше задоволені роботою маршрутних таксі, і це є максимальним показником серед всіх інших режимів громадського транспорту. Найближчим показником є задоволеність роботою тролейбусів – 47% респондентів.

Основною перевагою маршрутних таксі названо більша доступність цілей поїздок при використанні даного режиму транспорту та менші інтервали між рейсами порівняно з іншими режимами громадського транспорту.

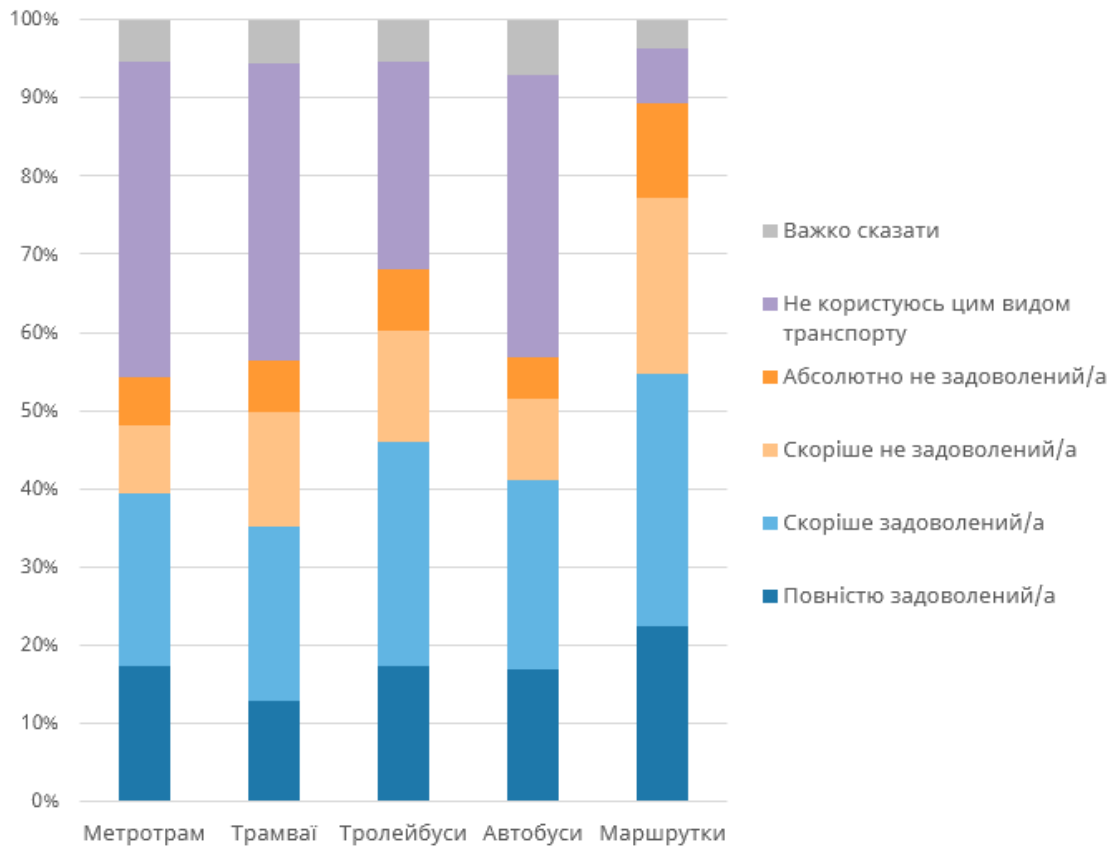


Рис.2.1. Задоволеність роботою різних категорій громадського транспорту

2.2.3. Вибір транспорту та шари попиту

Для того, щоб з'ясувати, які критерії вибору транспорту переслідують мешканці міста перед усім, необхідно було визначити градацію критеріїв вибору громадського транспорту за значимості від 1 (сильний пріоритет) до 3 (слабкий пріоритет).

В якості цілей використані такі критерії:

- Частота рух транспорту;
- Можливість проїзду у салоні у рухомого складу;
- Надійність транспорту (наявність рухомого складу);
- Тривалість поїздки;
- Вартість проїзду;

- Можливість поїздки без пересадки на інші маршрути/режими транспорту;
- Рівень комфорту у салоні рухомого складу;
- Екологічність рухомого складу.

Як з'ясувалось (рис.2.2), можливість просто сісти у салон рухомого складу є головним пріоритетом стосовно вибору транспорту (31% респондентів віддали даному критерію першій пріоритет).

На другому місці – частота курсування транспорту (29% від усіх респондентів).

Тривалість поїздки займає третє місце у переліку критеріїв за першим пріоритетом – 17% респондентів віддали свій голос за цей критерій, у той час, як вартість поїздки – 13%.

Якщо розглядати результати опитувань з точки зору другого пріоритету, то з невеликою перевагою мешканці міста вподобають частоту курсування транспорту (28% проти 23% за безпеку та надійність прибуття на зупинку відправлення).

Таким чином, при оцінюванні або розробленні додатку для планування руху на громадському транспорті у місті Кривий Ріг, який би був невід'ємною частиною МaaS, необхідно враховувати, перед усім, частоту оновлення карти у додатку та точність позиціонування. При точному позиціонуванні транспорту на маршруті користувачу надаватиметься актуальна інформація, яка дозволить йому прийняти адекватне поточної ситуації рішення про вибір режиму транспорту за критеріями частоти курсування та можливості посадки у салон рухомого складу.

За забезпечення реалізації представлених критеріїв відповідатимуть перевізники.

Пари цілей поїздки формує шар попиту та дає загальне уявлення про розподіл транспортного попиту. Для подальшого моделювання визначаються ті

пари цілей, що мають достатнє наповнення. Решта категоризуватиметься як складова поняття «Інше».

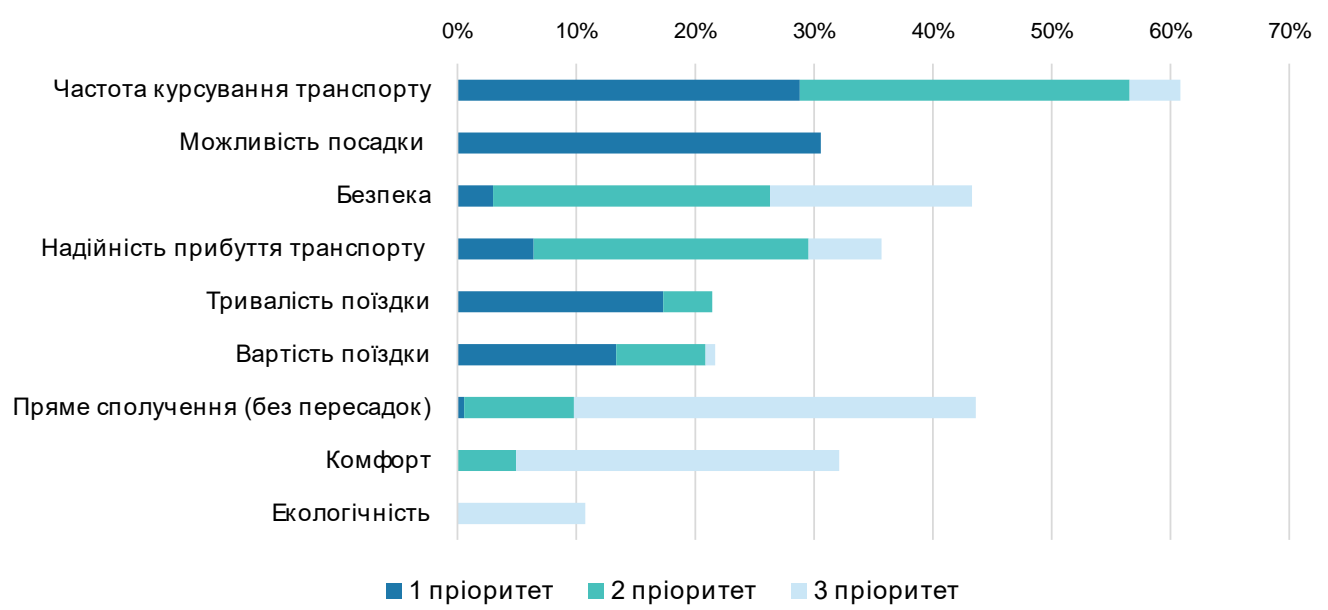


Рис.2.2. Пріоритети при виборі, чим дістатись до цілі поїздки

Кожен шар попиту утворює кореспонденцію (рис.2.3).

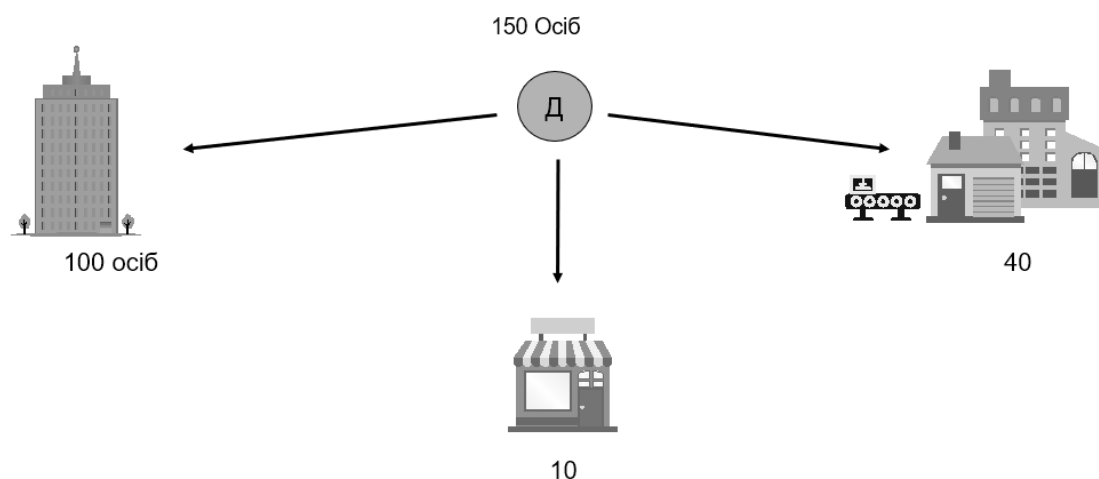


Рис.2.3. Приклад утворення кореспонденції «дім-робота»

В опитуванні було використано 14 шарів, які формують попит: «дім-робота», «робота-дім», «дім-інше», «інше-дім», «інше-інше», «робота-інше»,

«інше-робота», «робота-робота», «дім-навчання», «навчання-дім», «дім-ЗВО (заклад вищої освіти)», «ЗВО-дім», «дім-дача», «дача-дім».

Розподіл відповідей між шарами транспортного попиту показаний на рис.2.4.

Шари попиту «дім-інше» та «інше-дім» та «робота-дім», «дім-робота» є основними цілями поїздок мешканців Кривого Рогу. На них приходяться 90% всіх поїздок у транспортній мережі.

Врахування шарів попиту як пар цілей поїздок дозволяє визначити характер переміщень між окремими районами міста.

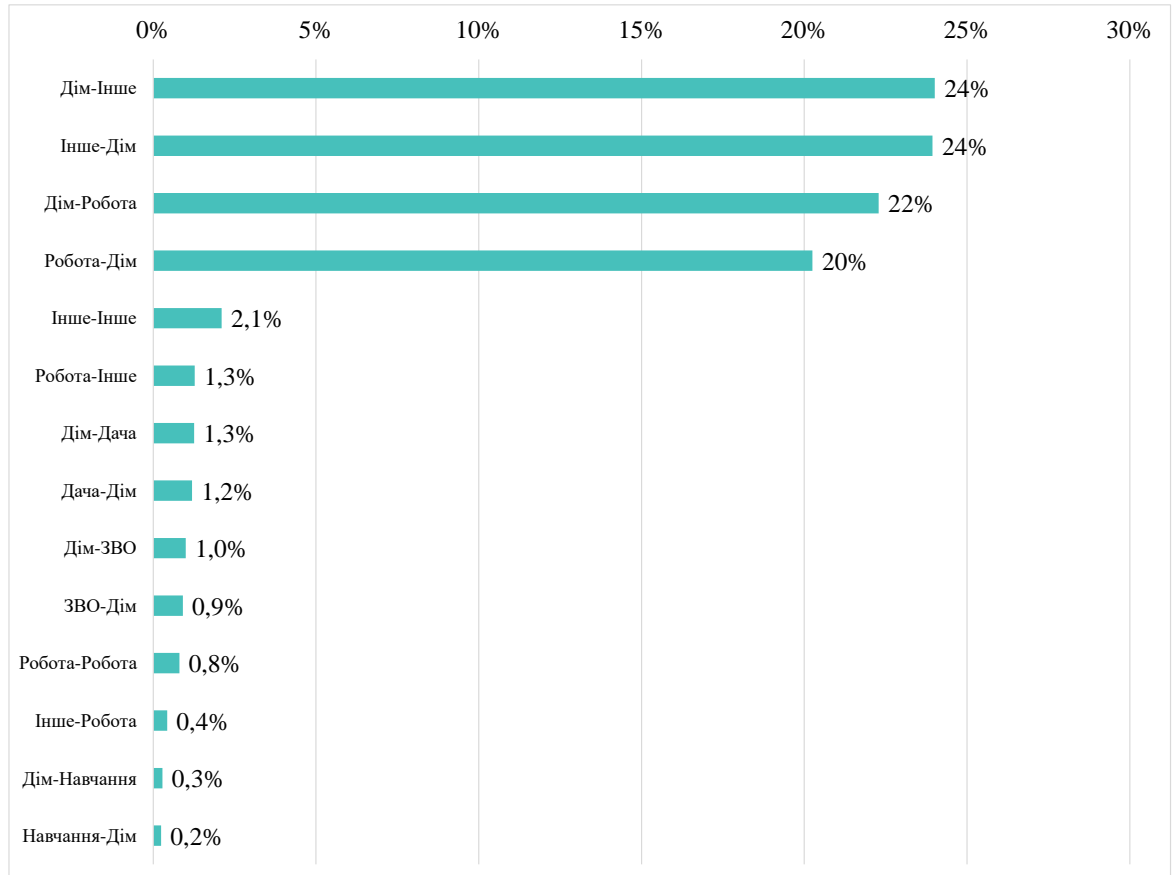


Рис. 2.4. Розподіл відсоткової кількості кореспонденцій між шарами транспортного попиту

Якщо робота є однією з пріоритетних цілей поїздки, то необхідно ретельно враховувати кількість робочих місць по районах міста.

Основними видами економічної активності є видобуток та переробка залізних руд.

Особливості районного розподілу робочих місць у добувній промисловості та розробленні кар'єрів (КВЕД В) представлено на рис.2.5.

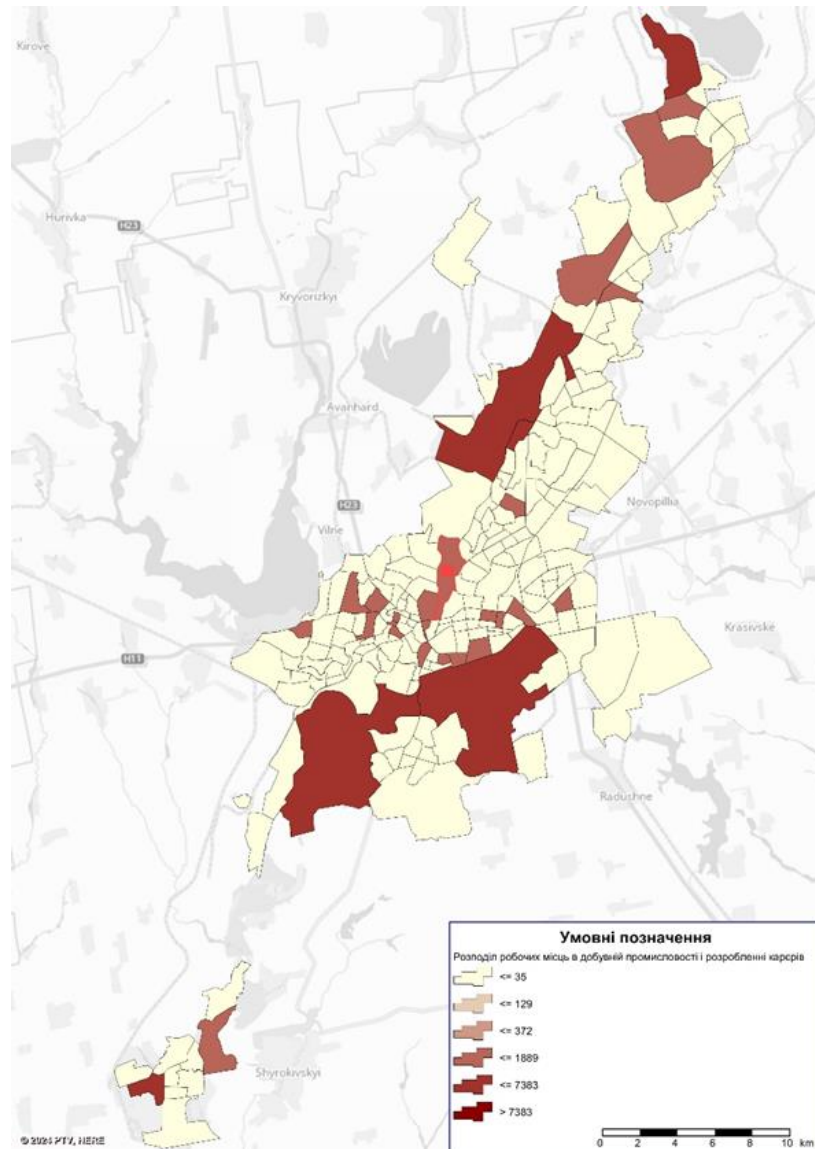


Рис.2.5. Розподіл робочих місць у добувній промисловості та розробленні кар'єрів

Найбільша кількість робочих місць у видобувній промисловості знаходиться в Інгулецькому районі (ВАТ «ПівдГЗК»), Металургійному районі міста (ВАТ «Арселор Міттал Кривий Ріг»), Покровському районі (ВАТ «ЦГЗК») та Тернівському районі (ВАТ «ПівнГЗК»).

Найбільша щільність робочих місць у видобувній промисловості – у районах ПівдГЗК та ПівнГЗК.

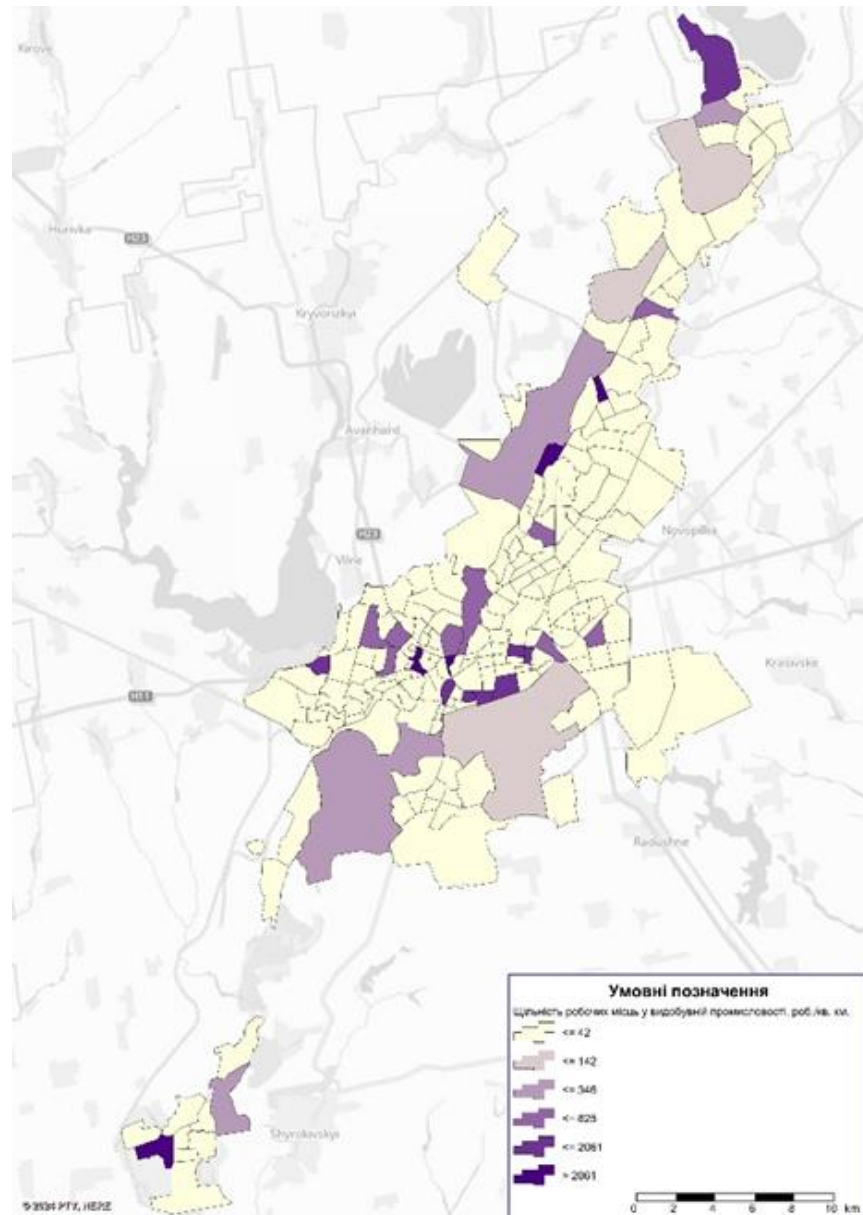


Рис.2.6. Щільність робочих місць у видобувній промисловості, роб./кв.м.

Розподіл місць проживання робітників, які працюють у видобувній промисловості, показано на рис.2.7.

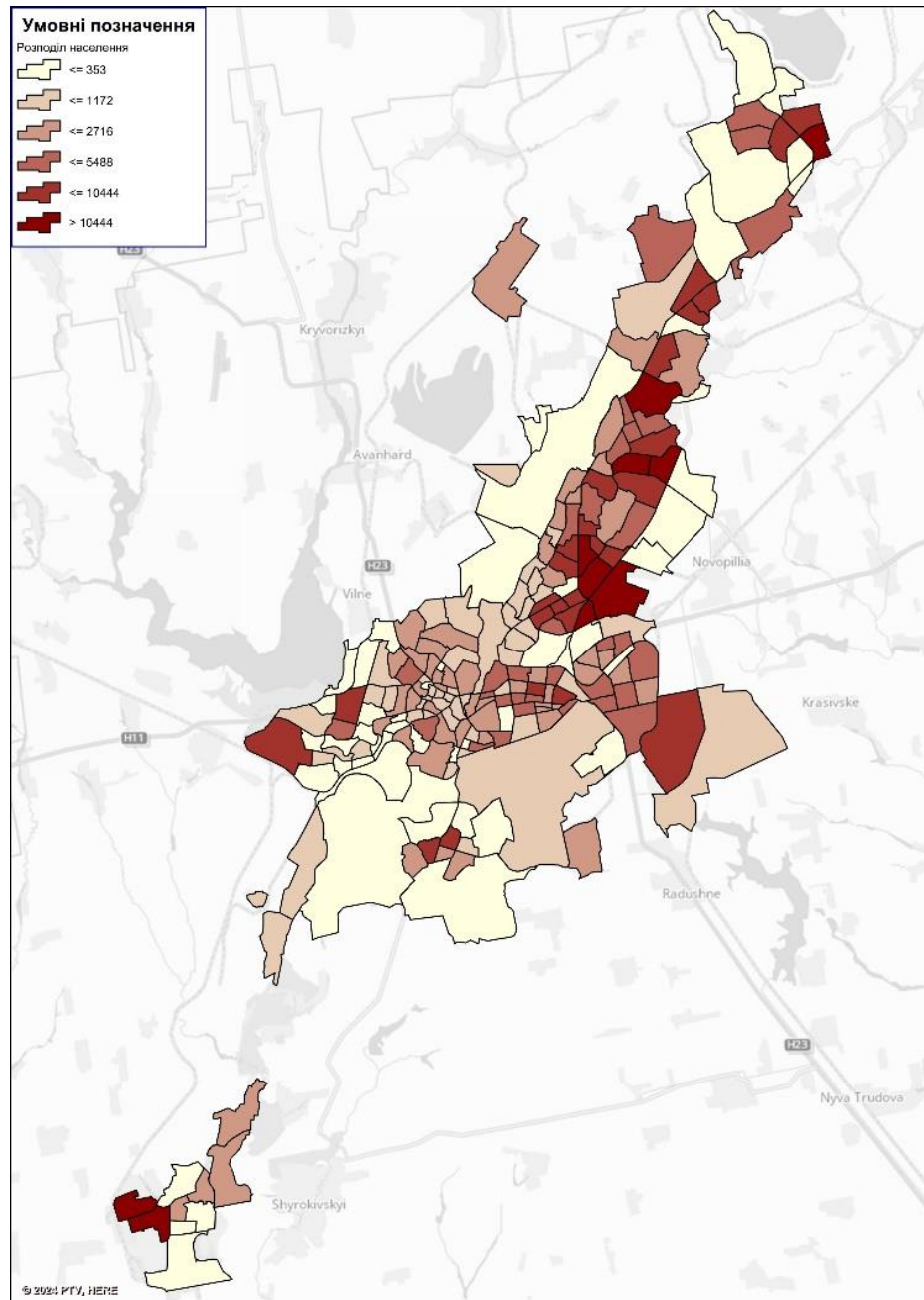


Рис.2.7. Розподіл робітників, які працюють у видобувній промисловості

Основна частина таких робітників проживає у східній частині міста в мікрорайонах багатоквартирної забудови (Східний, Гірницький, Зарічний), на житловому масиві Довгинцеве, та у районі Інгульця. Відповідно, дирекціями

утворення кореспонденцій є «схід-південь», «схід-захід» та у зворотному напрямку.

2.2.4. Відношення користувачів до безоплатного проїзду

Безоплатний проїзд на комунальному транспорті у Кривому Розі було запроваджено у 2021 році. Більшість мешканців, особливо віком більше 65 років, абсолютно позитивно сприймають даний захід (рис.2.8).

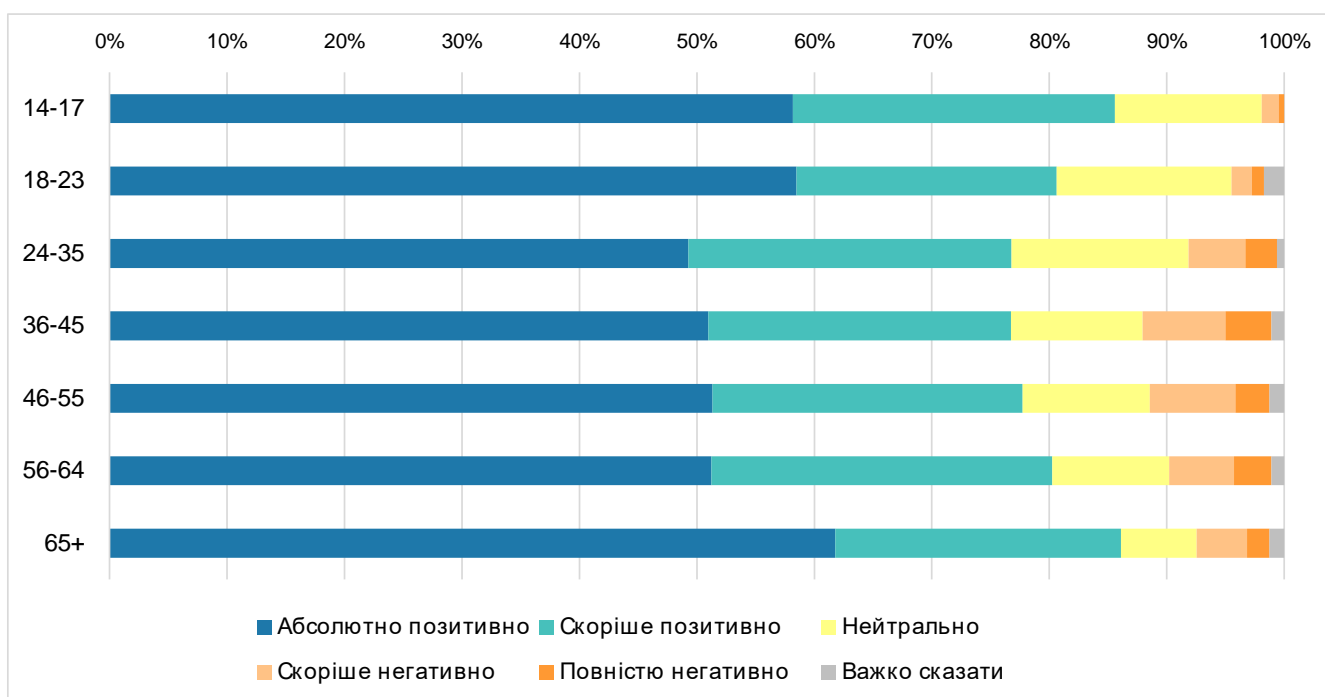


Рис.2.8. Відношення мешканців до безоплатного проїзду

2.2.5. Розподіл часу виїзду за шарами попиту

Опитування надало можливість оцінити, як розподіляються поїздки мешканців за шарами попиту та годинами доби.

Як видно з рис. 2.9, у будні дні наявні чіткі пікові години вранці (між 7:00 до 9:00) та ввечері (між 16:00 до 19:00), коли час виїзду максимальний, в основному це пов'язано із робочими поїздками.

У вихідні дні спостерігається декілька пікових годин з максимальними показниками часами виїзду – вранці з 7:00 до 8:00, з 10:00-11:00, ввечері – з 17:00 до 18:00, оскільки мобільність у вихідні немає жорсткої прив'язки до робочого графіку.

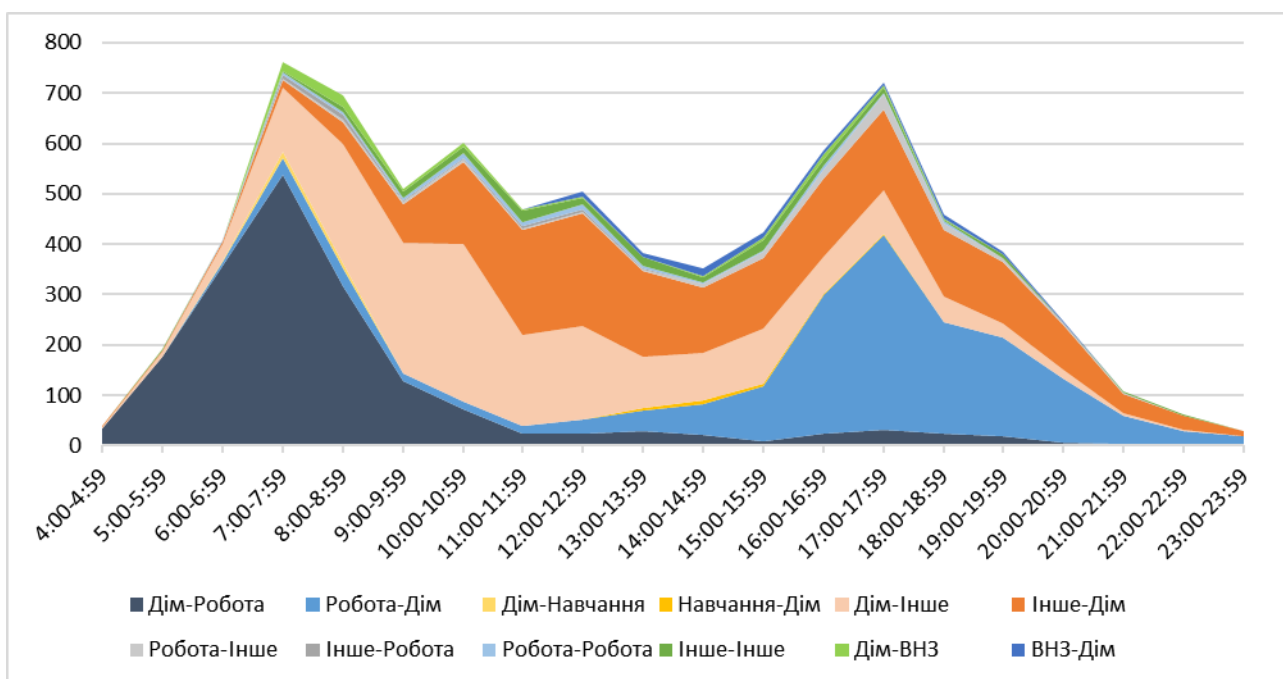


Рис.2.9. Розподіл часу виїзду за шарами попиту у будні дні, с

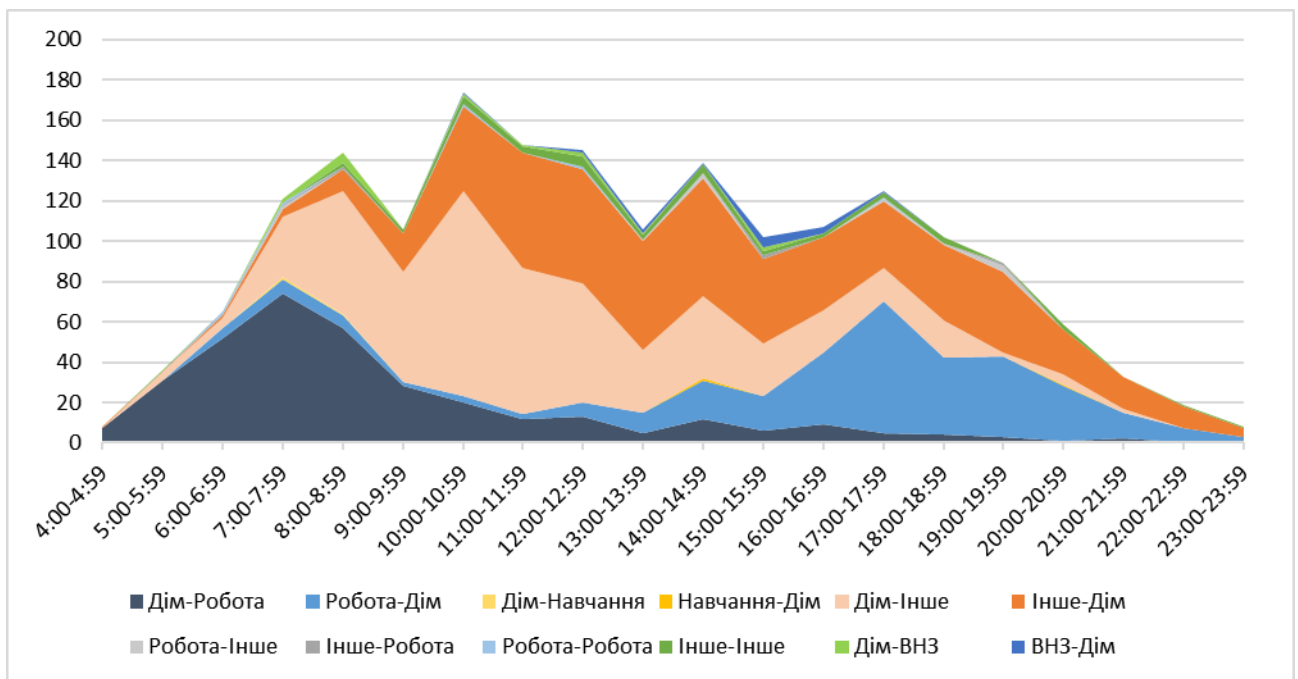


Рис.2.10. Розподіл часу виїзду за шарами попиту у вихідні дні, с

2.2.6. Розподіл режимів

Розподіл відсоткового відношення поїздки між режимами громадського транспорту міста Кривий Ріг до та після запровадження безоплатного проїзду показаний на рис.2.11.

У відсотковому відношенні максимальний попит на громадському транспорту приходить на маршрутні таксі (53%). Друге місце за попитом – приходить на тролейбус (23%).

Спостерігається зменшення осіб, які користуються маршрутним таксі до 10% після впровадження безкоштовного проїзду. Також пасажиропотік на швидкісному трамваї зменшився на 50%. На 30% збільшився пасажиропотік на маршрутах трамваю, майже на 50% – автобусу.

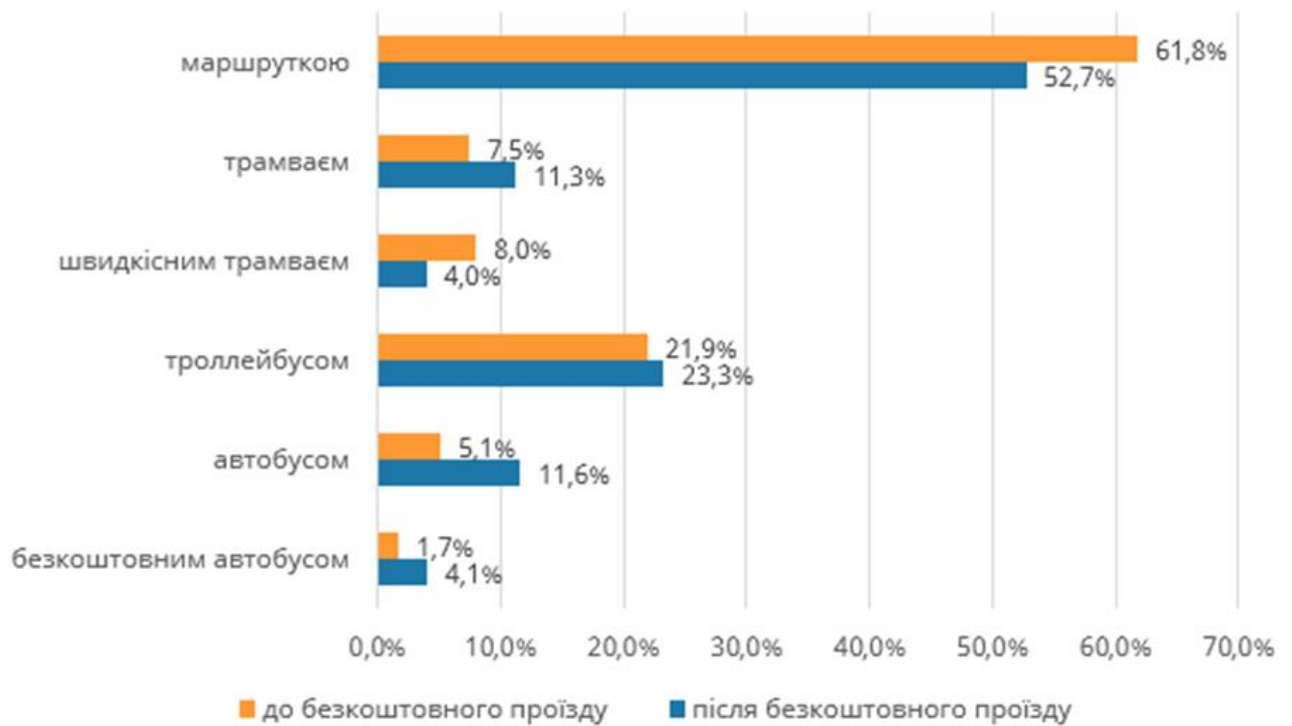


Рис.2.11. Переміщення громадським транспортом

Розподіл режимів на транспорті показаний на рис.2.12. На громадський транспорт приходиться 59% всіх поїздок, 24% мешканців переміщуються пішки, 13% – на легковому автомобілі. Всі інші режими (велосипед, таксі, мотоцикл) займають 1-2% від кількості поїздок.

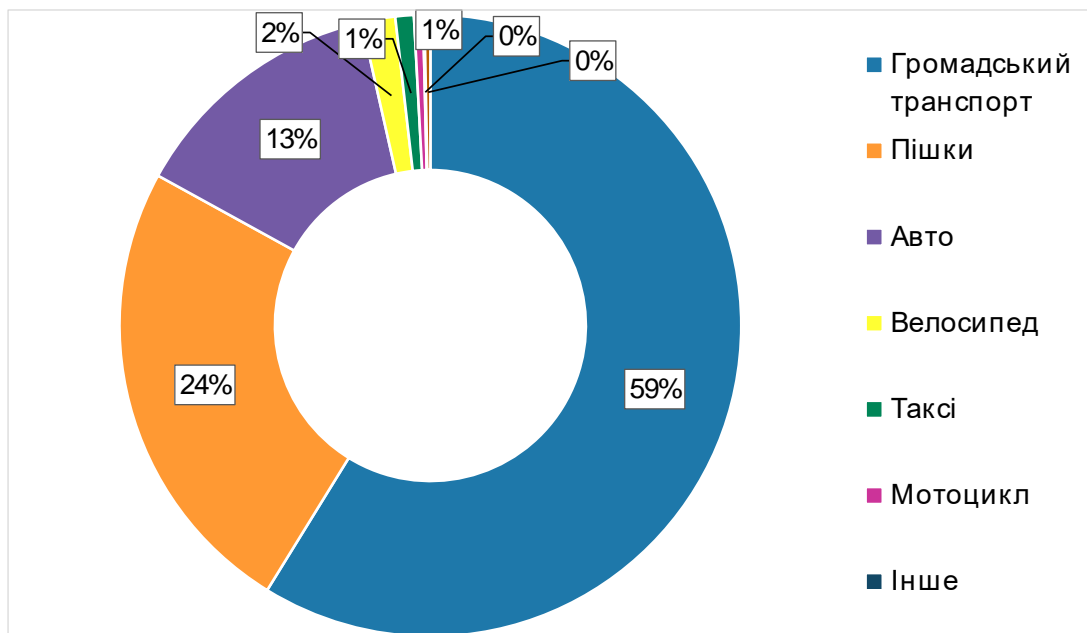


Рис.2.12. Розподіл режимів на транспорті

Таким чином, перевага при створенні МaaS для Кривого Рогу має віддаватись додаткам, які дозволяють користувачам планувати переміщення на громадському транспорті (типу «Зручний маршрут»). Важливість роботи інших служб, які надають послуги транспорту (таксі або шерінг), особливо актуальна для роботи транспорту у віддалених районів міста та для поїздок у неробочий час (ранкова та вечірня година).

Після 20:00 робота громадського транспорту втрачає ритмічність, інтервали руху подовжуються, а не деяких маршрутах робота припиняється. Це спонукає мешканців міста обирати альтернативні режими транспорту і значну роль у цьому відіграє таксі. При цьому доля індивідуального транспорту у розподілі режимів становить лише 13%, що також впливає на необхідність опрацювання можливостей МaaS для забезпечення сталості та ефективності громадського транспорту. У разі чіткого розуміння транспортної пропозиції та надання актуальних даних по роботі громадського транспорту користувачі мережі міста можуть заздалегідь планувати свої переміщення у зручний час доби, що підтримуватиме попит на громадський транспорт. Інакше, навіть у разі

забезпечення безперебійної роботи громадського транспорту без належного інформування користувачів у режимі реального часу, попит на маршрути може зменшуватись, а на деякі маршрути зникнути.

2.3. Оцінка трансформації попиту на громадський транспорт під час війни

Оцінка пасажиропотоків на маршрутах громадського транспорту до та після змін у мережі пасажирського транспорту за період воєнного часу (з 2022 до 2024 рр.) проводилась окремо від результатів опитування за результатами транспортного моделювання у програмному забезпеченні PTV Visum [55].

За даний період на маршрутах громадського транспорту виникли певні зміни:

- Нові розклади руху на громадському транспорті (для комунального транспорту) та інтервали руху (для ГТ приватних перевізників)
- Введення нового маршруту автобусу №8 (рис.2.13);
- Виключення маршрутів у моделі, які більше не експлуатуються.

На маршрутах комунальних автобусів у порівнянні з 2021 роком, спостерігається значне збільшення обсягів перевезень за рахунок маршрутів 1, 1а та 8 (ділянці пл. О. Поля – 129 кв. від 1876 до 3133 пас./доба в одну сторону).

На тролейбусних маршрутах (рис.2.14)– збільшення обсягів перевезень на всіх маршрутах, окрім маршруту 16. За обсягом перевезень більше 10 тис. пас./доба переважають маршрути під номерами 3, 10, 20, 23. Найбільш завантажена ділянка – пл. Горького – пр.200-річчя Перемоги.

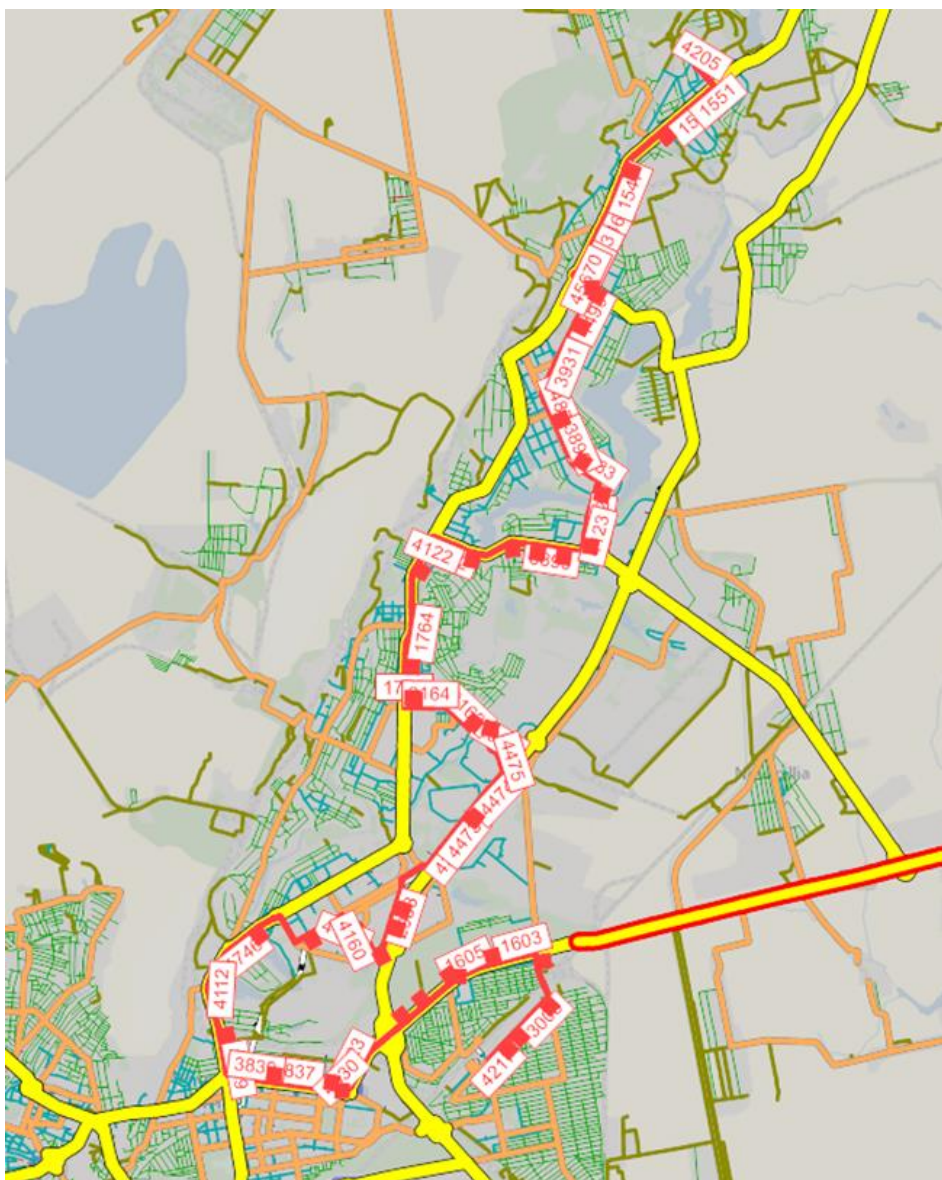


Рис.2.13. Траса маршруту автобусу №8

На маршрутах трамваю (рис.2.15) спостерігається суттєве збільшення обсягів перевезень на всіх маршрутах, окрім маршруту 22 (скорочення пасажиропотоку на 18%). За обсягами перевезень переважають маршрути під номерами 2 (18 тис.пас./доба), 9 (10 тис.пас./доба) та 14 (8 тис.пас./доба). Найбільш завантаженою ділянкою є ділянка між вул. Українська – площа Домнобудівників.

Маршрути швидкісного трамваю (рис.2.16) характеризуються зменшенням обсягів перевезень: на маршруті під номером 1м – на 170%, на маршруті № 2м –

300%, 4м – 93%. Ділянкою мережі із найбільшим обсягом пасажиропотоків є «станція Кільцева – станція Друга міська лікарня».

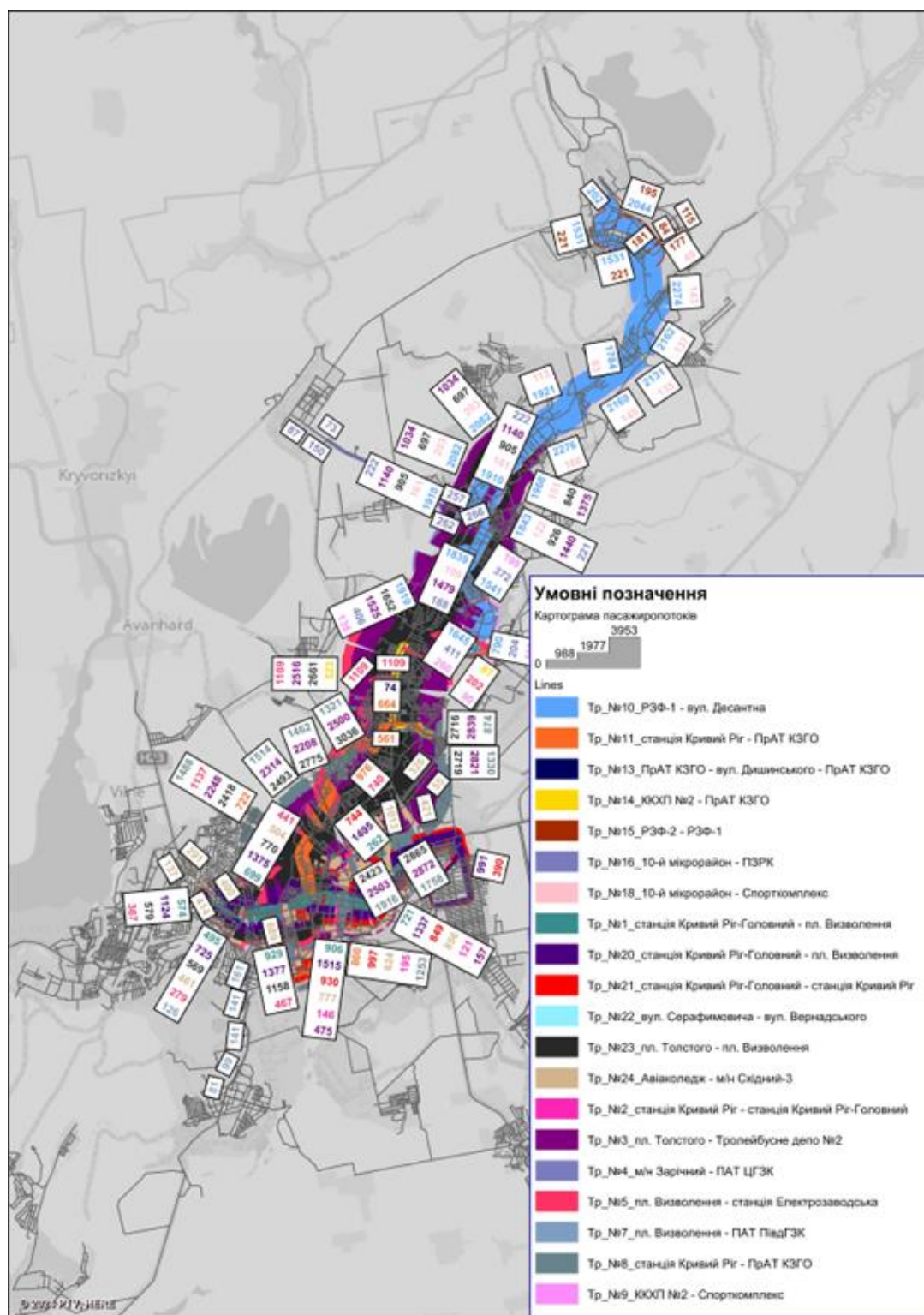


Рис.2.14. Картограма пасажиропотоків для маршрутів тролейбусів на 2024

р.

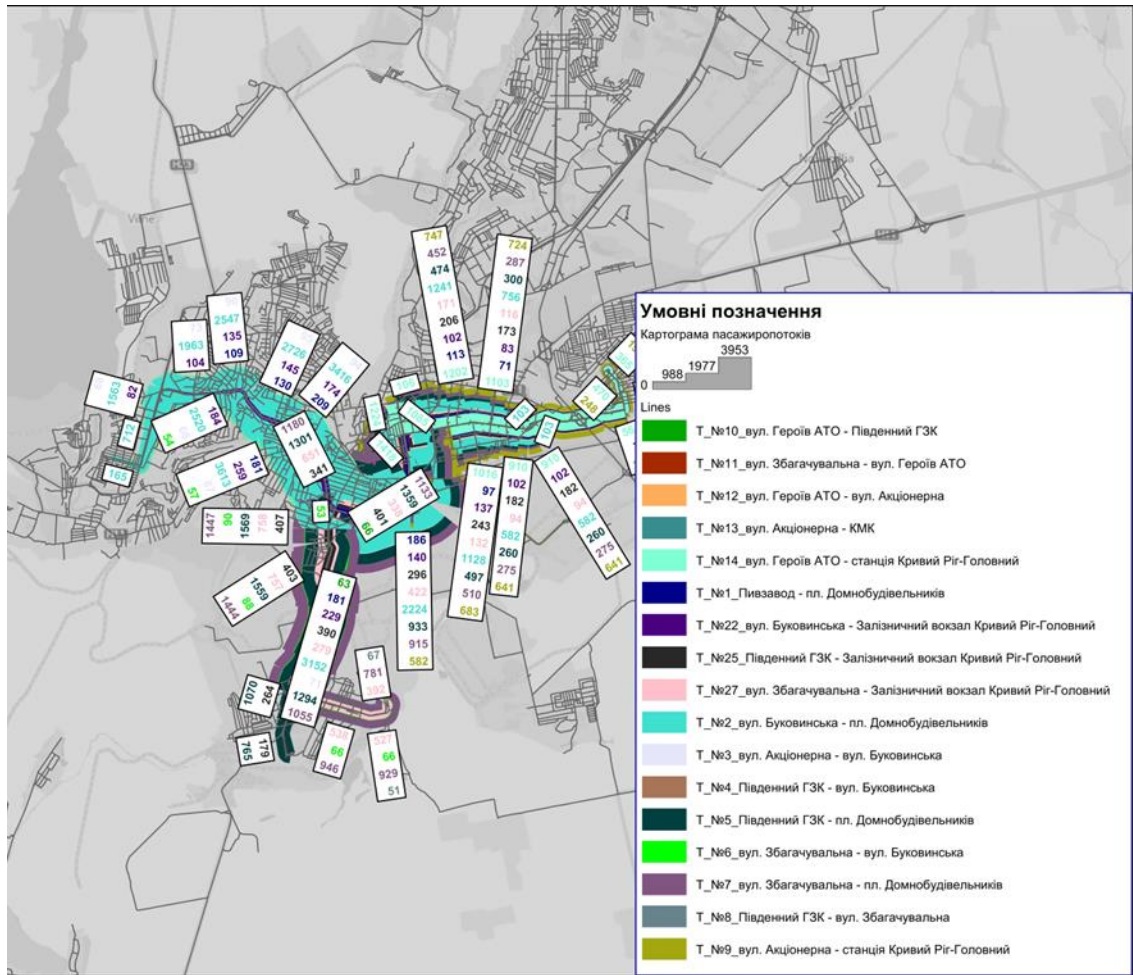


Рис.2.15. Картограма пасажиропотоків для маршрутів трамваїв на 2024 р.

Аналіз отриманих картограм обсягів пасажирських перевезень (рис.2.17) на маршрутах приватних автобусних перевізників є збільшення обсягів перевезень, що має вплив на мережу, тільки для маршрутів №210, 240, 261.

Трансформація мережі пасажирського транспорту відбулась таким чином, що на комунальних автобусних маршрутах обсяги перевезених пасажирів збільшились на 240%, тролейбусних маршрутах – 102%, трамваю – 101%. Пасажиропотоки на маршрутах швидкісного трамваю зменшились на 58%, маршрутного таксі – на 28%.

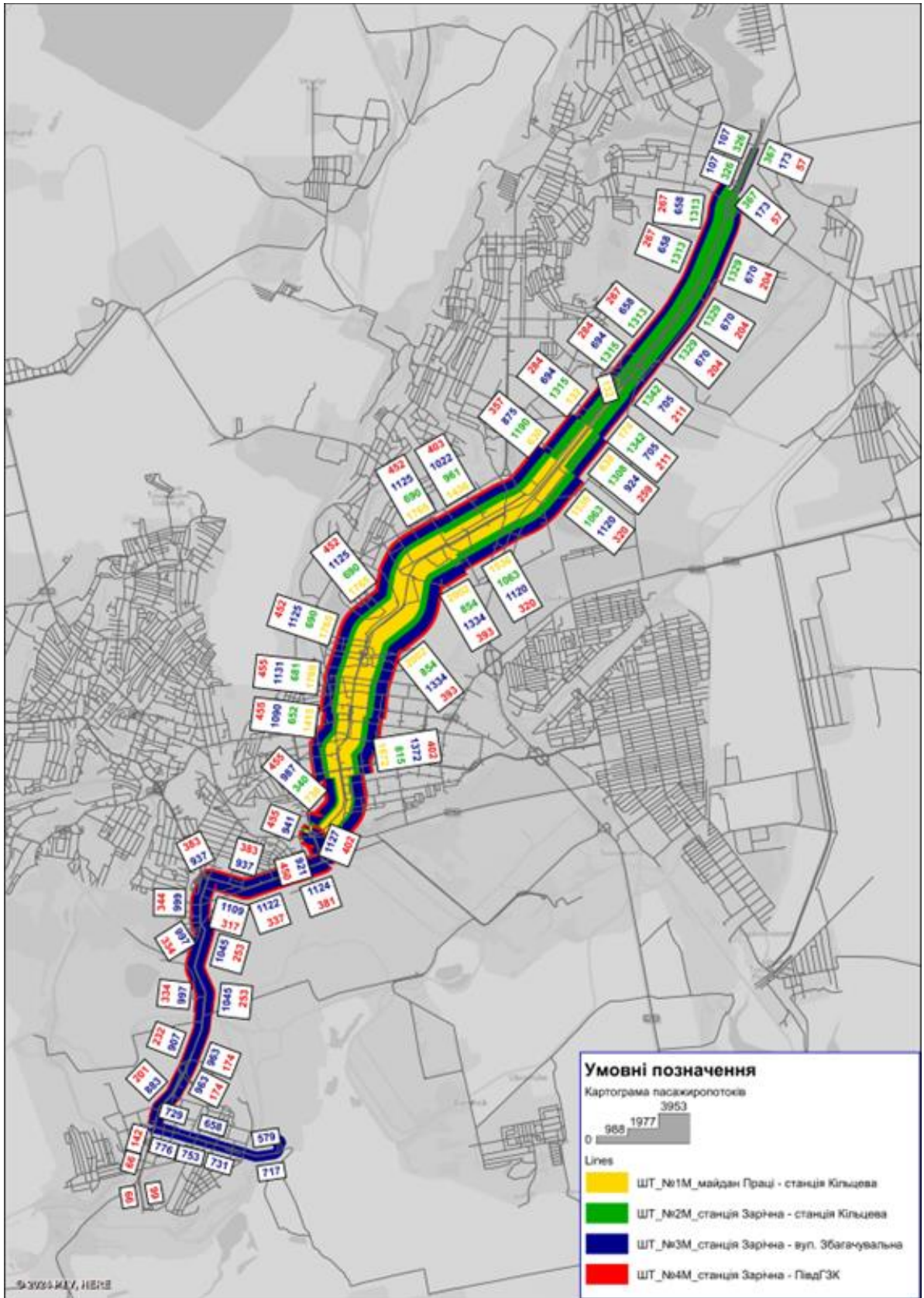


Рис.2.16. Картограма пасажиропотоків для маршрутів швидкісних трамваїв на 2024 р.

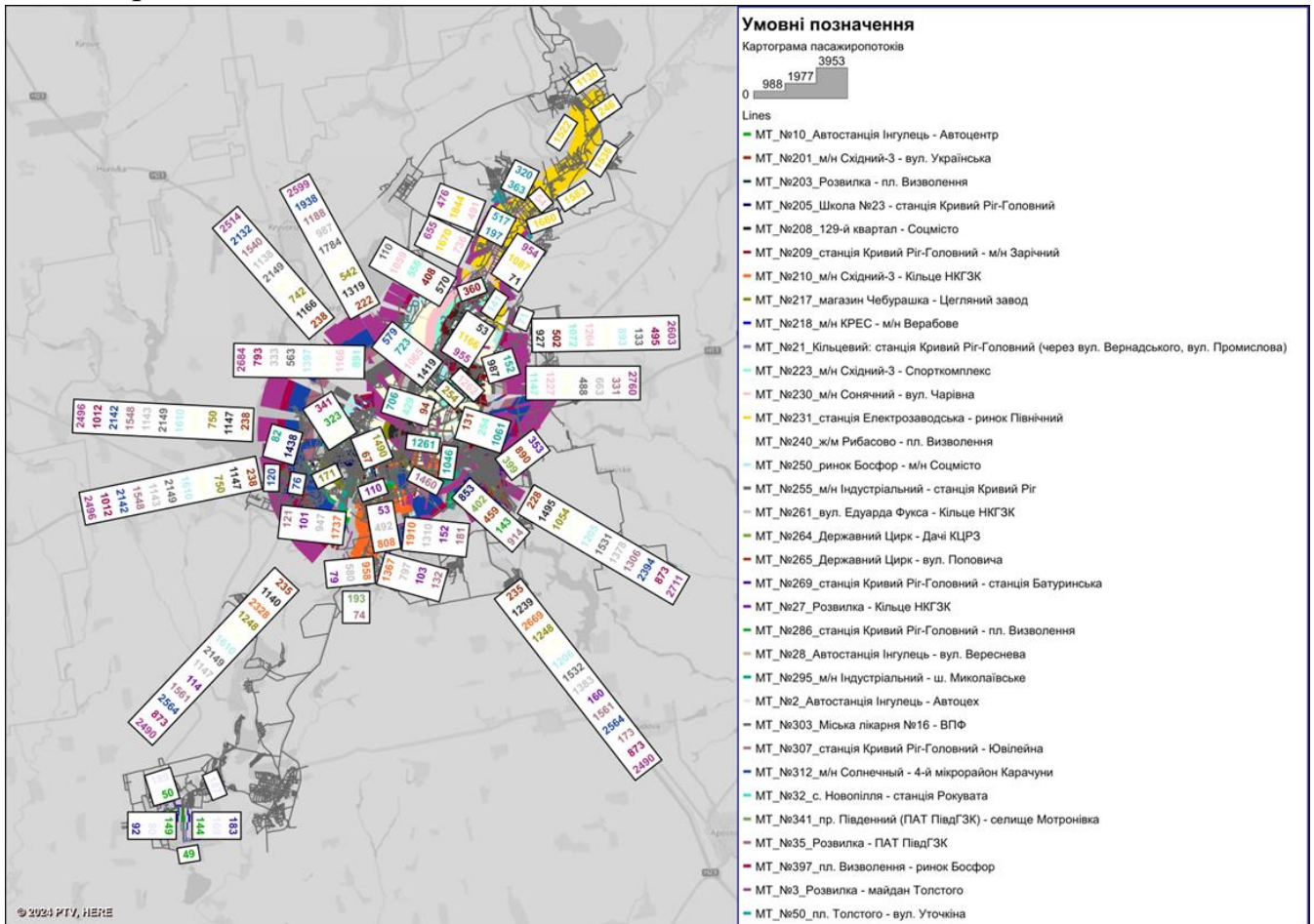


Рис.2.17. Картограма пасажиропотоків для маршрутів автобусів приватних перевізників на 2024 р.

Доступність громадського транспорту в вечірні години значно зменшилась, особливо на маршрутах приватних перевізників. Це явище обумовлене кількома факторами, зокрема, збільшенням вартості пального, що веде до зростання собівартості перевезень, мобілізацією водіїв громадського транспорту до збройних сил, а також частим небажанням водіїв працювати в вечірній час.

На рис.2.18 показано ізохорна доступності транспортного району на житловому масиві «Карачуни» до центральної частини міста. Наприклад, до Соцміста доступність району становить 50 хвилин.

Схожа ситуація з транспортною доступністю характерна і для інших районів міста.

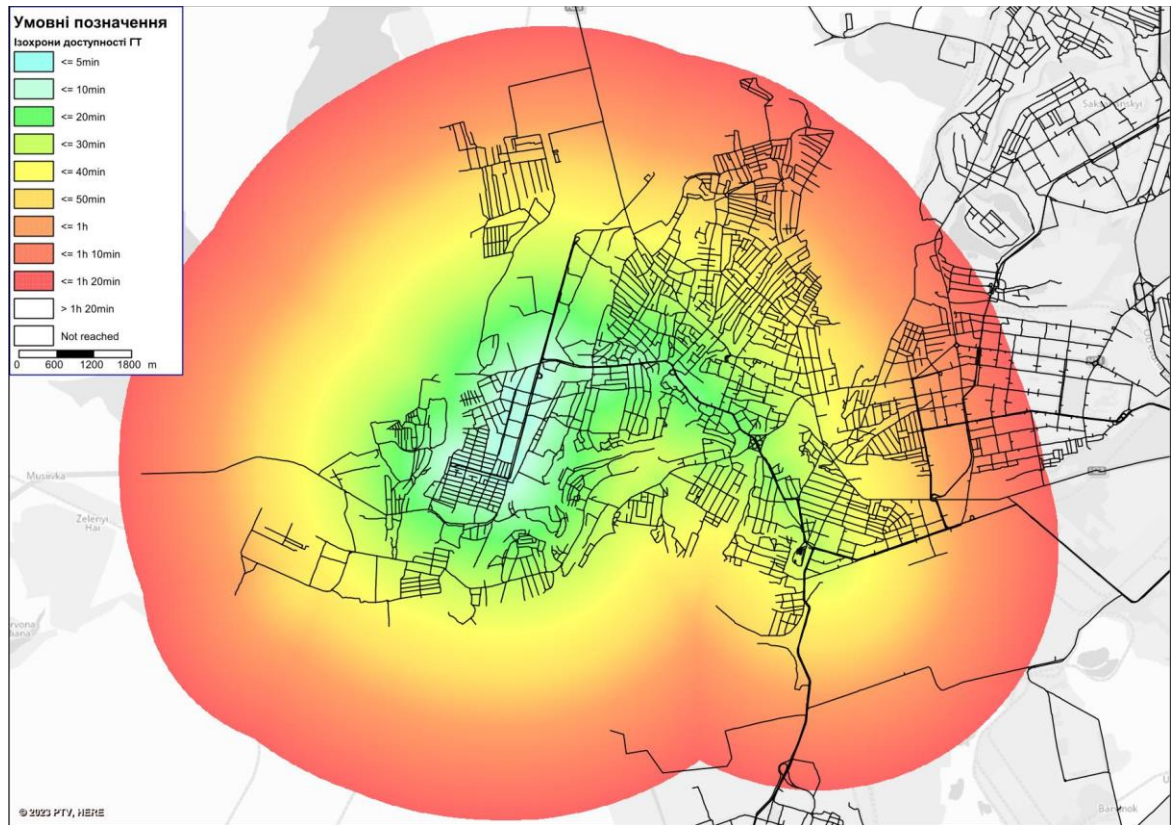


Рис.2.18. Транспортна доступність житлового району «Карачуни» до центральної частини міста

Розробка концепції МaaS для Кривого Рогу в умовах воєнного стану потребує гнучкого підходу, адаптації до нових реалій і на основі проведеного детального аналізу поточних змін у попиті на громадський транспорт. Врахування всіх цих факторів допоможе створити ефективну та стійку систему транспортного обслуговування, яка відповідатиме потребам мешканців і підтримуватиме соціально-економічний розвиток міста.

2.4. Висновки до розділу 2

1. Для глибокого розуміння потреб і проблем, з якими стикаються мешканці Кривого Рогу при користуванні транспортною системою, проведені соціологічні опитування, які дозволили зібрати дані про повсякденні переміщення містом, а також оцінити, які проблеми, труднощі і позитивні аспекти існуючої транспортної інфраструктури впливають на життя громадян. Відповідно до результатів опитувань, 59% усіх поїздок у місті здійснюються за допомогою громадського транспорту. Прогнозується, що 24% населення користується пішохідними маршрутами, тоді як 13% пересувається на легкових автомобілях. Інші види транспортних засобів, такі як велосипеди, таксі та мотоцикли, складають від 1% до 2% від загальної кількості поїздок. Розподіл попиту на режимі громадського транспорту виглядає таким чином: маршрутні таксі – 53% від всього обсягу перевезень на громадському транспорті, тролейбус – 22%, трамвай – 7,5%, автобус – 5,1%, швидкісний трамвай – 8%.

2. Розробка концепції Mobility as a Service для Кривого Рогу вимагає ретельного врахування змін у попиті на громадський транспорт, які сталися під час воєнного стану. Ось кілька ключових аспектів, які слід врахувати:

1. Аналіз змін у попиті на громадський транспорт.

Зміни в мережі пасажирського транспорту призвели до суттєвого збільшення обсягів перевезень на комунальних автобусних маршрутах, які зросли на 240%. Обсяги перевезень на тролейбусних маршрутах підвищились на 102%, а на трамвайних маршрутах – на 101%. Водночас, пасажиропотоки на маршрутах швидкісного трамваю зменшились на 58%, а на маршрутному таксі – на 28%.

2. Оцінка інфраструктури та ресурсів.

Цивільна інфраструктура міста зазнала значних пошкоджень внаслідок інтенсивних обстрілів України. Проте стан доріг, зупинок громадського транспорту навіть дещо покращився після проведених ремонтних робіт (наприклад, по вулиці Кобилянського). Зміни стану інфраструктури вулично-дорожньої мережі у цілому несуттєві, та не мали значного впливу на переорієнтацію попиту на громадський та індивідуальний транспорт.

Вимоги до безпеки рухомого складу громадського транспорту залишились на довоєнному рівні. Доступність громадського транспорту у вечірній час доби зменшилась, особливо на маршрутах приватних перевізників. Це було спричинено кількома факторами, у тому числі, підвищенням вартості пального, тобто собівартості перевезень, мобілізацією водіїв у збройні сили, небажанням водіїв працювати у вечірню годину доби.

Для маршрутів тролейбусів характерна неузгодженість розкладів руху, яке спричиняє одночасне проходження зупинки кількома маршрутами (що відповідає їх розкладу) та одночасний рух на ділянці дублювання. У «розривах» розкладу доступність даного режиму громадського транспорту значно знижена.

3. Врахування соціально-економічних змін.

У місті з 2021 року працює програма безоплатного проїзду на комунальному громадському транспорті. Воєнний стан сильно впливає на економічне становище населення, зокрема на можливість фінансових витрат на проїзд. Це необхідно враховувати при розробці тарифної політики, у тому числі, у разі запровадження оплати проїзду.

Очікується, що МaaS може допомогти у забезпеченні доступності транспорту для всіх верств населення в умовах нових реалій.

4. Інтеграція нових технологій та рішень

У 2023 році впроваджено цифрову платформу для зручності користувачів громадського транспорту, мобільний додаток «Зручний маршрут» для планування поїздки та отримання інформації про розклад та затримки.

Екологічний аспект (зменшення викидів у повітря) може бути врахований при оптимізації маршрутів громадського транспорту.

5. Комунікація та зворотний зв'язок

Громадяни залучаються до процесу планування і збору відгуків про їхні потреби та проблеми на громадському транспорті через систему петицій та соціальні мережі.

Можлива розробка плану дій для швидкого реагування на можливі надзвичайні ситуації, які можуть вплинути на транспортну інфраструктуру або попит на транспортні послуги.

6. Фінансування та стійкість.

Для реалізації концепції МaaS, враховуючи можливі зміни в бюджеті міста або держави, необхідне визначення джерел фінансування та оцінка довгострокової стійкості запропонованих рішень і їх здатність адаптуватися до можливих майбутніх змін або криз.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБЛЕННЯ КОНЦЕПЦІЇ МААС ДЛЯ МІСТА КРИВИЙ РІГ

3.1. Концепція інтелектуальної транспортної системи

Концепція МaaS має бути частиною єдиної інтелектуальної транспортної системи міста. Запланована інтелектуальна транспортна система (ІТС) для м. Кривий Ріг передбачається як централізована, з включенням центрального пункту управління дорожнім рухом. Система буде використовувати лінії зв'язку для інтеграції світлофорів з центральним пунктом управління, а також інформаційну систему для моніторингу дорожнього руху на вулично-шляховій мережі міста. Додатково передбачено периферійне обладнання для зворотного зв'язку та відстеження стану дорожнього руху, а також обладнання для реалізації керуючих впливів (див. рис. 3.1).

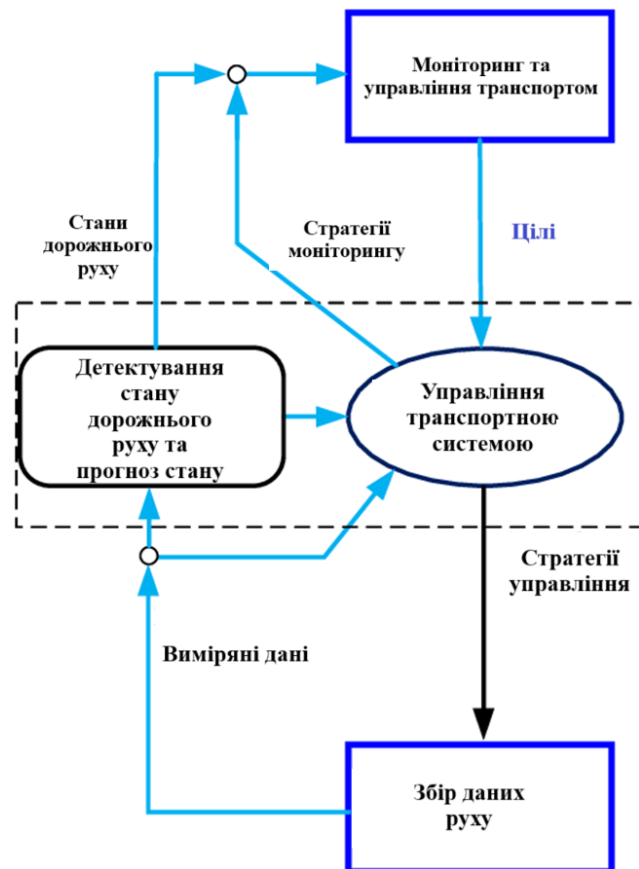


Рис.3.1. Схема інтелектуальної транспортної системи

Схема архітектури інтелектуальної транспортної системи (ІТС) відображає розподіл функцій обчислення, керування та обладнання системи. Комплект обладнання включає сервери, комунікаційне обладнання, локальну мережу та периферійне обладнання, як у центральному пункті керування дорожнім рухом, так і на місцях. Інформаційна система охоплює електронні табло, камери для розпізнавання номерних знаків, CCTV камери, метеостанцію, пристрої звукового оповіщення для дублювання роботи світлофорів і комплекс вагового контролю вантажних автомобілів.

База даних системи зберігається на серверах і завантажується до головного контролера, а потім до локальних контролерів для окремих ділянок вулично-дорожньої мережі (перехрестя).

Ефективне управління дорожнім рухом вимагає взаємозв'язку між компонентами ІТС через дротові або бездротові методи передачі інформації, а також забезпечення безперебійної роботи протягом доби і можливості вибору оператором (особою, яка приймає рішення) відповідних програм для світлосигнальних пристроїв. Для реалізації цих функцій у місті можуть бути розглянуті такі архітектурні варіанти (конкретний вибір залежить від цільової програми покращення організації та безпеки дорожнього руху):

- Система замкнутого циклу (трирівнева архітектура розподіленого обчислення);
- Дворівнева архітектура розподіленого обчислення;
- Архітектура централізованого керування.

При впровадженні архітектури замкнутого циклу в інтелектуальній транспортній системі використовуються головний контролер, який може бути розташований як на місці, так і в ситуаційному центрі. Головний контролер виконує роль центрального вузла для розподілу інформації з ситуаційного центру по комунікаційних каналах до кожного локального дорожнього контролера, розміщеного на перехрестях. Окрім того, головний контролер збирає дані з

локальних контролерів, формуючи інформаційний потік, який потім передається назад до ситуаційного центру.

Локальний дорожній контролер, розташований на перехресті, здійснює управління світлофорами. Він містить бібліотеку програм регулювання дорожнього руху, з яких вибирається відповідна програма для реалізації. Інформація для вибору програми надходить з польового головного контролера, а також із ситуаційного центру.

Для контролю часу доби використовуються програми, які завантажуються з ситуаційного центру і зберігаються в локальному контролері на перехресті. Ці програми забезпечують регулювання світлофорів відповідно до змін у часі доби, що дозволяє ефективно управляти дорожнім рухом протягом дня і ночі.

Локальний дорожній контролер на перехресті здійснює попередню обробку даних, отриманих від системного детектора. Ці дані, що відображають рівень транспортного навантаження, періодично завантажуються на вищі рівні системи з інтервалами, які можуть варіюватися від кількох секунд до однієї хвилини. На основі інформації, що надходить від локальних детекторів, локальний контролер відповідно коригує фази регулювання світлофору, забезпечуючи їх адаптацію до актуальних умов дорожнього руху.

Функції дворівневої архітектури розподіленого обчислення аналогічні тим, що визначені для архітектури трьох рівнів розподіленого обчислення, яка була розглянута раніше. Однак у цій архітектурі всі функції, які виконуються польовим головним контролером, реалізуються через комплект обладнання, розташований в ситуаційному центрі. Функції локального польового контролера залишаються без змін. Дворівневі системи часто постачаються програмними забезпеченням для систем управління дорожнім рухом.

В архітектурі централізованого керування всі обчислювальні функції, які виконуються в раніше описаних архітектурах, зосереджені в ситуаційному центрі. Окрім цих функцій, ситуаційний центр виконує ряд додаткових основних завдань:

- Обробляє та згладжує дані, отримані від системного детектора.
- Використовує ці дані для вибору програм світлофорного регулювання на основі адаптивного контролю.
- Перетворює обрану програму регулювання в команди координації для контролера і надсилає ці команди польовому контролеру в точно визначений час в циклі керування сигналами світлофора.

Для забезпечення зв'язку між ситуаційним центром та контролером на перехресті може бути використаний блок дистанційного зв'язку або, у деяких випадках, інтелектуальний блок дистанційного зв'язку. Функції обробки інформації в цьому блоці зазвичай є мінімальними. Основна роль такого блоку полягає в узгодженні інтерфейсів і протоколів, що використовуються польовим контролером, з тими, що застосовуються для зв'язку із ситуаційним центром.

Оскільки дана архітектура здійснює централізоване управління фазами світлофорного регулювання безпосередньо з ситуаційного центру, вона сприяє спрощенню впровадження стратегій регулювання, які не потребують використання попередньо збережених програм.

3.2. Концепція МааS

3.2.1. Описання МааS-додатку

Цифровим інструментом для доступу до набору послуг мобільності в демонстраційній програмі в Кривому Розі може бути єдиний мобільний додаток МааS для Android та iOS (далі Додаток), який призначений для зареєстрованих користувачів: після реєстрації потрібно увійти в систему для отримання доступу до цифрових послуг.

Після входу в Додаток користувачі матимуть два варіанти для придбання послуг мобільності.

Придбання пакету мобільності. У цьому випадку послуги на транспорт (для приватних перевізників) будуть заздалегідь визначені постачальниками транспортних послуг.

Замовлення поїздки, ввівши пункт відправлення/призначення та бажаний час відправлення та/або прибуття. Додаток повертає список можливих поїздок та альтернативних видів транспорту або комбінації видів транспорту.

На цьому етапі, який називається етапом покупок, користувач може виконувати різні дії. Він може почати навігацію, поділитися конкретною поїздкою з іншими користувачами, забронювати поїздку або її частину за наявності вільних місць і придбати квиток (на маршрутах приватних перевізників). Для потреб пілотного проєкту МaaS після завершення фінансової транзакції цифровий квиток (тобто квиток з QR-кодом), що відповідає обраній поїздки, завантажується в додаток, і користувач використовує його для подорожі. Процедури планування, бронювання та придбання квитків є основними складовими послуги МaaS, тому вони потребують значної інтеграції з існуючими місцевими системами постачальників транспортних послуг.

Нарешті, на етапі поїздки користувач має доступ до ряду функцій у Додатку, таких як сповіщення про подорож, повідомлення та інформаційно-роз'яснювальні функції, пов'язані з місцезнаходженням. Всі маршрути організовані в Додатку, і користувач може переглядати їх і вносити зміни. Зручність Додатку полягає у постійному супроводі поїздки, як на етапі підготовки, так і під час поїздки, незалежно від того, чи є поїздка інтермодальною чи одномодальною.

3.2.2. Функціонал МaaS-додатку

Основна увага зосереджена на впровадженні «пакетів мобільності», які представляють собою комбінацію тарифних продуктів різних постачальників

транспортних послуг, об'єднаних в єдиний продукт для кінцевого споживача. Передбачається створення єдиного пакету мобільності, що може включати тарифні продукти від усіх постачальників. Це можуть бути квиткові картки, певна кількість поїздок на таксі та/або необмежений прокат велосипедів протягом тижня. Перевага пакету мобільності полягає в тому, що продукти для оплати проїзду можуть бути запропоновані за зниженою ціною при купівлі в рамках пакету.

Постачальники (провайдери) повинні зареєструватися на спеціальному сайті «Бізнес для бізнесу» (B2B) та завантажити тарифні продукти, які їх цікавлять для включення в пакет мобільності. Після цього один з перевізників або третя сторона (оператор MaaS) укладає двосторонні контракти з іншими перевізниками, підтверджуючи готовність включити свої тарифні продукти до пакету мобільності. Після завершення цієї процедури кінцевий споживач зможе придбати пакет мобільності через Додаток.

Ключовим викликом для впровадження Додатку у Кривому Розі є об'єднання різних організаційних парадигм, існуючих операційних систем і платформ, деякі з яких є застарілими, а також моделей даних, які вже використовуються в практиці постачальників.

У цьому контексті розробники та організатор MaaS сприяють та координують інтеграцію окремих систем в єдиний пакет мобільності наступними способами:

- Розробка пакету мобільності. Організатор MaaS аналізує існуючі пропозиції тарифних продуктів та їх обмеження, розробляє нові продукти, якщо це необхідно (наприклад, для таксі), та пропонує пакети продуктів, які впроваджуються і оцінюються в рамках «пакетів мобільності».
- Планувальник поїздок. Організатор MaaS агрегує дані про мережу і послуги з різних джерел, додає бізнес-логіку, де це доречно (наприклад, шляхом

визначення зон обслуговування за видами транспорту), розробляє механізм розрахунку тарифів і надає інтегрований планувальник поїздок.

- Видача QR-кодів. Організатор MaaS налаштовує сервер для видачі QR-кодів. Дана система видає QR-код, який може бути токеном для бронювання таксі або електронним ваучером для інших видів транспорту, який користувач може обміняти на продукти для оплати проїзду в інших формах (наприклад, для громадського транспорту електронний ваучер можна обміняти на квитки на основі смарт-карток).

- Бронювання таксі. Організатор MaaS встановлює механізм бронювання, який служить проміжною ланкою між Додатком та існуючим диспетчерським центром таксі або платформою для бронювання таксі.

3.3. Виклики до впровадження MaaS

Попередні дослідження, наведені у першому розділі даної роботи, визначили бар'єри впровадження MaaS та підкреслили їх взаємозв'язок. Найбільш критичними з них є проблеми, пов'язані з даними, складність транспортної інтеграції та планування різних видів транспорту. Брак знань і досвіду посилює існуючу невизначеність щодо ролей та обов'язків в екосистемі MaaS.

Проблеми з управлінням системою MaaS були відзначені міською владою, яка намагається децентралізувати транспортні послуги з центру міста, щоб ефективно просувати інтермодальність для мешканців периферійних районів. Бар'єри або фактори, що перешкоджають розвитку MaaS, зазвичай пов'язані з наступними аспектами:

- Інфраструктура: проблеми з електронними квитками.
- Жорсткі інституції: питання регулювання тарифів на громадський транспорт та стандартизації протоколів API.

- М'які інституції: відкриті API, культура володіння автомобілем, довіра між операторами та між державним і приватним секторами.
- Можливості: необхідність в транспортних інвестиціях, як державних, так і приватних.

МааS в Кривому Розі може стикнутись із проблемами на технологічному, правовому та організаційному рівнях.

Постачальник послуг громадського транспорту наразі не передбачає можливості бронювання.

Для громадського транспорту використовуються безконтактні квитки на основі карток, які можна замовити через Центр надання адміністративних послуг (картка Криворіжця). Щодо інтеграції цієї системи у Додаток, існує низька технічних та адміністративних проблем. Як альтернативне рішення можна розглянути таке: якщо буде введена можливість придбання електронного квитка на громадський транспорт приватних перевізників, користувач може використовувати Додаток для генерації ваучера з QR-кодом, який можна буде обміняти на поїздку.

Існуюча картка громадського транспорту (тобто транспортна картка Криворіжця) та система продажу квитків не можуть бути безпосередньо інтегровані в Додаток через юридичні, договірні та практичні причини.

Система бронювання самокатів використовує метод оплати через поповнення електронного гаманця або єдино разовий платіж за час поїздки, що ускладнює її безпосередню інтеграцію з Додатком, який підтримує стандартну схему продажу квитків на громадський транспорт. Користувач зможе придбати квиток або купон на самокат через Додаток, але фактичне бронювання, оплата та розблокування самокату здійснюватимуться через відповідний додаток (Volt наприклад).

У випадку служби таксі, процес включає генерацію токена або QR-коду при бронюванні через Додаток. Користувач пред'являє цей код водієві таксі.

3.4. Тестування MaaS-додатку

Найбільш близьким до екосистеми MaaS програмним продуктом, який використовується у Кривому Розі, є додаток «Зручний маршрут». Для виявлення переваг та недоліків цього додатку проведено польове тестування його роботи.

Перевірено відстеження місцезнаходження транспортного засобу на маршруті тролейбусу «До автовокзалу» від зупинки «вул. Балхарська» до зупинки «Університетський проспект» у додатку «Зручний маршрут». Розбіжностей в актуальному місцезнаходженні транспортного засобу та його геолокації у додатку при переміщенні не виявлено. Однак на кінцевій зупинці геолокація короткий час відображалась некоректно, що показано на останньому скріншоті (рис.3.2).

Карта

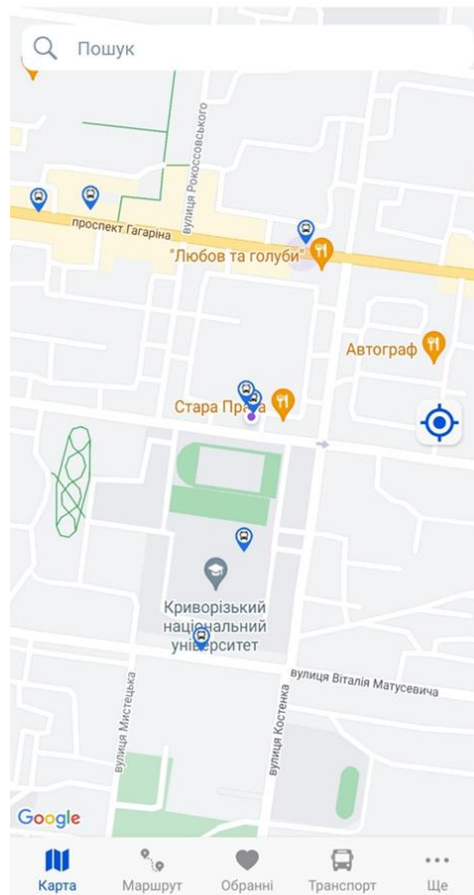


Рис.3.2. Некоректне відображення геолокації у додатку «Зручний маршрут»

Після тестування додатку «Зручний маршрут» виявлено такі слабкі сторони у частині відображення зупинок громадського транспорту:

- 1) Відсутнє позначення зупинки у вигляді ярлика для вибору;
- 2) Кількість зупинок не збігається із кількістю ярликів для них;
- 3) Розташування ярлика зупинки не відповідає розташуванню зупинки.
- 4) Мимовільне переміщення ярлика зупинки на карті

Приклади для першої групи слабких сторін наведені на скріншотах програми на рис.3.3, для другої групи сторін – на рис.3.4, для третьої групи сторін – на рис.3.5.

Виявлені слабкі сторони додатку говорять про необхідність його доопрацювання розробниками.

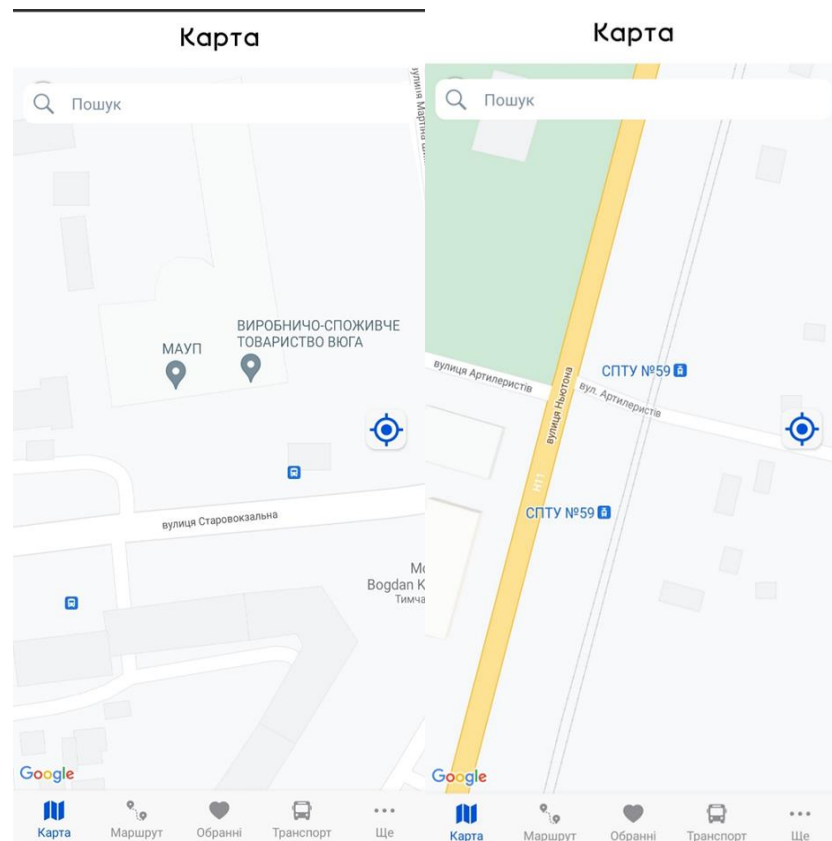


Рис.3.3. Приклади, коли позначення зупинки у вигляді ярлика для вибору відсутнє

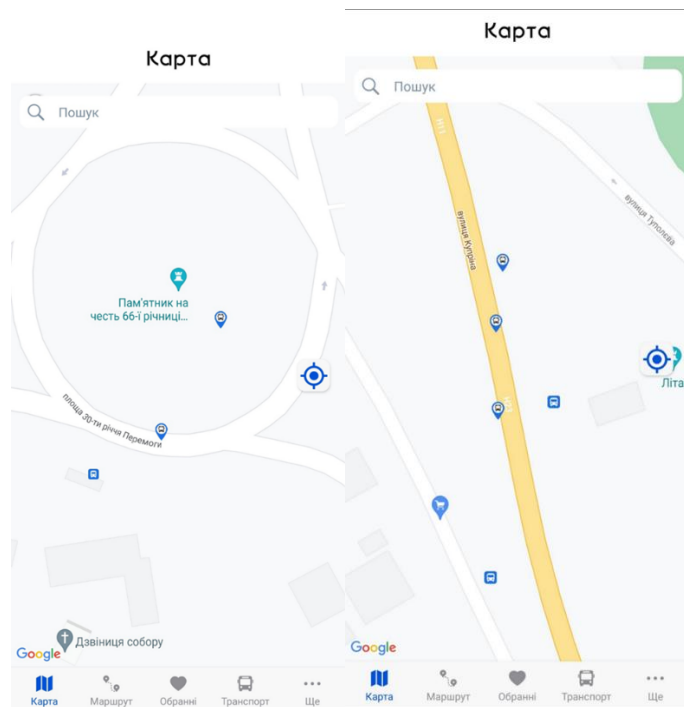


Рис.3.4. Приклади, коли кількість зупинок на карті у додатку не збігається із кількістю призначених для них ярликів

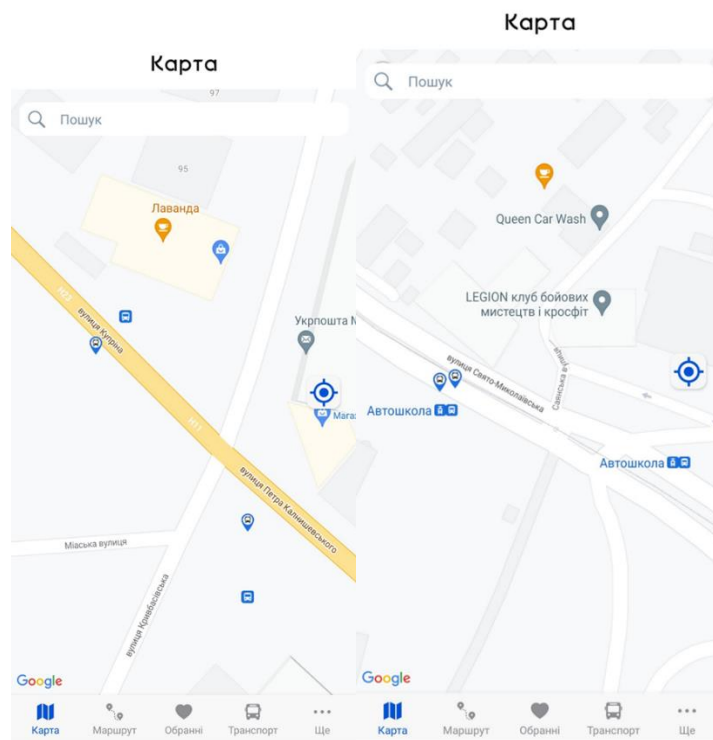


Рис.3.5. Приклади, коли розташування ярлика зупинки не відповідає розташуванню зупинки

3.5. Висновки до розділу 3

У даному розділі виконано аналіз перспектив застосування інтелектуальної транспортної системи для управління дорожнім рухом у місті Кривий Ріг як частини майбутньої екосистеми МaaS.

Визначені основні функціональні можливості МaaS для розгортання у місті Кривий Ріг: придбання користувачами пакетів мобільності, можливість бронювання таксі, планування поїздок.

Також розглянуті виклики, з якими стикається досліджувана технологія на технологічному, правовому та організаційному рівнях.

Для планування поїздок на громадському транспорті з 2023 року у Кривому Розі використовується спеціально розроблений додаток «Зручний маршрут». Проведено тестування додатку в реальних умовах, та визначені основні слабкі його сторони: некоректне відображення зупинок громадського транспорту, відсутність ярлика для позначення зупинки на карті, некоректне відображення геолокації у спокої.

ВИСНОВКИ

У роботі виконано аналіз можливостей «Мобільності як послуги (MaaS)» при трансформації системи транспорту у місті Кривий Ріг під час воєнного стану.

1. Визначені основні переваги концепції MaaS (Mobility as a Service), такі як зручність, ефективність, екологічність, гнучкість, покращення доступності, зменшення навантаження на інфраструктуру, нові дані для планування. Перешкодами для впровадження MaaS в Україні є руйнування інфраструктури під час війни, фінансові обмеження, нестабільність і ризики, зміни в попиті на транспорт, проблеми з технологіями, складнощі з координацією, інформаційна безпека, недосконалість правової бази. Хоча впровадження цифрових технологій у транспорті триває, реалізація MaaS ще не відбулась.

2. На основі соціологічних опитувань серед мешканців міста Кривий Ріг встановлено, що 59% усіх поїздок у місті здійснюється громадським транспортом. Очікується, що 24% населення користується пішохідними маршрутами, 13% пересувається на легкових автомобілях, а інші види транспорту, такі як велосипеди, таксі та мотоцикли, складають від 1% до 2% загальної кількості поїздок.

3. За допомогою транспортного моделювання у програмному забезпеченні PTV Visum, встановлено, що зміни в мережі пасажирського транспорту у місті Кривий Ріг за 2021 – 2024 рік призвели до суттєвого зростання перевезень на комунальних автобусних маршрутах (+240%), тролейбусах (+102%) та трамваях (+101%). Натомість, попит на маршрути швидкісного трамваю зменшився на 58%, а на маршрутне таксі – на 28%.

4. Цивільна інфраструктура міста Кривий Ріг зазнала значних пошкоджень через обстріли. Проте, стан доріг і зупинок громадського транспорту трохи покращився після ремонтів. Загальний стан вулично-дорожньої мережі

незначно вплинув на переорієнтацію попиту. Безпека рухомого складу залишилась на довоєнному рівні, але доступність транспорту ввечері зменшилась.

5. Програма безоплатного проїзду для резидентів міста на комунальному транспорті, яка діє з 2021 року, стала важливою в умовах економічних труднощів через воєнний стан, що потрібно враховувати при розробці тарифної політики. Очікується, що МaaS може полегшити доступ до транспорту для всіх верств населення. У 2023 році запроваджено цифрову платформу та мобільний додаток «Зручний маршрут», що забезпечує планування поїздок і інформацію про розклад і затримки. Тестування даного додатку показало основні проблеми, які виникають при роботі з ним: некоректне відображення зупинок громадського транспорту, відсутність ярлика для позначення зупинки на карті та помилки у геолокації при відсутності руху.

6. Визначені основні функціональні можливості МaaS для Кривого Рогу включають: придбання пакетів мобільності, бронювання таксі та планування поїздок на громадському транспорті. Аналіз також виявив виклики, що виникають на технологічному, правовому та організаційному рівнях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Scott, D., & Gössling, S. (2021). Destination net-zero: what does the international energy agency roadmap mean for tourism? *Journal of Sustainable Tourism*, 30(1), 14-31.
2. IEA. (2020). *Tracking Transport*. Paris: International Energy Agency.
3. Lindkvist, H., & Melander, L. (2022). How sustainable are urban transport services? A comparison of MaaS and UCC. *Research in Transportation Business & Management*, 43, 100829.
4. Steg, L., & Gifford, R. (2005). Sustainable transportation and quality of life. *Journal of transport geography*, 13(1), 59-69.
5. Vakula, D., & Raviteja, B. (2017). Smart public transport for smart cities. 2017 International Conference on Intelligent Sustainable Systems (ICISS), 805-810.
6. AASHTO. (n.d.). Shared Mobility, Mobility on Demand & Mobility as a Service. American Association of State Highway and Transportation Officials. Retrieved 9 Oct, 2023 from <https://transportation.org/sharedmobility/>
7. Shaheen, S., & Cohen, A. (2020). Mobility on demand (MOD) and mobility as a service (MaaS): Early understanding of shared mobility impacts and public transit partnerships. In *Demand for emerging transportation systems* (pp. 37-59). Elsevier.
8. Guyader, H., Friman, M., & Olsson, L. E. (2021). Shared Mobility: Evolving Practices for Sustainability. In (Vol. 13, pp. 12148): MDPI.
9. Mitropoulos, L., Kortsari, A., Mizaras, V., & Ayfantopoulou, G. (2023). Mobility as a Service (MaaS) Planning and Implementation: Challenges and Lessons Learned. *Future Transportation*, 3(2), 498-518.
10. Becker, H., Balac, M., Ciari, F., & Axhausen, K. W. (2020). Assessing the welfare impacts of Shared Mobility and Mobility as a Service (MaaS). *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 131, 228-243.

11. Caiati, V., Feneri, A.-M., Jittrapirom, P., Rasouli, S., & Timmermans, H. J. (2020). An analysis of the potential adoption of Mobility as a Service across different age groups and lifestages: A mixed-methods approach. 8th Transport Research Arena, TRA 2020.
12. Guyader, H., Nansubuga, B., & Skill, K. (2021). Institutional logics at play in a mobility-as-a-service ecosystem. *Sustainability*, 13(15), 8285.
13. Banister, D. (2008). The sustainable mobility paradigm. *Transport policy*, 15(2), 73-80.
14. Goodwin, P., Cairns, S., Dargay, J., Hanly, M., Parkhurst, G., Stokes, G., & Vythoukcas, P. (2004). Changing travel behaviour.
15. Barreto, L., Amaral, A., & Baltazar, S. (2018). Urban mobility digitalization: towards mobility as a service (MaaS). 2018 International Conference on Intelligent Systems (IS)
16. Filippi, F. (2022). A paradigm shift for a transition to sustainable urban transport. *Sustainability*, 14(5), 2853.
17. Wong, Y. Z., Hensher, D. A., & Mulley, C. (2020). Mobility as a service (MaaS): Charting a future context. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 131, 5-19.
18. Ishizaka, A., Ikegaya, H., & Nishimura, H. (2022). Upgrading Approach for MaaS Level 4 Using UAF. 2022 IEEE International Symposium on Systems Engineering (ISSE), 1-8.
19. Bryans, J. W. (2017). The Internet of Automotive Things: vulnerabilities, risks and policy implications. *Journal of Cyber Policy*, 2(2), 185-194.
20. Alyavina, E., Nikitas, A., & Njoya, E. T. (2022). Mobility as a service (MaaS): A thematic map of challenges and opportunities. *Research in Transportation Business & Management*, 43, 100783.

21. Chowdhury, S., Hadas, Y., Gonzalez, V. A., & Schot, B. (2018). Public transport users' and policy makers' perceptions of integrated public transport systems. *Transport policy*, 61, 75-83.
22. Schakenbos, R., La Paix, L., Nijenstein, S., & Geurs, K. T. (2016). Valuation of a transfer in a multimodal public transport trip. *Transport policy*, 46, 72-81.
23. Ceccato, R., Baldassa, A., Orsini, F., Rossi, R., & Gastaldi, M. (2023). MaaS Adoption and Sustainability for Systematic Trips: Estimation of Environmental Impacts in a Medium-Sized City. *Sustainability*, 15(11), 8690.
24. Martinčević, I., Brlek, P., & Domjan Kačarević, N. (2022). Mobility as a Service (MaaS) as a sustainability concept for tourist destinations. *Sustainability*, 14(12), 7512.
25. Hasselwander, M., Bigotte, J. F., Antunes, A. P., & Sigua, R. G. (2022). Towards sustainable transport in developing countries: Preliminary findings on the demand for mobility-as-a-service (MaaS) in metro Manila. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 155, 501-518.
26. Macedo, E., Teixeira, J., Gather, M., Hille, C., Will, M.-L., Fischer, N., & Bandeira, J. M. (2022). Exploring relevant factors behind a MaaS scheme. *Transportation Research Procedia*, 62, 607-614.
27. Alonso-González, M. J., Hoogendoorn-Lanser, S., van Oort, N., Cats, O., & Hoogendoorn, S. (2020). Drivers and barriers in adopting Mobility as a Service (MaaS)—A latent class cluster analysis of attitudes. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 132, 378-401.
28. Lopez-Carreiro, I., Monzon, A. & Lopez, E. Assessing the intention to uptake MaaS: the case of Randstad. *Eur. Transp. Res. Rev.* 16, 2 (2024). <https://doi.org/10.1186/s12544-023-00625-x>
29. Joanna Dyczkowska, Marcin Olkiewicz, Norbert Chamier-Gliszczyński, Tomasz Królikowski. Mobility-as-a-Service (MaaS) as a solution platform for the city

and the region: case study. *Procedia Computer Science*, Volume 225, 2023, 4092-4100, <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.10.405>.

30. The Netherlands Institute for Transport Policy Analysis (KiM) (2019) *Mobility-as-a-Service onder de loep*

31. Ministry of Infrastructure and Water Management (2019) *MaaS-pilots – Optimaliseren van het mobiliteitssysteem*

32. <http://www.mobiele-stad.nl/experimenten/mobility-as-a-service-in-het-paleiskwartier-den-bosch-provincie-noord-brabant/>

33. <https://maas-alliance.eu/2023/08/11/beijing-case-of-mobility-as-a-service-scheme/>

34. <https://skedgo.com/case-studies/>

35. Caballini C, Corazza MV, Costa V, Delponte I, Olivari E. Assessing the Feasibility of MaaS: A Contribution from Three Italian Case Studies. *Sustainability*. 2022; 14(24):16743. <https://doi.org/10.3390/su142416743>

36. Hensher, D. A., and Q. C. Ho. 2024. “Mobility as a Service, New Technologies, Service-Based Travel.” In *Handbook of Travel Behaviour*, edited by Dimitris Potoglou and Justin Spinney, 364–387. Edward Elgar Publishing.

37. <https://imoveaustralia.com/project/maas-trial-sydney>

38. Паливода, О & Литвиненко, Л. (2023). Управління сталою та розумною мобільністю в європейських містах. *Проблеми сучасних трансформацій. Серія: економіка та управління*. 10.54929/2786-5738-2023-10-03-04.

39. Вероніка Рахуба. Мобільність як послуга (MaaS): перспективи впровадження та виклики в Україні // *Problems and perspectives of entrepreneurship development*, 2024, № 32, р. 4-11. <https://doi.org/10.30977/ppb.2226-8820.2024.32.4>.

40. Вовк Ю.Я., Вовк І.П., Худобей Р.В., Питлик С.В., Вовк Я.Ю. Мобільність як послуга (MaaS): доцільність впровадження у малих міських або сільських районах // VI Міжнародній науково-практичній конференції “Інноваційні технології розвитку та ефективності функціонування автомобільного транспорту.

Innovative technologies for the development and efficiency of road transport, 22-24 листопада 2023 р. – Кропивницький : ЦНТУ, 2023. – 250 с. - С. 105-106.

41. Smart-інфраструктура у сталому розвитку міст: світовий досвід та перспективи України// Центр Розумкова, 2021.

<https://razumkov.org.ua/uploads/other/2021-SMART-%D0%A1YTI-SITE.pdf>

42. https://viza.kr.gov.ua/#/services_all

43. <https://krcep.dp.ua/mobilnyj-dodatok/>

44. https://kr.gov.ua/ua/news/pg/11220639674110_n/

45. <https://uklon.com.ua/>

46. <https://bolt.eu/uk-ua/scooters/>

47. <https://e-wings.com.ua/>

48. <https://joyrent.com.ua/>

49. <https://kiwiride.at>

50. <https://scroll.eco/>

51. <https://profile.getmancar.com.ua/#/login>

52. <https://www.go2go.rent/>

53. <https://www.eway.in.ua/ua/cities>

54. Міжнародна наукова конференція «Інтелектуальні Транспортні Системи: Екологія, Безпека, Якість, Комфорт». – К.: НТУ, 2022, Вип. 1 – 373 с.

55. <https://www.ptvgroup.com/en/products/ptv-visum>