

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій,
мехатроніки і робототехніки
Кафедра автомобілів і транспортних технологій

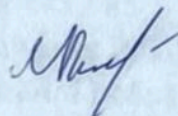
ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до магістерської роботи
освітнього ступеня
магістр

Галузь знань 27 – «Транспорт»
Спеціальність 275 «Транспортні технології»

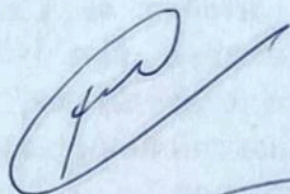
на тему: «Покращення транспортної мобільності населення та
екологічних показників м. Житомира шляхом використання засобів
мікромобільності»

Виконав: студент групи ТРТ-3М



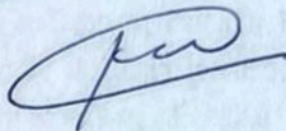
Владислав ЛІЩУК

Керівник:



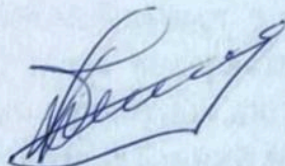
Руслана КОЛОДНИЦЬКА

Завідувач кафедри:



Володимир ШУМЛЯКІВСЬКИЙ

Рецензент:



Бегеремський Д.Б.

Житомир – 2022 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет: комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки

Кафедра: автомобілів і транспортних технологій

Освітній ступінь: «магістр»

Галузь знань: 27 «Транспорт»

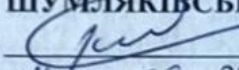
Спеціальність: 275 – «Транспортні технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри А і ТТ

Володимир

ШУМЛЯКІВСЬКИЙ


«11» 09 2022р.

ЗАВДАННЯ

до магістерської роботи освітнього ступеня магістр
Ліщуку Владиславу Олександровичу

1.Тема роботи: «Покращення транспортної мобільності населення та екологічних показників м. Житомира шляхом використання засобів мікромобільності» затверджена наказом вищого навчального закладу від «12» жовтня 2022 року № 465/с

Керівник роботи: к.т.н., доц. Колодницька Р.В.

2. Строк подання студентом завершеної роботи 05.12.2022 р.

3. Вихідні дані до роботи: нормативно-правові документи, матеріали особистих публікацій, змодельоване перехрестя з бакалаврської роботи, літературні джерела на основі досліджуваної теми.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Вступ; Розділ 1: Огляд літературних джерел за темою дослідження; Розділ 2: Аналіз розповсюдження засобів мікромобільності в містах Європи та України; Розділ 3: Впровадження інфраструктури та прокату засобів мікромобільності в місті Житомирі; Розділ 4: Аналіз викидів на перехресті до і після використання засобів мікромобільності; Загальні висновки; Список використаних джерел.

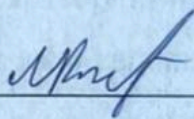
5. Пояснювально - роздавальний матеріал (презентація) – 22 слайда.

Дата видачі завдання « 11 » вересня 2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

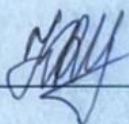
№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів	Примітка
1.	Огляд літературних джерел за темою дослідження	13.09.2022	виконано
2.	Аналіз розповсюдження засобів мікромобільності в містах Європи та України	26.09.2022	виконано
3.	Впровадження інфраструктури та прокату засобів мікромобільності в місті Житомирі	29.10.2022	виконано
4.	Аналіз викидів на перехресті до і після використання засобів мікромобільності	23.11.2022	виконано
5.	Оформлення пояснювальної записки	10.12.2022	виконано
6.	Рецензування	16.12.2022	
7.	Захист	За графіком	

Студент



Владислав ЛШЦУК

Керівник роботи

Руслана
КОЛОДНИЦЬКА

АНОТАЦІЯ

Магістерська кваліфікаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків до кожного з них, загальних висновків, а також включає в себе 35 рисунків, 3 таблиці та 36 використаних джерел. Загальний обсяг роботи становить 66 сторінок.

Метою роботи є створення нової транспортної мережі для засобів мікромобільності, з дослідженням екологічних показників.

В роботі були використані наступні методи: розробка плану інфраструктури для засобів мікромобільності за допомогою програмного забезпечення PTV Visum, розрахунок викидів на перехресті за допомогою програмного забезпечення PTV Vissim.

Об'єкт: транспортна мережа м. Житомира.

Предметом дослідження є мікромобільність населення та екологічні показники транспортної мережі м. Житомира.

У роботі розглядаються теоретичні основи розвитку інфраструктури для засобів мікромобільності як в європейських містах, так і в українських, проведено аналіз цих даних з метою використання їх при впровадженні в місті Житомирі; проведено аналіз щодо кількості населення, які проживають в районах та запропоновано місця для розташовування станцій прокату засобів мікромобільності; розроблено карту інфраструктури для засобів мікромобільності; проведено аналіз викидів та кількості витрати палива на перехресті до та після впровадження засобів мікромобільності.

Ключові слова: засоби мікромобільності, транспортні технології, транспортні райони, інфраструктура, шкідливі викиди.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
Розділ 1 Огляд літературних джерел за темою дослідження.....	8
1.1. Поняття мікромобільності	8
1.2. Мікромобільність, як спосіб збереження навколишнього середовища	16
Розділ 2 Аналіз розповсюдження засобів мікромобільності в містах Європи та України	23
2.1. Досвід поширення засобів мікромобільності в м. Мілан	23
2.2. Розвиток інфраструктури для засобів мікромобільності в м. Вінниця.	29
2.3. Загальний досвід європейських міст	36
Розділ 3 Впровадження інфраструктури та прокату засобів мікромобільності в м.Житомирі.....	40
3.1. Необхідність розповсюдження засобів мікромобільності	40
3.2. Розміщення станцій прокату засобів мікромобільності в м. Житомирі	43
3.3. Розробка інфраструктури для засобів мікромобільності в м. Житомирі	49
Розділ 4 Аналіз викидів на перехресті до і після використання засобів мікромобільності.....	56
4.1. Аналіз місць з підвищеним рівнем викидів та зміни після впровадження засобів мікромобільності.....	56
4.2. Аналіз зміни викидів на перехресті Київська-Театральна	58
Загальні висновки.....	69
Список використаних джерел.....	71

ВСТУП

Тенденції зростання населення в містах ускладнили міську мобільність. Понад 50% населення світу живе в містах, і очікується, що до 2050 року цей показник зросте до 66%. Крім того, передбачається, що у 2050 році міський транспорт, який становить 64% усіх перевезень, досягне втричі більшого рівня, ніж сьогодні. Системи мобільності, які ускладнюються у зв'язку зі збільшенням населення, негативно впливають на навколишнє середовище, тобто забруднюють приватними транспортними засобами, також варто згадати і про затори на дорогах, які сильно впливають на якість життя жителів міста. Швидкі зміни характеристик міст створили навантаження на всю систему міської мобільності. У сфері транспорту, який є одним із основних потреб для жителів міста, виникають різні проблеми, як от велика кількість приватних транспортних засобів, внаслідок чого утворюються затори на дорогах. Враховуючи швидке зростання міського населення, очікується, що незапланована урбанізація посилить проблеми міської мобільності.

Для вирішення цих проблем система міської мобільності потребує змін. Розвинені країни, які віддають перевагу мобільності транспортних засобів для вирішення проблем міської мобільності, демонструють низку тенденцій у сфері «міської мобільності». Підхід розумного міста, який інтегрує технологічні інновації в системи міської мобільності, сприяє покращенню навколишнього середовища та якості життя населення. Розумні міста мають намір підвищити якість життя мешканців і забезпечити стійкість міст за допомогою інформаційно-комунікаційних технологій. Вони підвищують важливість міської мобільності, яка є екологічною та фізичною діяльністю, і виявляють різні режими мобільності.

Загалом, в роботі досліджується мікромобільність, яка є складовою концепції розумного міста; підхід спільної мікромобільності; екологічний

вплив та необхідність впровадження режиму спільної мікромобільності в розумних містах.

Задачі дослідження:

1. Розробити транспортну мережу мікромобільності м. Житомира з пунктами прокату.
2. Проаналізувати шкідливі викиди та витрату палива на основних перехрестях м. Житомира до та після введення транспортної мережі мікромобільності.

Для досягнення мети були виконані наступні завдання:

1. Проаналізовано інфраструктуру та особливості засобів мікромобільності в європейських та українських містах/
2. Проаналізовано 99 транспортних районів м. Житомира з базами даних мешканців та запропоновано встановлення 18 станцій прокату засобів мікромобільності в густонаселених районах.
3. Створена транспортна мережа з місцями прокату для засобів мікромобільності в програмному забезпеченні PTV Visum.
4. Порівняно кількість викидів до та після впровадження засобів мікромобільності за допомогою PTV Vissim.

Розділ 1

Огляд літературних джерел за темою дослідження

1.1. Поняття мікромобільності

Подолання проблем щодо забруднення повітря виконуються шляхом скорочення викидів через відмову від викопного палива та розвиток сталої транспортної інфраструктури. Наша країна має потенціал для розвитку громадського транспорту та інфраструктури для засобів мікромобільності.

Не існує стандартизованого визначення мікромобільності, воно зазвичай використовується для опису невеликих транспортних засобів, які можуть без проблем пересуватися густонаселеними міськими районами. Транспортні засоби мікромобільності, які зображені на рисунку 1.1, розроблені для коротких поїздок на невеликі відстані, зазвичай це до 10 км і рухаються на низьких швидкостях, як правило, до 25 км/год. Ці транспортні засоби не використовують двигуни внутрішнього згоряння, але багато з них працюють від електродвигунів.

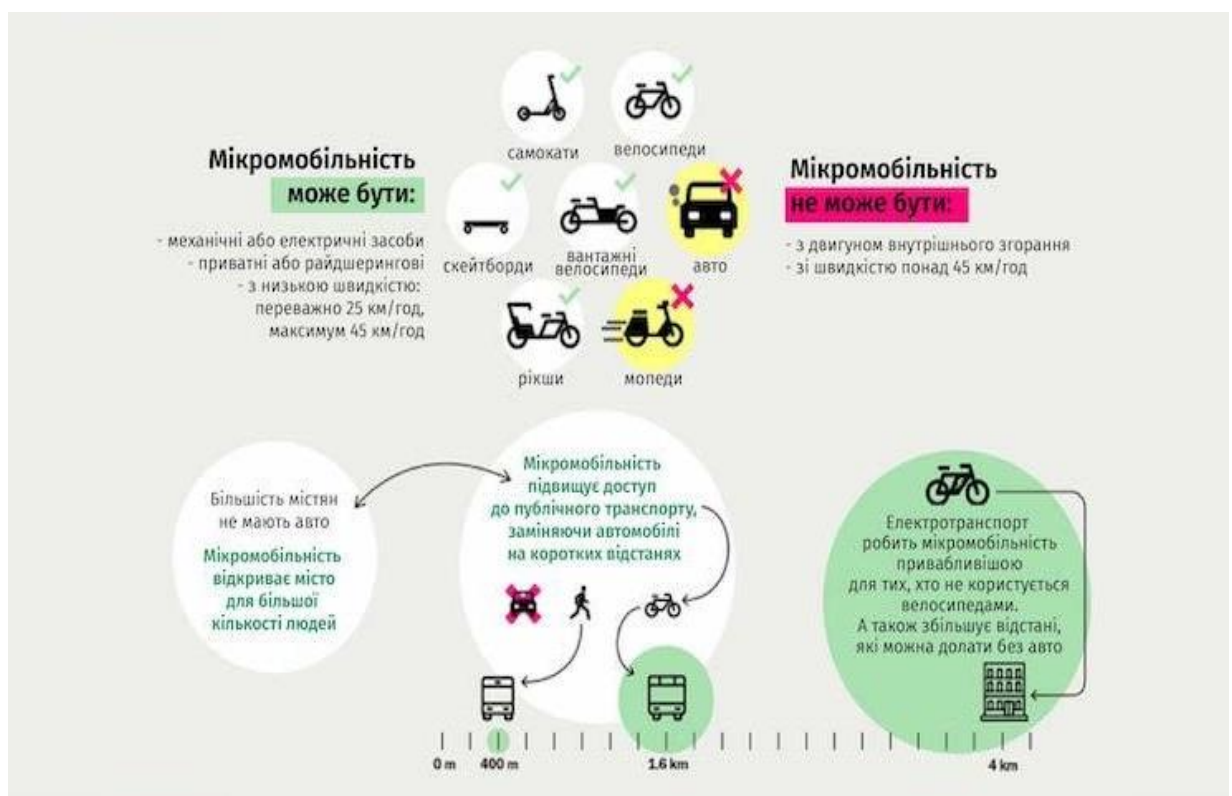


Рис. 1.1. Засоби мікромобільності [1]

Тенденцію мікромобільності представив аналітик Хорас Дедіу на саміті мікромобільності Копенгагенського технологічного фестивалю в 2017 році. Мікромобільність — це низка невеликих і легких продуктів, призначених для пересування зі швидкістю нижче 25 км/год, а загальна вага транспортного засобу має бути менше 500 кг, включаючи велосипеди, електровелосипеди, електросамокати, скейтборди, одноколісні велосипеди та їх електричні версії. Ідеальна відстань подорожі з транспортними засобами становить 10 км. Мікромобільність забезпечує свободу пересування між короткими відстанями для міських жителів, зменшуючи затори, спричинені автомобілями та громадським транспортом, тоді як транспортні засоби мікромобільності переосмислюють всю динаміку міської мобільності. Останнім часом великі міста впроваджують спільні транспортні засоби мікромобільності як альтернативу приватним транспортним засобам для коротких поїздок. Особливо в останні роки системи шерингу засобів мікромобільності стали дуже поширеними в багатьох містах світу. Спільні системи мікромобільності широко використовуються для пасажирських подорожей на відстань менше 5 км, що становить 50–60% від загальної кількості пасажирських кілометрів [1]. Наприклад, у Вашингтоні здійснюється використання спільних велосипедів та електросамокатів на відстані менше ніж 1,6 км, що становить приблизно 70% усіх поїздок [2]. За наявності відповідної інфраструктури спільні системи мікромобільності можна використовувати навіть для тривалих подорожей до 20 км, особливо в міських центрах. Спільні системи мікромобільності мають потенціал для зменшення заторів, викидів та споживання енергії завдяки перевагам інтеграції з громадським транспортом, заохочення до зміни режиму руху та пропозиції альтернатив під час коротких поїздок.

Засоби мікромобільності можуть бути приватними, але часто є транспортними засобами спільного користування, які обслуговуються муніципальною владою або приватною організацією. Ці транспортні засоби особливо привабливі для жителів густонаселених районів, оскільки вони

забезпечують швидкий і зручний транспорт до найближчих місць, таких як продуктові магазини, магазини або розважальні заклади. Такі транспортні засоби, як eScooter, Vespa, Segways, стандартні велосипеди, eBikes і рикші з людським приводом або електрорикші також доступні в багатьох великих містах для подорожей і екскурсій.

Ідея мікромобільності отримала сплеск популярності, оскільки володіння транспортним засобом у багатьох містах може бути непрактичним, а покладатися на громадський транспорт за розкладом не завжди зручно. Через вартість володіння транспортним засобом, зростання витрат на страхування та відсутність зручного паркування багато мешканців вирішують не купувати традиційний автомобіль.

Щоб створити цілісну мережу для засобів мікромобільності, приватна організація або муніципалітет влади повинні створити технологію та інфраструктуру для підтримки проекту та, можливо, співпрацювати з системним інтегратором або групою розробників бездротового зв'язку для створення бездротової технології для мобільного зв'язку.

Деякі з ключових потреб і міркувань щодо цих проектів, з точки зору планування, включають наступне — залежно від того, чи є транспортні засоби електричними, чи потрібно їх пристиковувати чи можна залишити, а також інші міркування:

- Вбудований інтелект для підтримки бажаної функціональності;
- Бездротове підключення з GPS для підтримки служб визначення місцезнаходження, віддаленого моніторингу та оновлення мікропрограми «по повітрю»;
- Інтегрована функція для зарядки електромобіля та керування батареєю;
- Створення інфраструктури для док-станції та зарядки засобів мікромобільності;
- Послуги торгових точок, підключення та безпека;

- Планування управління автопарком, включаючи відстеження та пошук загублених транспортних засобів, а також роботи по обслуговуванню цих транспортних засобів [3].

Електровелосипеди та електроскутери стають звичним явищем у великих містах. Компанії спільного використання поїздок і муніципалітети розгортають ці рішення мікромобільності в містах, щоб жителі могли легко отримати до них доступ, коли їм потрібен транспорт. Якщо такі рішення для мікромобільності оснащені периферійними обчислювальними технологіями та пристроями «Інтернет речей» (надалі – IoT), можна точно відстежувати та керувати ними. Пристрої IoT — це в основному розумні пристрої, які підтримують підключення до Інтернету та здатні взаємодіяти з іншими пристроями через Інтернет і надавати користувачеві віддалений доступ для керування пристроєм відповідно до його потреб. Управління активами є невід’ємною частиною успіху будь-якої програми мікромобільності [4].

Загалом, тенденція мікромобільності включає дедалі більше різноманітних транспортних засобів, що зображені на рисунку 1.2:

- Велосипед;
- Машина для гольфу;
- Хендбайк;
- Говерборд;
- Самокат;
- Мікроавтомобілі (деякі види);
- Скутер;
- Квадроцикл;
- Роликові ковзани;
- Сегвей;
- Моноколеса;
- Скейтборд;
- Трицикли;

- Уніцикл;
- Веломобіль;
- Інвалідний візок.



Рис. 1.2. Різновид засобів мікромобільності [5]

Сьогодні мікромобільність є відносно неоднозначним терміном, який не має загальноприйнятого визначення. Нещодавно SAE International, що зображено на рисунку 1.3, створила набір термінології для опису транспортних засобів мікромобільності, намагаючись вирішити проблему відсутності загального словника. Його таксономія включає три ключові критерії:

- повністю або частково електроживлення;
- споряджена маса до 227 кг включно;
- максимальна швидкість до 48 км/год включно [5].

Новий звіт Міжнародного транспортного форуму (ITF) про аспекти безпеки мікромобільності запропонував інше визначення: «Мікротранспортні засоби масою не більше 350 кілограмів (771 фунт) і проектною швидкістю не вище 45 км/год (28 миль/год)». Типи транспортних засобів зображено на рисунку 1.4.

TYPES OF POWERED MICROMOBILITY VEHICLES¹

	Powered Bicycle	Powered Standing Scooter	Powered Seated Scooter	Powered Self-Balancing Board	Powered Non-Self-Balancing Board	Powered Skates
						
Center column	Y	Y	Y	Possible	N	N
Seat	Y	N	Y	N	N	N
Operable pedals	Y	N	N	N	N	N
Floorboard / foot pegs	Possible	Y	Y	Y	Y	Y
Self-balancing ²	N	N	N	Y	N	Possible

¹All vehicles typically designed for one person, except for those specifically designed to accommodate additional passenger(s)

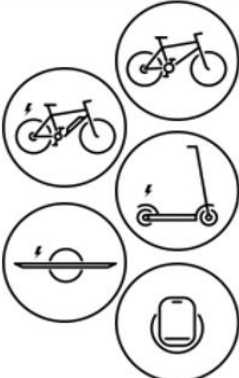
²Self-balancing refers to dynamic stabilization achieved via a combination of sensors and gyroscopes contained in/on the vehicle

Source: SAE International from SAE J3194™ Standard - Taxonomy & Classification of Powered Micromobility Vehicles.

https://www.sae.org/standards/content/j3194_201911/

Рис. 1.3. Типи електромобільних транспортних засобів
(стандарт SAE J3194) [6]

Помітною різницею між цими двома визначеннями є виключення транспортних засобів з людськими зусиллями зі сфери застосування стандарту SAE. Ми звикли думати про велосипед як про рішення мікромобільності. Однак нещодавнє та майбутнє зростання мікромобільності значною мірою відбувається завдяки рішенням з електричним приводом, і саме вплив цих нових транспортних засобів вимагає найбільших зусиль, щоб зрозуміти та керувати ним [6].

Type A	Type B	Type C	Type D
unpowered or powered up to 25 km/h (16 mph)		powered with top speed between 25-45 km/h (16-28 mph)	
<35 kg (77 lb)	35 – 350 kg (77 – 770 lb)	<35 kg (77 lb)	35 – 350 kg (77 – 770 lb)
			

Source: OECD/ITF 2020, *Safe Micromobility*, <https://www.itf-oecd.org/safe-micromobility>.

Рис. 1.4. Типи засобів мікромобільності [7]

Ідея мікромобільності стала досить обговорюваною темою, оскільки міста по всьому світу зосереджуються на використанні технологій для підвищення стійкості. Передові технології, такі як пристрої IoT, дозволяють організаціям впроваджувати складні транспортні мережі мікромобільності. Це покращить життя громадян і водночас принесе користь муніципалітету, зменшивши затори та викиди транспортних засобів.

Технологія мікромобільності має низку переваг:

- Доступна ціна: оренда засобу мікромобільності є набагато економічнішою, ніж покупка повнорозмірного транспортного засобу, утримання страховки, оплата планового технічного обслуговування та купівля пального. Це звільнить дохід членів громади, який вони потім зможуть витратити на необхідні речі.
- Стабільність: ідея мікромобільності створюють нульові викиди, що дозволить густонаселеним районам зменшити свій вуглецевий слід. Транспортна модель мікромобільності є надзвичайно

екологічною, особливо враховуючи розвиток електронних скутерів і комп'ютерних технологій.

- Ефективність: мережа мікромобільності дуже ефективна в порівнянні з іншими рішеннями громадського транспорту. Після впровадження мережі місто може зменшити навантаження на інші види громадського транспорту, такі як автобуси та системи метро.
- Зручність: фактор зручності є одним із найпривабливіших аспектів мікромобільності. Жителі міста можуть швидко знайти засоби мікромобільності, які розміщені на багатьох вулицях міста, використати їх, щоб дістатися до місця призначення та орендувати інший пристрій, коли буде необхідність повернутися додому. Багато міських мешканців також вважають, що це досить дешевий спосіб дістатися у будь-яку точку міста на прокаті велосипедів, оскільки вони можуть знайти велосипед у будь-який час і не витрачають кошти на його обслуговування.

Засоби мікромобільності повинні бути оснащені спеціалізованими технологіями. Це включає пристрої IoT для бездротового зв'язку, апаратне забезпечення GPS та багато іншого. Звичайно, що запуск складної транспортної мережі, яка включає в себе стільки нових технологій, представляє неабияку частку проблем. Можливо, найбільшою перешкодою, з якою стикаються розробники та ринок мікромобільності, є логістика.

Кожен пристрій, а також зарядні станції або док-станції, де вони зберігаються, необхідно ретельно відстежувати та обслуговувати. Інакше загальні витрати на ведення бізнесу не будуть прийнятними. Щоб подолати цю проблему, потрібно вибрати основну технологію, яка підтримує віддалений моніторинг та інтегрує платформу керування IoT.

Ще одна серйозна перешкода, яку мають подолати розробники, — це зловживання та крадіжка. Деякий відсоток використання мікромобільності обов'язково призведе до пошкодження або крадіжки обладнання. Зацікавлені сторони мікромобільності повинні вжити заходів для пом'якшення цих

проблем, якщо вони сподіваються отримати віддачу від своїх інвестицій. Розробники мікромобільності, які успішно справляються з цими викликами, отримають найкращу позицію для використання цього захоплюючого ринку, що розвивається. Вони зможуть позитивно вплинути на міські райони, допомагаючи містам стати більш стійкими, одночасно створюючи відмінні доходи [7].

Підсумовуючи, найбільш серйозні проблеми та можливості, пов'язані з сектором мікромобільності, це:

Виклики:

- Логістика та управління активами
- Крадіжки та зловживання
- Складні вимоги до конструкції

Можливості:

- Вихід на ринок, що розвивається
- Участь в технологічних інноваціях у розумних містах
- Підтримка інклюзивної мобільності та соціальної справедливості
- Сприяти скороченню викидів вуглецю та підтримувати нульові цілі [8].

Незважаючи на труднощі, пов'язані із запуском послуг мікромобільності, галузь зазнала значного та швидкого зростання завдяки попиту. Більшість експертів прогнозує, що ринок мікромобільності продовжить розвиватися. Хоча ці прогнози враховують багато факторів, позитивний прогноз ринку базується на трьох ключових факторах:

- Жителі густонаселених районів потребують зручного та доступного транспорту.
- Відновлення глобального туризму в постпандемічному світі стимулюватиме попит на міську мобільність і економічні варіанти місцевих турів.
- Важливість як засобу пересування у післявоєнний період [9].

Одна із головних проблем, яка буде часто виникати особливо в перший час – це акти вандалізму до засобів мікромобільності, які будуть доступні в прокаті (спільних). Випадковим чином відберемо певну кількість зображень і проаналізуємо місця паркування засобів мікромобільності, які доступні для оренди. Зокрема, із 1770 зображень ідентифіковано 230 неповторених зображень паркування скутерів. Виявилося, що 37,39% електросамокатів були припарковані в правильних місцях, наприклад, на спеціалізованих місцях для паркування електросамокатів, а решта 62,61% були в неправильних місцях. Серед неправильно припаркованих електросамокатів переважна більшість засобів для переміщення – 34,78% від загальної кількості – були припарковані посеред тротуарів; 4,78% були розміщені в приміщенні; 5,65% зазнали вандалізму; і 17,39% були припарковані в інших неправильних місцях. Не дивно, що блокування тротуарів є найпоширенішою проблемою під час паркування електросамоката. Щодо електросамокатів, які припарковані у приміщенні, були знайдені в приватних гаражах, ліфтах і навіть туалетах. Крім того, спостерігається більше випадків вандалізму, ніж критий паркінг. На рисунку 1.5. показано три приклади вандалізму: покинутий під водою, у вогні, та ті, які були закинуті на дерева.

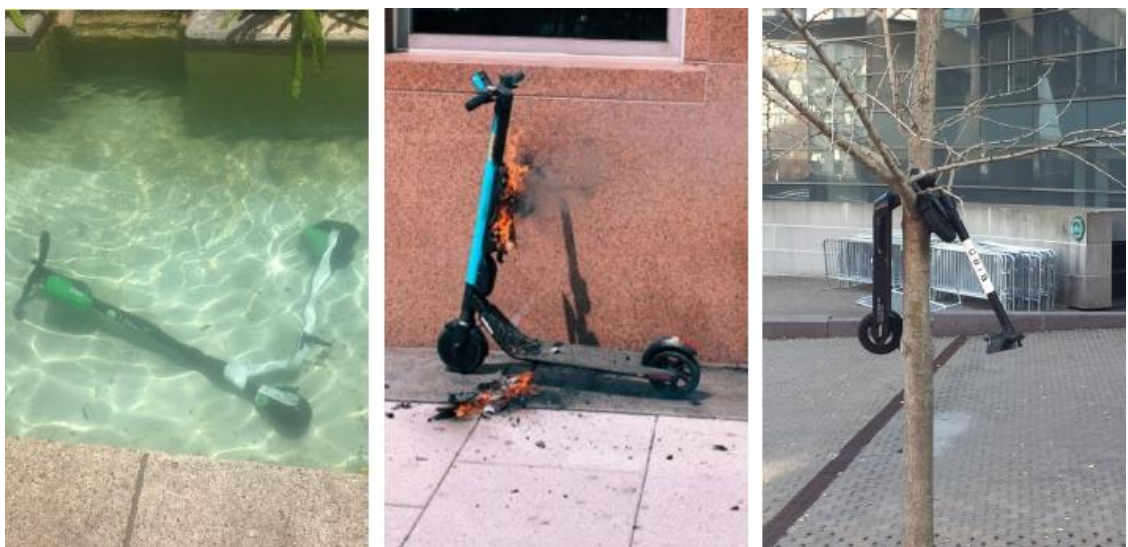


Рис. 1.5. Приклади вандалізму електросамокатів

1.2. Мікромобільність, як спосіб збереження навколишнього середовища

Міська мобільність відіграє вирішальну роль у темпах зростання міст. Міста націлені на створення більш стійких міських транспортних систем, щоб зменшити негативний вплив транспорту на навколишнє середовище. Розумна мобільність, що розвивається завдяки підходу розумного міста; включає в себе підтримувані інформаційно-комунікаційні технології (надалі – ІКТ), стійкі, безпечні та інтегровані транспортні системи та різноманітність видів транспорту. Він надає пріоритет розумній мобільності, стійкій, чистій енергії та особливо немоторизованим видам транспорту. Розумна мобільність спрямована на економію витрат на дорогу, скорочення часу в дорозі, зменшення енергоспоживання та викидів CO₂, а також покращення послуг і підвищення безпеки під час подорожі. Вона є дуже важливим фактором в процесі трансформації розумного міста.

Зі зростанням важливості розумної мобільності були висунуті різні ініціативи для забезпечення стійкої мобільності у світі. «Цілі сталого розвитку» та «Паризька угода про зміну клімату», прийняті у 2015 році, становлять глобальну структуру розумної мобільності. «Цілі сталого розвитку» передбачають трансформацію мобільності для майбутнього. «Паризька угода про зміну клімату» — це угода, підготовлена до негативних наслідків викидів парникових газів. З іншого боку, зміни в моделях «міської мобільності» міст почали наголошувати на доступі до транспортних засобів, а не на володінні ними. Інноваційні технології, використання яких зростає в міських районах із розумними містами, створює нові альтернативні види транспорту для розумної мобільності. Одним із них є спільна мікромобільність [10].

Стала міська мобільність, яка є однією з найкращих практик для структури мікромобільності, підтримує присутність зацікавлених сторін всупереч традиційним підходам до планування. Засоби мікромобільності постають як концепція застосування, яка допоможе перепроєктувати поточну мобільність і запропонує рішення проблем. Міста, які зазнали технологічно-

орієнтованої трансформації мобільності, в останні роки зосередилися на використанні засобів мікромобільності.

Міста повинні мати інфраструктуру, яка підтримує мікромобільність, щоб забезпечити ефективність і стійкість переваг спільної мікромобільності. Використання спільного транспорту можна збільшити в містах з необхідною інфраструктурою. В Севільї, наприклад, використання спільних велосипедів зросло завдяки побудові нової велосипедної інфраструктури. 3,5-кратне збільшення кількості користувачів після розширення велосипедної мережі в Лісабоні (Португалія).

З іншого боку, також важливі території, де розгортаються спільні мікромобільні транспортні засоби. Проблеми з «доступністю» спільних транспортних засобів мікромобільності є перешкодою для впровадження та використання цієї послуги. Більшість станцій байкшерингу в Тайбеї розташовані біля станцій метро або автобусів.

Розширення міських територій і зростання міської мобільності ускладнюють екологічну стійкість. Міські центри є основними споживачами енергії, які споживають понад три чверті світової енергії, а також основними виробниками викидів вуглецю та парникових газів, які виробляють більше половини світових викидів. Ці ставки слід зменшити, щоб забезпечити екологічну стійкість.

Засоби мікромобільності виробляють менше викидів парникових газів, оскільки вони працюють від людини або електрики, а також мають потенціал для зменшення викидів парникових газів і підвищення енергоефективності, замінивши автомобілі. Викиди парникових газів зменшуються завдяки використанню мікромобільності замість автомобілів. Викиди CO₂ будуть зменшені на понад 25 000 тонн завдяки заміні автомобілів спільними велосипедами в Шанхаї.

Незважаючи на те, що швидке поширення електросамокатів явно демонструє популярність мікромобільності серед користувачів, це також викликало негативний ефект для міської влади та багатьом жителям

міста. У містах по всьому світу проблеми з недбалим паркуванням, ризик для пішоходів від недосвідчених або легковажних водіїв і питання про реальний вплив скутерів на навколишнє середовище викликали дебати. Це, у свою чергу, призвело до збільшення обмежень на використання та, зрештою, до зменшення можливостей мобільності для споживачів.

Проте засоби мікромобільності обіцяють заповнити прогалини в маршрутах громадського транспорту, забезпечуючи практичну та популярну відповідь на вічну потребу першого та останнього кілометра. Вони можуть допомогти зменшити використання автомобілів і затори, а також сприяти більш ефективному використанню паркувальних місць та інших спільних громадських місць. Безшумні під час використання та з низьким рівнем викидів, засоби мікромобільності також обіцяють значні екологічні переваги [11].

Завдяки полегшеному оподаткуванню електромобілів в Україні створюється стимул для розвитку даної галузі, тож доцільно зосередитися на розширенні мережі зарядних станцій і стимулюванні людей до використання засобів мікромобільності. Але цього не достатньо.

Щоб викиди у секторі транспорту реально скорочувалися, у потрібно закласти такі цілі: збільшити частку міських поїздок громадським транспортом до понад 50%, і не допускати падіння на менш ніж 35%; зменшити частку пасажирських поїздок приватними автомобілями у містах; збільшити пасажирські поїздки велосипедами, електроскутерами тощо. Приклад використання простору, необхідного для перевезення 70 людей автобусом, велосипедами та легковими автомобілями зображено на рисунку 1.6.

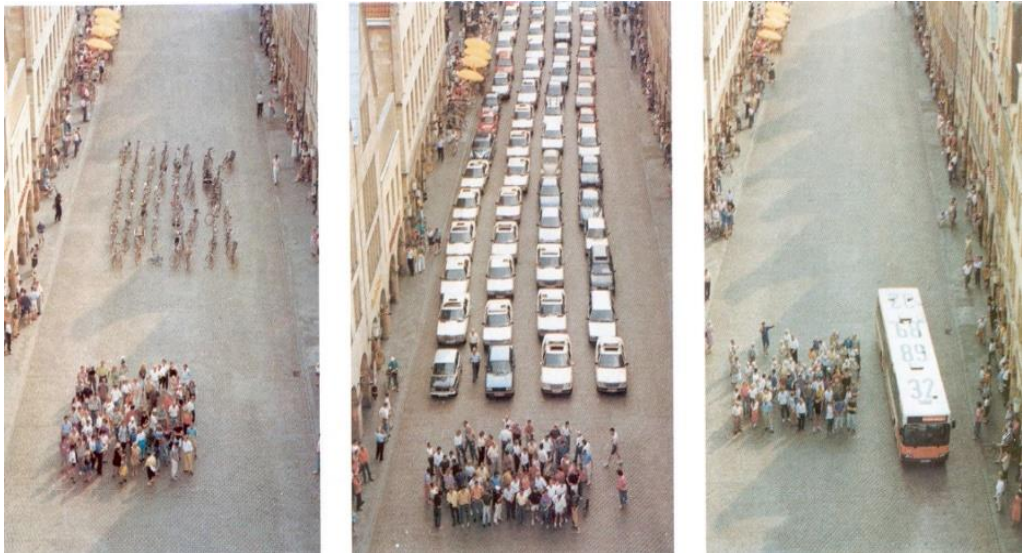


Рис. 1.6. Простір, необхідний для перевезення 70 людей автобусом, велосипедами та легковими автомобілями

Кожен, хто використовує засоби мікромобільності, є більш вразливим, ніж моторизовані учасники дорожнього руху: у той час як кузов автомобіля служить захисною капсулою під час зіткнення, велосипедисти можуть бути лише в шоломі. Однак шолом мало допомагає, коли вантажівка повертає праворуч і не бачить велосипедистів. Фактом є те, що велосипедисти є слабкішими учасниками дорожнього руху. Якщо взяти для прикладу велосипед, то їзда ньому проста. Щоб розпочати діяльність, потрібно не так багато: у порівнянні з автомобілем, покупка та обслуговування велосипеда недорогі. І жителю міста не потрібні водійські права, щоб подорожувати. Більшість населення відповідає базовому рівню фізичної підготовки, необхідному для їди на велосипеді. Їзда на велосипеді значно збільшує діапазон мобільності – навіть для молодих людей: наприклад, середня відстань, яку ви долаєте, становить близько 2 кілометрів пішки і близько 4 кілометрів на велосипеді. З електричним велосипедом це навіть понад 6 кілометрів.

Дослідження, проведене Оксфордським університетом, показало наступне: якщо залишили свій автомобіль припаркованим і використовувати велосипед лише раз на день, зменшиться свої

персональні викиди CO₂ до 0,5 тонни на рік. Якби лише десять відсотків населення адаптували свою мобільну поведінку таким чином, економія викидів становитиме близько чотирьох відсотків загального автомобільного трафіку. Щоб розглянути це в перспективі: середні викиди на душу населення від моторизованого транспорту коливаються від 1,8 тонн CO₂ на рік у Великобританії та до 2,7 тонн на рік в Австрії [12].

Висновки до розділу

1. Ідея мікромобільності стала актуальною, оскільки міста по всьому світу зосереджуються на використанні технологій для підвищення транспортної стійкості. Передові технології, такі як пристрої IoT, дозволять організаціям впроваджувати складні транспортні мережі мікромобільності. Це покращить життя громадян і водночас принесе користь муніципалітету, зменшивши затори та викиди транспортних засобів.
2. Міста повинні мати інфраструктуру, яка підтримує мікромобільність, щоб забезпечити ефективність і стійкість спільної мікромобільності.

Розділ 2

Аналіз розповсюдження засобів мікромобільності в містах Європи та України

2.1. Досвід поширення засобів мікромобільності в м. Мілан

Як передбачає Міланська стратегія адаптації, поточна криза охорони здоров'я може стати можливістю вирішити надати більше простору людям і покращити умови навколишнього середовища в місті, збільшивши більш стійкі, екологічно чисті засоби пересування та переосмисливши використання вулиць. і громадські місця для комерційних, рекреаційних, культурних і спортивних цілей, дотримуючись вимог фізичної дистанції.

Настав час розглянути принаймні три причини, які підштовхують до розповсюдження засобів мікромобільності:

1. Локдаун спричинив суттєве скорочення міського трафіку (індекс заторів знизився від 30 до 75%), що трапляється досить рідко. Це дає змогу експериментувати та ефективно втручатися на вулицях до того, як вони повернуться на повну потужність, таким чином мінімізуючи перебої в русі.

2. Поточна тимчасова надзвичайна ситуація змушує нас визначити легкі, економічно ефективні, швидкі та оборотні альтернативи, які, якщо вони ефективні, можуть з часом стати постійними, таким чином прискорюючи вже запланований екологічний перехід до більш стійких видів транспорту.

3. Дії, необхідні для управління надзвичайною ситуацією у сфері охорони здоров'я, мають більш терміновий аспект і стикаються з меншим опором змінам.

На цьому етапі можна взяти до уваги міжнародні приклади:

- Берлін негайно запровадив план розширення існуючих велосипедних доріжок або створення нових, намагаючись компенсувати скорочення громадського транспорту.
- Місто Окленд, штат Каліфорнія, перетворює 74 милі міських вулиць (майже 120 кілометрів) на рух пішоходів і велосипедистів

за допомогою нещодавньої ініціативи «Повільні вулиці», яка обмежує вулиці лише для місцевого руху.

- Уряд Нової Зеландії оголосив про фінансування тактичних урбаністичних втручань, які мають бути реалізовані швидко, щоб створити тимчасові велосипедні смуги та розширити існуючі пішохідні маршрути, щоб забезпечити дотримання заходів соціального дистанціювання.

Подібні заходи були введені по всій Європі ще до надзвичайної ситуації пов'язаної з COVID19:

- У Барселоні проект «Superilles» (також відомий як Superblocks) націлений на розширення пішохідних вулиць шляхом обмеження доступу автомобілів.
- У Парижі Anne Hidalgo оголосила пропозицію створити місто, яке буде на 100% дружнім велосипедистам до кінця 2024 року, а також містом, яке буде більше орієнтоване на людину, де будь-хто може дістатися до основних товарів і послуг менш ніж за 15 хвилин.

Отже, з вересня 2018 року міланський проект під назвою «Piazze Aperte», спонсорований муніципалітетом Мілана у співпраці з Bloomberg Associates, Національною асоціацією посадових осіб міського транспорту (НАСТО) і глобальними ініціативами проектування міст, експериментує з тактичним урбанізмом для створення нових громадських просторів шляхом усунення зайвих доріг і перехресть за допомогою серії експериментальних тимчасових, швидких і економічно ефективних проектів. Тимчасовий характер цих проектів дозволяє швидко переглянути рішення, перш ніж інвестувати, витратити час і ресурси в остаточне структурне упорядкування, передбачаючи наслідки з негайними вигодами та підтримуючи процес прийняття рішень щодо постійного рішення.

Цей досвід дав змогу розвивати нові навички та експериментувати з новими інструментами для втручання в громадські простори. Серед «м'яких»

проектів, запущених у районах міста, програма сприяла реалізації проектів пішохідної зони по всьому місту, призначених для відкриття громадського простору, розширення тротуарів і створення тимчасових велосипедних доріжок, захищених вуличними паркувальними місцями або стовпчиками.

Наприкінці 2019 року публічне оголошення «Відкриті площі в кожному мікрорайоні», відкрите для співпраці з всіма громадянами, призвело до подання 65 нових пропозицій, які зараз спільно розробляються. Приклад даної співпраці, в результаті якої було зменшене перехрестя, зображено на рисунках 2.1 та 2.2.



Рис. 2.1. Проект «Piazze Aperte», до втручання в реконструкцію міста в Ноло



Рис. 2.2. Результат проекту «Piazze Aperte», після втручання в реконструкцію міста в Ноло

Що стосується проблеми мобільності, міська влада Мілана намагається зменшити та розподілити попит на подорожі, а також спрямована на подальше вдосконалення та диверсифікацію пропозиції мобільності, впроваджуючи та використовуючи повний потенціал громадського транспорту та інфраструктури швидкого масового транспорту, таких як метро, одночасно сприяючи використанню сталої та активної мобільності та спільних засобів транспорту.

Таким чином, виклики дають можливість широкого використання традиційних педальних і механічних велосипедів, скутерів та всіх інших форм мікромобільності, які ефективно забезпечують необхідну відстань для пересування, запобігаючи новим інфекціям. Хоча використання цих засобів транспорту значно зросло за останні роки, але все ще далекі від використання повного потенціалу, який вони можуть мати у зміні мобільності міста. Тому визначаються нові напрямки, які дозволять громадянам безпечно пересуватися при повному навантаженні, тобто коли більшість комерційних, виробничих і культурних заходів відновляться, а школи та університети знову почнуть очне навчання.

Дії узгоджуються з тим, що вже було передбачено в Плані сталої міської мобільності, що зображений на рисунку 2.3, затвердженому в грудні 2018 року: для сприяння ефективній мобільності, створюється система велосипедних доріжок, яка з'єднає райони міста з центром. Основні маршрути об'єднуються з широко розповсюдженими велосипедними доріжками та зонами помірного руху (зони 30 км/год) для безпечної та зручної для життя мобільності в межах району.

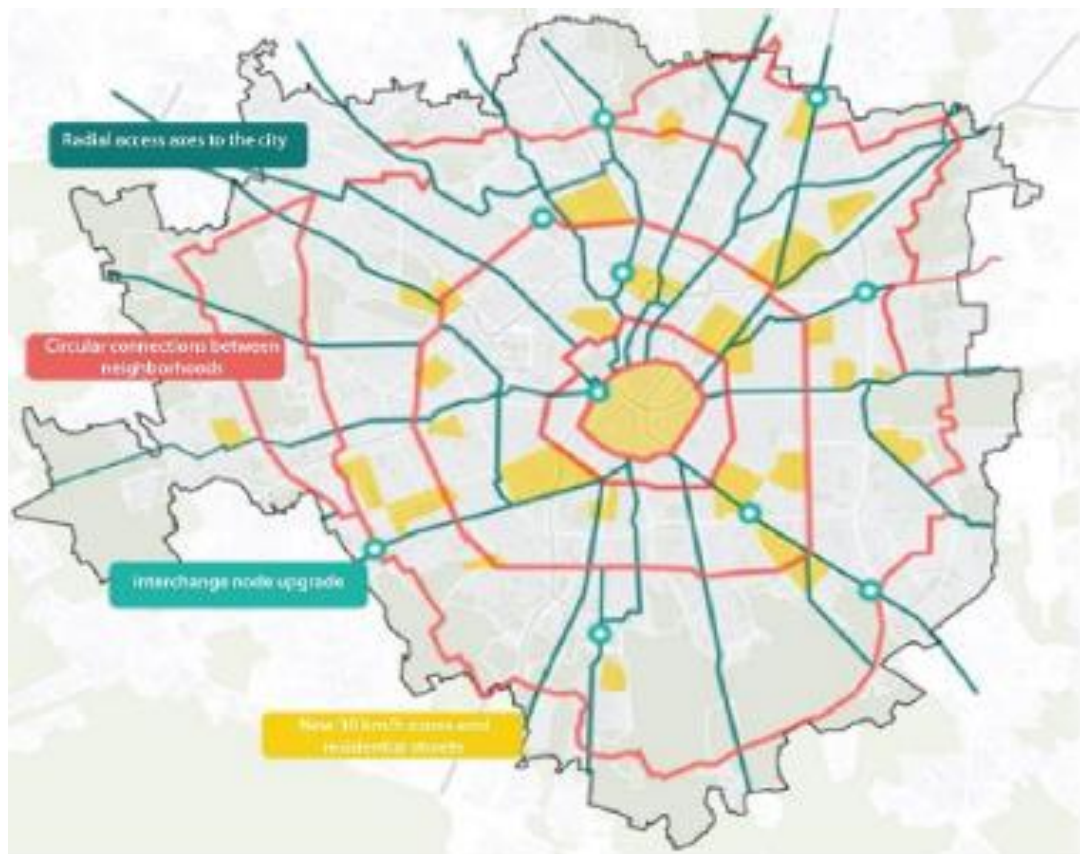


Рис. 2.3. Велосипедна мережа, спроектована міською владою Мілана

Під час цієї надзвичайної ситуації стало ще важливішим з'єднати райони міста: нові велосипедні маршрути покращать існуючі зв'язки між швидкісним масовим громадським транспортом (мережею залізниці та метро) та територією міста, щоб запропонувати кожному альтернативний вид транспорту на роботу. Мета полягає в тому, щоб значно розширити та краще з'єднати існуючу велосипедну мережу шляхом будівництва близько 35 км нових велосмуг.

Крім того, проект має на меті доповнити стратегію «Città 30», передбачену PUMS, яка передбачає розширення зон 30 км/год, зокрема вздовж кільцевої дороги, що зображено на рисунку 2.4. Більшість нових зон 30 км/год буде реалізовано лише за допомогою знаків, а решта включатиме структурні елементи для контролю швидкості та безпеки дорожнього руху, а також розширення пішохідних і зелених зон. Велосипедна мережа з'єднає нові та існуючі зони 30 км/год і використовуватиме позначені велосмуги з

більш лінійними маршрутами та/або просто позначені вздовж зон 30 км/год або доріг, спільних для інших транспортних засобів.

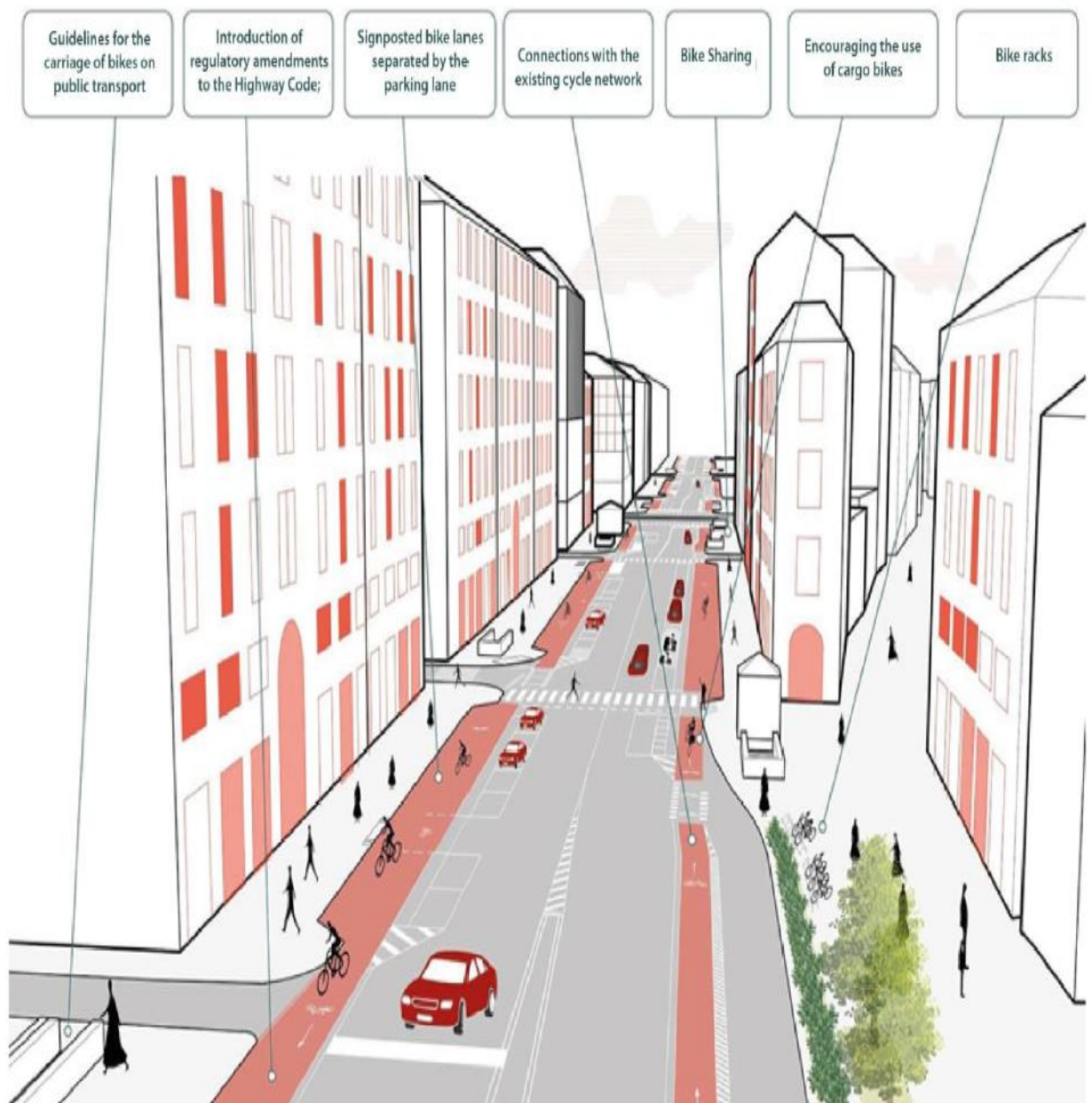


Рис. 2.4. Нова велодоріжка вздовж вулиці Корсо Буенос-Айрес, Мілан.

В рамках розширення пішохідних зон та проектів також передбачається:

- Розширення пішохідних маршрутів шляхом розширення тротуарів, де визначено обмежений простір (зокрема, на перехрестях), також за допомогою неструктурних втручань, адаптації міста до заходів

фізичної дистанції з визначенням «захищених» маршрутів для вразливих осіб .

- Збільшення виділення громадських зон, у експериментальний та тимчасовий спосіб, щоб доповнити парки, додавши пішохідні зони до тих районів, де бракує зелених насаджень, щоб дозволити дітям грати та займатися спортом (Play Streets);
- Створення нових пішохідних просторів шляхом розробки легких тактичних заходів міського планування, особливо поблизу шкіл та інших громадських закладів, особливо в тих районах, де бракує зелених зон, щоб дозволити дітям грати та займатися спортом (відкриті площі);
- Дозволити ресторанам і барам розширювати місця для сидіння на відкритому повітрі на «парклетах», щоб компенсувати втрату місць у приміщенні через заходи дистанціювання [13].

2.2. Розвиток інфраструктури для засобів мікромобільності в м. Вінниця

Початок розвитку велосипедної інфраструктури в м. Вінниця припадає на 2013 рік: тоді затвердили стратегію розвитку міста до 2020 року. За цей час почали створювати велодоріжки, що зображені на рисунку 2.5, загальна довжина яких на сьогодні становить близько 79 кілометрів. Понад 30 кілометрів з яких відокремлені від пішохідної частини. В цілому, була створена онлайн карта, яка показує наявні велосипедні доріжки, допоміжна інфраструктура, що зображена на рисунку 2.6, а також проєктні велодоріжки, які показані на рисунку 2.7.

Крім того, розвиток велосипедної інфраструктури став частиною проекту з енергоефективності міста Вінниці, що реалізується за технічної та фінансової підтримки Швейцарії.

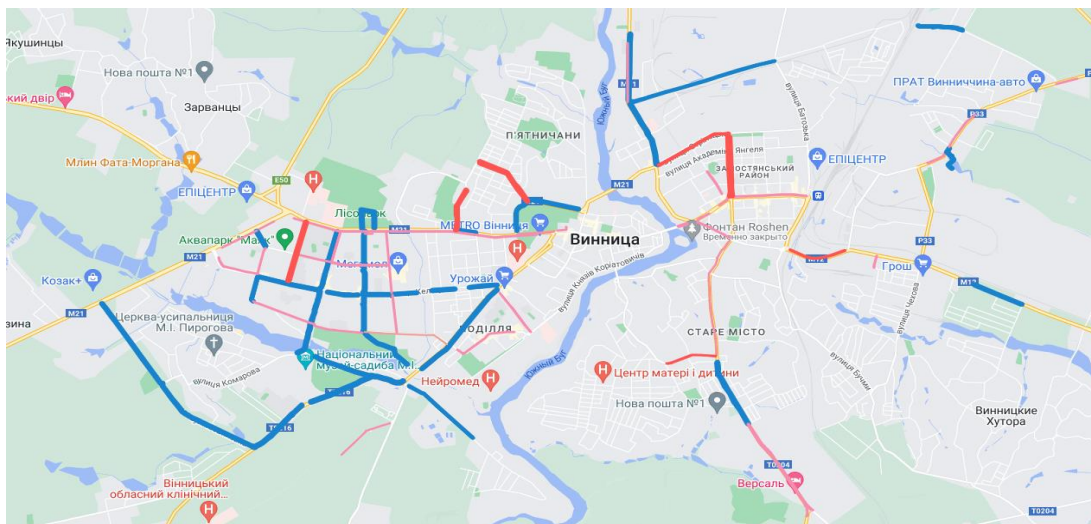


Рис. 2.5. Наявні велодоріжки в м. Вінниця

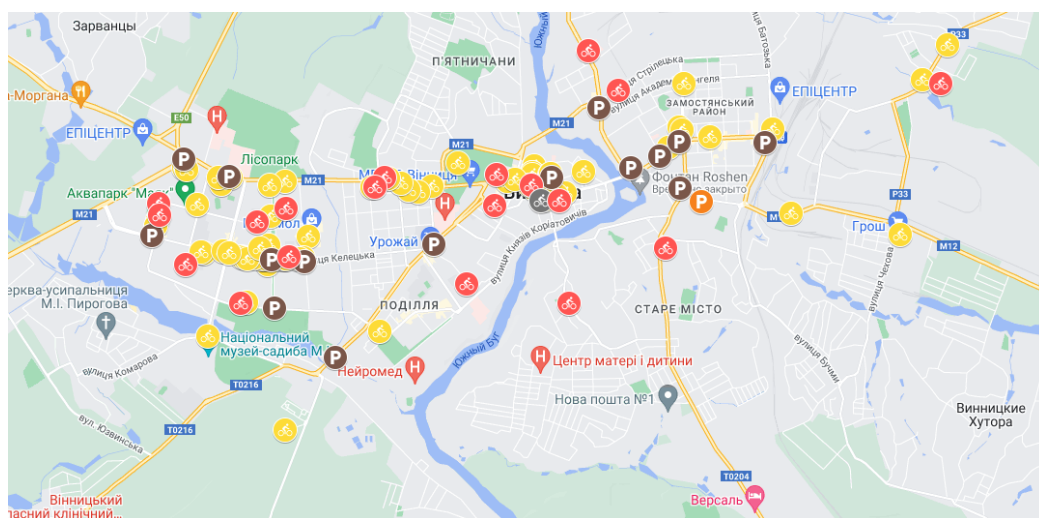


Рис. 2.6. Відображення точок велопрокату (Р), парковки з накриттям (червоні) і без (жовті)

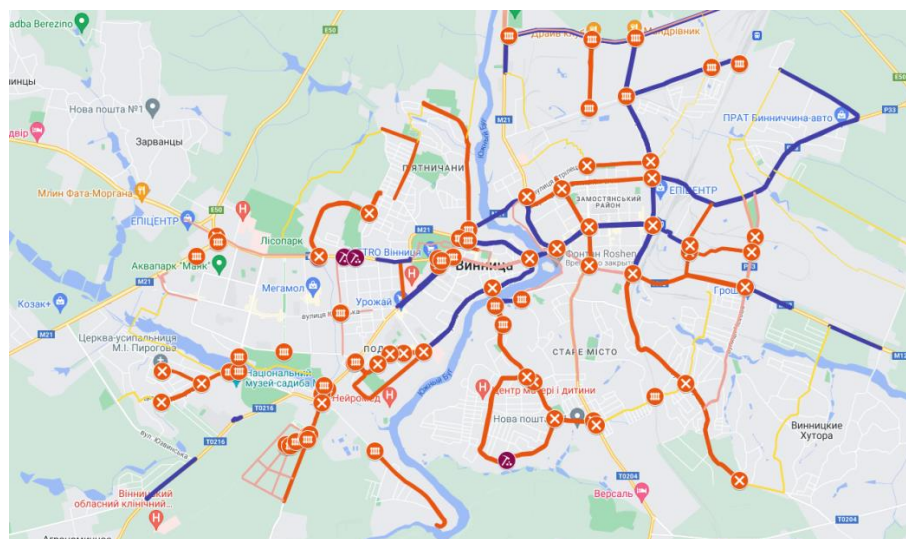


Рис. 2.7. Проектна мережа велоінфраструктури

Цей напрямок почав свій розвиток наприкінці 2016 року. У місті Вінниця була створена ініціативна група з активістів, представників громадських організацій та службовців міської ради, щоб вирішити, як покращити ситуацію в місті. Врешті, роботу розділили на чотири компоненти. На їх реалізацію було виділено близько восьми мільйонів гривень зі швейцарського проекту.

Перший компонент: стосується громадського велопрокату. З жовтня 2018 року в Вінниці працює система прокату велосипедів Nextbike, які показані на рисунку 2.8. В місті він позиціонується як частина громадського транспорту. Така альтернатива може зменшити кількість заторів та завантаженість громадського транспорту в пікові години. В середньому велосипеди орендують близько 300-400 разів на день. На даний момент у місті працює понад 15 станцій та доступно понад 120 велосипедів. За розрахунками для ідеальної роботи системи, станції повинні бути встановленні через кожні 500 метрів, всього 50 на все місто [14].



Рис. 2.8. Служба велопрокату Nextbike [14]

Парковки та термінали були закуплені містом, а власне велосипеди забезпечила компанія Nextbike. Ціни за прокат велосипедів зображено на рисунку 2.9. Прибуток від оренди отримує компанія Nextbike, проте за договором сплачує 480 тисяч гривень щороку в Фонд соціально-економічного розвитку міста.

АБОНЕМЕНТИ	1 година	2 година	3 година	4 година і кожна наступна	ШТРАФИ
РАЗОВИЙ	25 ₴ одна поїздка	25 ₴ одна поїздка	50 ₴ одна поїздка	50 ₴ одна поїздка	12 годин 1,500 ₴
МІСЯЧНИЙ 250 ₴	0 ₴ безліч поїздок	5 ₴ одна поїздка	5 ₴ одна поїздка	50 ₴ одна поїздка	
СЕЗОННИЙ 1150 ₴	0 ₴ безліч поїздок	5 ₴ одна поїздка	5 ₴ одна поїздка	50 ₴ одна поїздка	
3 Дні (ТУРИСТИЧНИЙ) 150 ₴	0 ₴ безліч поїздок	5 ₴ одна поїздка	5 ₴ одна поїздка	50 ₴ одна поїздка	24 години 15,000 ₴

Рис. 2.9. Ціни за прокат велосипедів Nextbike [15]

Також у Вінниці є три сервіси для оренди електросамокатів через смартфон - це E-wings, ECOS, Bolt. Ціни за прокат електроскутерів наступні:

Служба Bolt:

- 5 грн. розблокування;
- 1,50 грн. за кожну хвилину поїздки.

Служба Eco Scooter UA (ECOS):

- 5 грн. розблокування;
- 2 грн. за кожну хвилину поїздки.

Служба E-wings:

- 9 грн. розблокування;
- 1,99 грн. за кожну хвилину поїздки.

Другий компонент: велопарковки, які показані на рисунку 2.10. В місті встановили 38 парковок, що разом розраховані на 720 місць. 19 критих

велопарковок розмістили у навчальних закладах, щоб заохочувати дітей користуватися велосипедом щодня. Ще 17 з'явилося поблизу Центрів надання адміністративних послуг, лікарень та міської ради. Муніципалітет також заохочує власників закладів встановлювати власні велопарковки під час благоустрою території.



Рис. 2.10. Велопарковка в м. Вінниця

Третій компонент: велосипеди для муніципалітету. У квітні 2022 року, біля Вінницької міської ради з'явилася крита велопарковка. Для муніципалітету закупили 32 міські велосипеди та вісім електробайків. Вони розраховані передусім на працівників, що часто пересуваються містом з робочими завданнями, але скористатися велосипедами можуть і інші працівники.

Четвертий компонент: муніципальна велошкола. Багато жителів міста користуються велосипедом для відпочинку в парках, але не відчують себе достатньо впевнено, щоб їздити по вулицям. Саме тому в місті вирішили відкрити велошколу: інструктори допомагають усім охочим навчитися кататися на велосипеді, удосконалити навички та вивчити правила

дорожнього руху. Для практики у школі є вісім велосипедів, частина з них обладнана дитячими кріслами [15].

Нещодавно виконавчий комітет Вінницької міської ради схвалив Програму розвитку інфраструктури для засобів мікромобільності на 2021-2023 роки. У ній передбачено продовження розвитку велоінфраструктури, зокрема створення нових велодоріжок, облаштування велопарковок та впровадження низки інших заходів, пов'язаних з популяризацією засобів мікромобільності.

Головна мета Програми – створення суцільної, зручної, безпечної велосипедної інфраструктури, що з'єднає всі райони міста з центром. Надання можливості вінничанам пересуватися на короткі відстані без використання власного моторизованого транспорту. Зокрема, Програма розвитку велосипедного руху на 2021-2023 роки передбачає розширення веломережі Вінниці до 110 кілометрів до 2023 року, наразі вона становить 79 км. Крім того, заплановано розширення мережі велопарковок, в тому числі критих, мережі станцій громадського велопрокату Nextbike до 45 станцій, наразі їх – близько 25. А також розширення мережі вело СТО, мап веломаршрутів, ремонт та обслуговування існуючих. У планах – встановлення велототемів для автоматичного підрахунку велосипедистів, щоб розуміти статистику і тенденції.

Інфраструктура міста для засобів мікромобільності продовжує розвиватися. З огляду на розширення меж Вінницької міської територіальної громади та велику популярність велосипедного транспорту в сільській місцевості, ставиться питання щодо поєднання навколишніх громад з центром міста якісною та безпечною велосипедною інфраструктурою. Також планується, щоб у велосипедистів була можливість перевозити велосипеди у громадському транспорті. Це на випадок того, коли на вулиці не сприятливі погодні умови чи велосипедист себе погано почуває.

Нещодавно у Вінниці провели опитування велосипедистів щодо якості велоінфраструктури міста. За його результатами, які показані на рисунку

2.11, майже половина активних велосипедистів Вінниці оцінює велоінфраструктуру міста на три бали по 5-ти бальній шкалі. Як розповідає засновник організації VinCycle, які проводили опитування, вони визначили три найактуальніші проблеми.



Рис. 2.11. Результати опитування велосипедистів в м. Вінниця

1. Більше половини (а це 67%) опитаних серед трьох найактуальніших проблем велоінфраструктури обрали «розірваність» веломережі. Якщо говорити простою мовою, то «розірваність» - це, коли на двох вулицях, наприклад, є велодоріжки, але вони ніяк не сполучені між собою. Через це велосипедист не може комфортно їхати.

2. Майже 50% скаржаться на неефективне об'єднання потоку велосипедистів і пішоходів на тротуарах. Жителі міста мають вміти реагувати на велосипедистів. Останніх стає більше, а пішоходи хочуть свого простору.

3. Третя і не менш важлива проблема - зношене асфальтне покриття, тобто нерівності дороги, вибоїни, ями на велодоріжках, Найменшими проблемами для вінничан виявились: стерта і погано видима

розмітка на велодоріжках, а також брак пандусів. Загалом для того, щоб інфраструктура йшла вперед треба людей, які будуть її підштовхувати. Місто має високі перспективи в даному напрямку [16].

2.3. Загальний досвід європейських міст

Статистичні дані дозволять покращити уявлення про те, наскільки популярні засоби мікромобільності у Швеції, що показано на рисунку 2.12. Кожен п'ятий швед їздить велосипедом щодня до роботи, університету чи школи. 28% використовують його як транспорт, щонайменше, один раз на тиждень. Для 44% населення велосипед – це як тренажер протягом теплого півріччя. 18% їздять навіть узимку. При цьому кожен десятий використовує велотранспорт частіше ніж 4 дні на тиждень.



Рис. 2.12. Інфраструктура засобів мікромобільності в місті Стокгольм

Частково або повністю безкоштовний громадський транспорт уже запровадили у 50 польських містах, ще десять уже займаються ліквідацією квитків. Деякі міста ввели безкоштовний проїзд для всіх (Голенюв, Косьцежина, Любін, Польковіце, Томашув-Мазовецький, Єленя-Гура), інші

для окремих маршрутів (Жори, Кельце, Легьоново, Лазиска-Гурне). У Кракові, наприклад, під час навчального року учні молодших класів користуються автобусами та трамваями безкоштовно. Незважаючи на те, що місту щороку це коштуватиме майже 640 тис. євро. Крім того, водії автомобілів можуть (з посвідченням водія) безкоштовно користуватися громадським транспортом, якщо норми забруднення повітря перевищено у 3-4 рази.

Майже на всіх вулицях міста Копенгагена, Данія, є велосипедні доріжки, світлофори перемикаються у такті, з пріоритетом для людей, які використовують засоби мікромобільності. Міська влада має намір і надалі підтримувати розвиток засобів мікромобільності серед копенгагенців, адже пробки та загазованість повітря говорять не на користь автомобілів. Досвід данців викликає великий інтерес далеко за межами цієї скандинавської країни. Основні правила для створення дружнього до велосипедистів міста були розроблені більше сотні років тому, але в Копенгагені постійно знаходяться нові і нові способи зробити життя велосипедистів ще кращим. Є ціла низка причин, чому жителі Копенгагена так часто використовують засоби мікромобільності. Насамперед, встановили традицію їзди на велосипеді: у Данії автомобілі були дуже дорогі, тому що уряд стягував з них багато податків. Сам Копенгаген був містом робітників. Багато людей не заробляли дуже багато, тому велосипед був доступним засобом пересування. Звісно, це змінилося. Особливо після Другої світової війни та з джентрифікацією міста. Тим не менш, автомобілі все ще не є засобом пересування для щоденного використання. Сьогодні жителі міста люблять називати приватні автомобілі «Louisiana Autos»: Луїзіана — це художній музей на півночі Копенгагена. Багато людей користуються своїми автомобілями лише для того, щоб їхати до музею по суботах. Бо велосипедисти в Копенгагені мають перевагу, що місто дуже рівне, а клімат ніколи не буває надто спекотним чи надто холодним, якщо їздити на засобах мікромобільності. І останнє, але не в останню чергу, протягом поколінь

існувала політична готовність інвестувати в безпечну, структурно відокремлену велосипедну інфраструктуру, що зображена на рисунку 2.13.

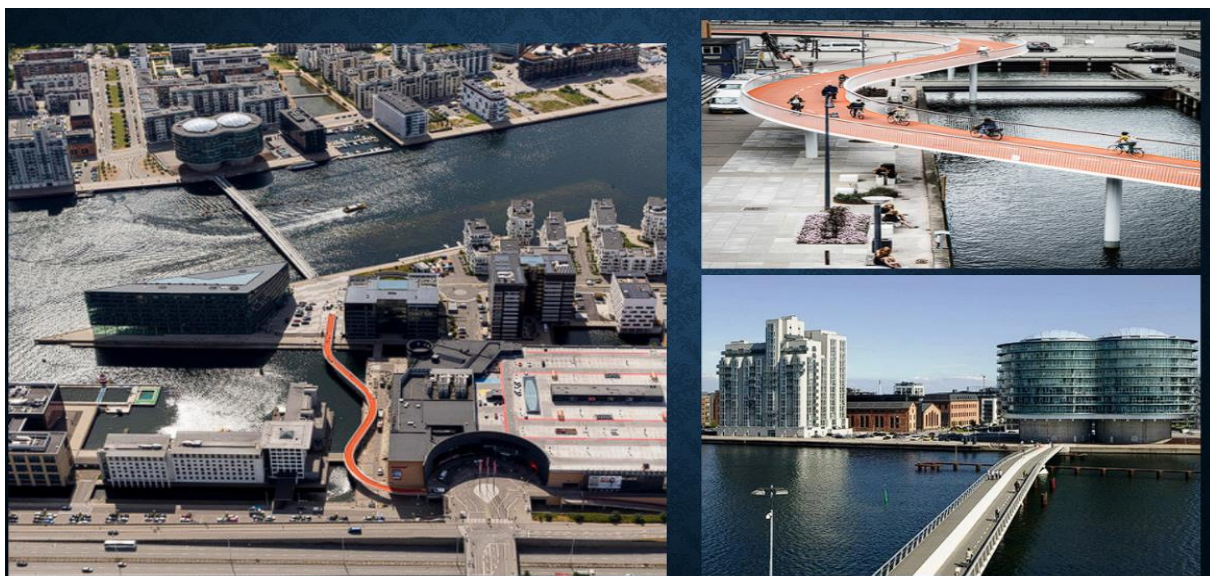


Рис. 2.13. Велоінфраструктура в місті Копенгаген

В місті велосипедні доріжки відокремлені від моторизованого руху бордюром. У деяких місцях також використовуються припарковані автомобілі, щоб створити своєрідну захисну стіну від транспортного потоку. Але загалом вважається, що повністю відокремлена інфраструктура є незамінною для щоденного їзди на велосипеді містом. Зараз в Копенгагені розширюються велосипедні доріжки з двох до чотирьох метрів, тому що стало дуже багато велосипедистів, і не кожен велосипед є класичним. Багато людей сьогодні користуються електросамокатами, електронними велосипедами або використовують більші вантажні велосипеди. Велосипед став різноманітнішим – за типами велосипедів, швидкістю, а також групами використання. Однак для безпечного їзди на велосипеді важлива не тільки велосипедна інфраструктура, а й те, що навколо неї: щоб зробити засоби мікромобільності безпечнішим, ми повинні сповільнити рух автомобілів і дозволити менше транспортних засобів у центрі міста. Це викликає багато політичних дискусій [17].

Висновки до розділу

1. Розглянуто досвід міста Мілан, де активно досліджуються і впроваджуються роботи щодо створення нових громадських просторів шляхом усунення зайвих доріг і перехресть за допомогою серії експериментальних тимчасових, швидких і економічно ефективних проектів.

2. Проведено дослідження розвитку інфраструктури для засобів мікромобільності в м. Вінниця, розглянуто майбутні плани щодо її розбудови, а також проаналізовано результати опитування жителів даного міста і визначено основні проблеми, а саме: «розірваність» веломережі, неефективне об'єднання потоку користувачів засобів мікромобільності та пішоходів, і не менш важливе – зношене асфальтне покриття.

3. Для ефективного впровадження транспортної мережі засобів мікромобільності в м. Житомирі необхідно враховувати досвід вищерозглянутих міст.

Розділ 3

Впровадження інфраструктури та прокату засобів мікромобільності в м. Житомирі

3.1. Необхідність розповсюдження засобів мікромобільності

Серед речей, яких нам найбільше не вистачає в наших містах в часи карантину та війни, одна з основних, зокрема, залишається універсальною необхідною потребою: пересування. Таким чином, стає дедалі актуальнішим пошук рішень для адаптації міста – особливо інфраструктури та громадських місць – до нових заходів соціального дистанціювання, необхідних для співіснування з COVID-19 та проблемами в пересуванні під час війни, особливо коли є проблема з електропостачанням, внаслідок чого відміняється курсування електротранспорту, а також досить хороша нагода для покращення умов життя населення, в тому числі і підтримання здоров'я за рахунок активного життя. Але в найближчі місяці мобільність доведеться змінити, намагаючись знайти новий баланс, який керуватиме пересуванням людей і забезпечуватиме їх захист від ризику зараження. Хоча використання громадського транспорту, ймовірно, значно скоротиться через діючі обмежувальні заходи, подорожі автомобілями можна вважати безпечнішим рішенням, що призведе до поступового збільшення трафіку, що буде нестійким для наших міст з точки зору заторів (особливо в години пік); рівні викидів CO₂, NO_x, твердих часток і парникових газів; крім того, збільшення трафіку матиме негативний вплив з логістичних причин, враховуючи, наприклад, обмежену доступність паркувальних місць.

Таким чином, існує невідкладна потреба розглянути та діяти щодо зниження попиту на мобільність та пропозиції альтернатив. Ми повинні шукати новий баланс, який дозволить громадянам зробити ефективний, безпечний і стійкий вибір мобільності у відповідь як на нову надзвичайну ситуацію, так і на існуючі міські виклики. Якщо, з одного боку, буде необхідно гарантувати деякі види приватних транспортних засобів

(наприклад, позаміські перевезення, зокрема товарів і вантажів), або для тих, хто їх потребує (наприклад, люди з обмеженими можливостями), з іншого боку, дуже важливо створити умови для компенсації скорочення послуг громадського транспорту, особливо для людей, які не мають альтернативи: скорочення поїздок, сприяння віддаленій роботі, зміна розкладу міста, скорочення відстаней, підвищення рівня сусідства та заохочення коротших подорожей.

Дослідження спрямоване на створення інтегрованої основи для розумних міст, розумної мобільності та спільної мікромобільності. Концепція розумного міста має потенціал для зменшення впливу міської мобільності на навколишнє середовище та збільшення використання спільного режиму мікромобільності. У цьому контексті вуглецевий слід міської мобільності можна зменшити за допомогою ефективної політики, яку необхідно запровадити.

Щоб урізноманітнити пропозицію мобільності, з'являється необхідність у пошуку альтернативних, більш здорових рішень для підтримки колективного транспорту. Якщо ідея заохочення ходьби та використання засобів мікромобільності була цінною у «нормальні» часи, вона стає ще важливішою та стратегічною під час майбутньої фази «нової нормальності». Найкращий спосіб пересуватися та інтегрувати фізичну активність у місті також буде найпростішим: піші прогулянки та їзда на тому ж самому велосипеді.

Ходьба є необхідною потребою, а також найпростішим і найприроднішим способом пересування, особливо на короткі відстані. І на даному етапі експерти віддають перевагу засобам мікромобільності як найбезпечнішу альтернативу громадському транспорту. Виникають деякі питання:

- Чи можемо ми заохочувати використання активної мобільності для повсякденних подорожей шляхом розвитку спеціальної мережі для велосипедистів і пішоходів?

- Як ми можемо сприяти дотриманню заходів безпеки щодо соціального дистанціювання на вузьких, часто нерівних тротуарах, де іноді їздять автомобілі?
- Чи може криза охорони здоров'я стати можливістю переосмислити та реорганізувати вулиці як громадські місця в людському масштабі та як центр життя сусідів?

Незважаючи на те, що останніми роками технологічний розвиток прискорився, міська адміністрація лише почала відкривати переваги, які сучасні технології та нові бізнес-моделі можуть принести містам, і використовувати можливості, які надає інформація. Така ситуація призвела до появи концепції «розумного міста». Концепція розумного міста акцентує увагу на ролі інформаційно-комунікаційних технологій. Розумні міста сприяють задоволенню потреб та очікувань міського життя швидше, ефективніше та якісніше. Метою розумних міст є підвищення якості життя мешканців міста, покращення якості навколишнього середовища та забезпечення сталого розвитку міст за допомогою ІКТ. Це показує, що розумні міста є не лише технологічно заснованими, але й процесами, які слід розглядати з широкою перспективою з урахуванням характеристик суспільства. Однак транспорт створює різні проблеми для екологічної стійкості та якості життя. Політика розумного міста сприяє потребам і очікуванням міського життя швидше, ефективніше та якісніше. Міська мобільність має вирішальне значення в практиці органів місцевого самоврядування щодо підвищення якості життя мешканців міста в рамках політики розумного міста. Таким чином, можна легше відповідати екологічним очікуванням, надаючи екологічно чисті та інноваційні послуги розумної мобільності. Розумна мобільність є найважливішою системою у розумних містах, які спрямовані на створення більш зеленого середовища та кращого життя людей [18].

3.2. Розміщення станцій прокату засобів мікромобільності в м. Житомирі

Прокат засобів мікромобільності включають спільне використання велосипеда чи електровелосипеда та скутера чи електросамоката.

У системі спільного використання велосипедів користувачі можуть орендувати велосипед на станції, яка розташована в іншій частині міста, і повернути його на будь-яку станцію після завершення поїздки. Сервіси спільного використання велосипедів стрімко розвиваються в усьому світі. Сьогодні система спільного використання 500 000 велосипедів підтримує більш ніж 49 країн і 500 міст. Система байкшерингу складається з трьох моделей обслуговування. У системах спільного використання велосипедів на станції користувачі забирають велосипед на одній станції та залишають його на іншій. У безстіжкових системах спільного використання велосипедів першою та останньою точками велосипеда є попередньо визначене місце розташування, яке залежить від зручності [19]. У гібридних системах спільного використання велосипедів користувачі можуть забрати велосипед на станції або в заздалегідь визначеному місці та залишити його в одному із двох варіантів. Крім того, ці спільні парки велосипедів розподіляються в різних точках мережі в межах різних розмірів географії, наприклад; місто, агломерація, бізнес-центр і університетське містечко [20].

Спільні електросамокати є відносно новим способом спільної мікромобільності. Користувачі можуть отримати доступ до двох моделей послуг залежно від наявності; шеринг на електросамокаті або на мопеді. Спільні постачальники послуг електросамокатів розподіляють парк електросамокатів у різних місцях, і окремі особи мають доступ до них за допомогою програми постачальника послуг. Спільне використання стоячого електричного скутера, це система, яка працює від електрики та підходить для водіння стоячи чи сидячи та має менш суворі ліцензійні вимоги, ніж мотоцикли. Середня відстань проїзду спільних транспортних засобів мікромобільності може відрізнятися залежно від транспортних засобів.

Середня відстань проїзду спільних транспортних засобів мікромобільності може відрізнятися залежно від транспортних засобів. У той час як середня відстань проїзду спільних велосипедів становить від 3,7 км до 11,4 км, середня відстань проїзду електросамокатів становить від 1,9 км до 11 км. На основі цієї інформації можемо сказати, що спільні велосипеди мають більшу середню відстань, ніж спільні електросамокати [21].

В місті Львів було проведено опитування жителів міста компанією Nextbike, щодо розміщення нових станцій прокату засобів мікромобільності, а також супутні запитання на кшталт «для яких цілей вони використовуються», зображення якого показано на рисунку 3.1. Усього проголосувало 1758 людей. Більша частина опитаних це молоді люди до 30 років, але користуватися мережею прокату будуть люди також до 55 років, респонденти старше 55 неактивні користувачі соц.мереж і відмітити їх заінтересованість у проекті спираючись на дані опитування не має можливим [22].



Рис. 3.1. Результати опитування жителів міста Львів

Для визначення місць, в яких можна встановити станції прокату засобів мікромобільності, скористаємося інформацією щодо розселення жителів міста Житомира та встановимо дані станції в густонаселених районах міста, які зображені на рисунку 3.2.

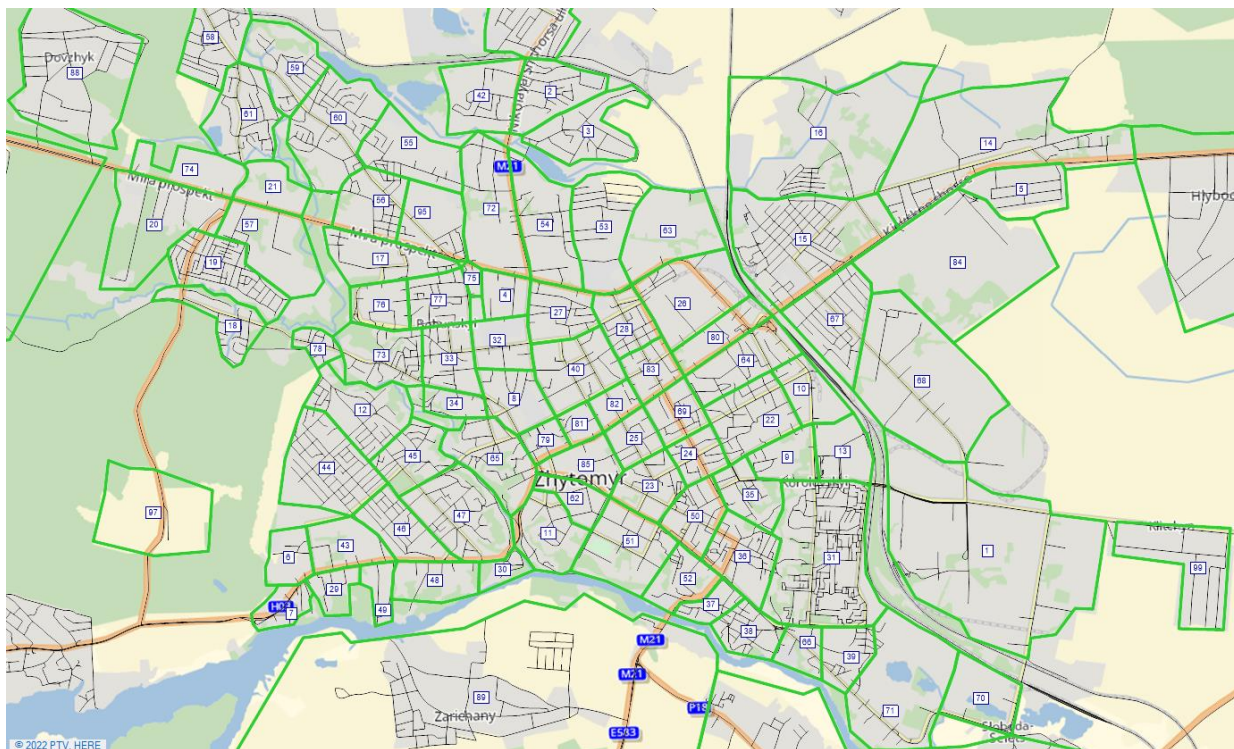


Рис. 3.2. Розподіл міста Житомир на райони

З даних районів, які зображені на рисунку 3.2, необхідно виписати адреси будинків, які показані на рисунку 3.3, за допомогою Google Maps, для подальшої обробки інформації. А також на рисунку 3.4 зображено відмічені густонаселені райони міста.

Район 32(вулиці, будинки): вул. Покровська 51-67непарні, вул. Миколи Спіборського 2-24парні, вул. Перемоги 54-72парні, вул. Ліси Українки 15-33непарні, вул. Юрка Тютюнника 30,23,25, вул. Домбровського 2-30пар.

Район 33(вулиці, будинки): Новопівнічна вулиця 1-31непарні, вул. Перемоги 47-83непарні, майдан Короленка 5,6, вул. Короленка 8-38парні, вул. Чехова, 1-й провулок Чехова, 2-й провулок Чехова, вул. Ліси Українки 1-12, Метеорологічний провулок 8-32парні, 11-35непарні, вул. Котляревського, 1-й Метеорологічний провулок, 2-й Метеорологічний провулок, 3-й Метеорологічний провулок, вул. Новосінна 16-36парні, 21-37непарні.

Район 34(вулиці, будинки): вул. Короленка 3-23непарні, майдан Короленка 3А, 3Б, 3В, 2, 1Б, 3Б, Набережний провулок, вул. Лівобережна річки Кам'янки, вул. Охрімova Гора 9, 14, 12А, вул. Ольжича 26А, 30/12, 24А, 20А.

Район 35(вулиці, будинки): вул. Шевченка 56-80(парні), вул. Східна 2-16(парні), 1-11(непарні), Східний провулок, вул. Корольова 1-23непарні, 12-32 парні, Сільськогосподарський проїзд, Мічурінський провулок, Тихий проїзд Тихий провулок, Цегляний провулок 7А, 9-17непарні, 12-28 парні, вул. Івана Мазепи 4.

Рис. 3.3. Приклад прив'язки адрес до районів

Наступним етапом є співставлення адрес районів до бази даних про прописки населення і отримаємо таблицю 3.1, в якій пронумеровані райони, а також кількість жителів міста, які були розділені за віковими категоріями, відповідно від 0 до 6 років, від 7 до 17 років, від 18 до 60 років та люди, які старше 60 років.

Таблиця 3.1

Густина населеності районів в місті Житомир

Район	0-6	7-17	18-60	60+	Район	0-6	7-17	18-60	60+
1	7	94	303	21	45	82	125	560	204
2	25	89	282	82	46	92	188	1258	503
3	66	141	440	108	47	66	224	823	229
4	13	18	99	32	48	20	63	1337	55
5	6	16	46	14	49	17	44	1246	55
6	10	5	102	27	50	118	445	2094	1002
7	9	31	38	28	51	105	249	1407	699
8	78	93	719	323	52	77	231	1139	533
9	77	196	832	77	53	93	230	775	154
10	97	126	662	163	54	174	425	1680	381
11	117	310	1415	528	55	23	86	288	66
12	66	89	563	118	56	81	259	504	228
13	13	23	93	16	57	133	371	1960	862
14	55	135	549	132	58	68	150	573	146
15	42	39	353	75	59	24	87	291	76
16	20	67	203	52	60	39	141	490	124
17	413	440	2279	2515	61	70	215	701	129
18	30	96	404	73	62	12	35	333	186
19	94	79	674	185	63	2	0	34	3
20	181	358	1998	1087	64	341	870	4574	1908
21	16	4	12	59	65	121	385	1869	719
22	544	1346	6207	2909	66	28	55	311	32
23	123	345	1866	713	67	61	169	515	122
24	101	122	632	365	68	4	59	203	3
25	48	256	1597	608	69	83	437	2246	987
26	87	171	854	427	70	27	51	223	65
27	89	90	787	308	71	36	65	397	111
28	110	307	1571	605	72	534	1499	7141	2760
29	77	27	569	221	73	47	146	776	133
30	12	0	99	29	74	23	46	183	68
31	677	1823	9907	3617	75	10	6	11	0
32	85	167	703	526	76	169	288	1730	721
33	168	293	2230	828	77	130	124	1254	223

34	22	34	339	135	78	27	37	228	46
35	49	141	496	217	79	157	398	2160	966
36	126	469	1768	459	80	13	2	249	105
37	21	61	181	72	81	72	170	1014	539
38	19	82	221	74	82	80	200	1353	647
39	14	42	204	81	83	176	298	2504	1145
40	458	1282	7310	3327	84	0	0	2	2
41	100	232	1030	139	85	9	63	364	184
42	90	244	585	119	95	84	151	703	172
44	114	132	1013	247					

Виходячи з даних таблиці 3.1, ми можемо визначити густонаселені райони міста та встановити в них системи прокату засобів мікромобільності. Система велопрокату є хорошою альтернативою для пересування на невеликі відстані мешканцями та відвідувачами міста. Ця система є зручною для тих, хто не має місця зберігати власний велосипед вдома чи, наприклад, в гуртожитках. Наприклад, студенти Житомирського державного університету імені Івана Франка можуть дістатися від гуртожитків до місця навчання велосипедом за 10-15 хв., в той час як громадським транспортом – за 20-25 хв., а пішки – майже за 30 хв.. Крім того, система міського велопрокату зможе підсилити Пріоритет зовнішнього сполучення міста. Дістатися майдану Соборного від так званих «воріт міста», Залізничного вокзалу, або від Автостанції можна буде за досить короткий час. Використання велопрокату дозволить розвантажити громадський транспорт і вулично-дорожню мережу загалом.

Планування системи байк-шерінгу повинно задовольняти такі вимоги:

- Мінімальна площа покриття системи - 10 км²;
- Щільність розташування станцій – 10-16 станцій на 1 км²;
- Велосипедів/мешканців: 10-30 велосипедів на кожну 1000 мешканців (у межах зони покриття);
- Відношення кількості док-місць до кількості велосипедів: 2-2,5 док-місця на кожен велосипед [23].

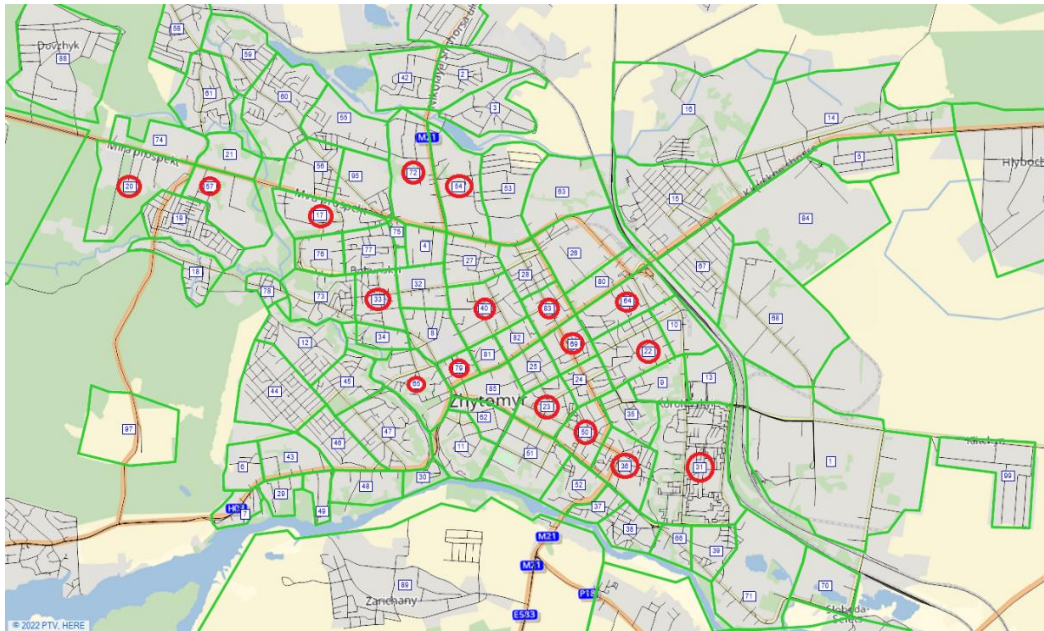


Рис. 3.4 Відмічені густонаселені райони

Спільна мікромобільність — це інноваційна транспортна стратегія, яка дозволяє користувачам мати короткостроковий доступ до виду транспорту, коли їм це потрібно. Спільна мікромобільність включає в себе спільне використання велосипедів, електровелосипедів, електросамокатів і електромопедів. Ці спільні транспортні засоби мікромобільності продовжують ідентифікувати як потенційне рішення проблеми «першого та останнього кілометра» доступу до громадського транспорту. З іншого боку, очікується, що економіка спільного використання та інновації в інформаційних технологіях, які виходять за рамки традиційних моделей транспорту та власності, покращать міську транспортну систему шляхом зменшення використання приватних автотransпортних засобів. Тому спільну мікромобільність часто позиціонують як ключовий компонент розумної мобільності та розумних міст [24].

Стала міська мобільність, як відомо, є однією з найкращих практик для формування структури мікромобільності, а також підтримує присутність зацікавлених сторін незважаючи на звичні нам підходи до планування. Транспортні засоби мікромобільності з'являються як концепція застосування, яка допоможе змінити в кращу сторону поточну мобільність і показувати

нові рішення проблем міста [25]. Міста, які зазнали технологічно-орієнтованої трансформації мобільності, почали акцентувати свою увагу на використанні та розповсюдженні транспортних засобів мікромобільності [26].

Не кожна країна має спеціальні правила щодо спільної мікромобільності, оскільки це нова система. Відсутність спеціальних правил збільшує кількість парків велосипедів та електросамокатів. Деякі оператори запускають занадто багато спільних транспортних засобів, щоб залучити більше клієнтів. Через це, системи спільного використання велосипедів закупаються настільки, що зазвичай потрібні лише 15% наявних велосипедів. Ця ситуація збільшує кількість покинутих транспортних засобів і спричиняє засмічення тротуарів. Крім того, зростання кількості спільних транспортних засобів негативно впливає на навколишнє середовище через викиди, які виникають протягом.

3.3. Розробка інфраструктури для засобів мікромобільності в м. Житомирі

Під час реконструкцій вулиць Житомира необхідно передбачати велоінфраструктуру, що зображена на рисунку 3.5, яка б могла сполучати мікрорайони міста з центром. Щодо дороги, яка виділена синім фоном на рисунку 3.5, яка знаходиться в західному мікрорайоні м. Житомира (Мальованка), то даний маршрут можливий, якщо буде виділена окрема полоса для громадського транспорту нової тролейбусної вітки. Вулиці вищевказаного мікрорайону дуже вузькі, і тому передбачати окремо інфраструктуру для засобів мікромобільності не є дуже доречним.

Ідейна платформа для створення ініціативи з популяризації засобів мікромобільності та розбудови велоінфраструктури, наступна:

- Велосипед та інші засоби мікромобільності - це транспорт, що не забруднює довкілля, не створює шкідливих викидів та шуму.
- є корисним для здоров'я та підвищує рівень безпеки у місті.

- велоінфраструктура зробить місто безпечним комфортним для мешканців.

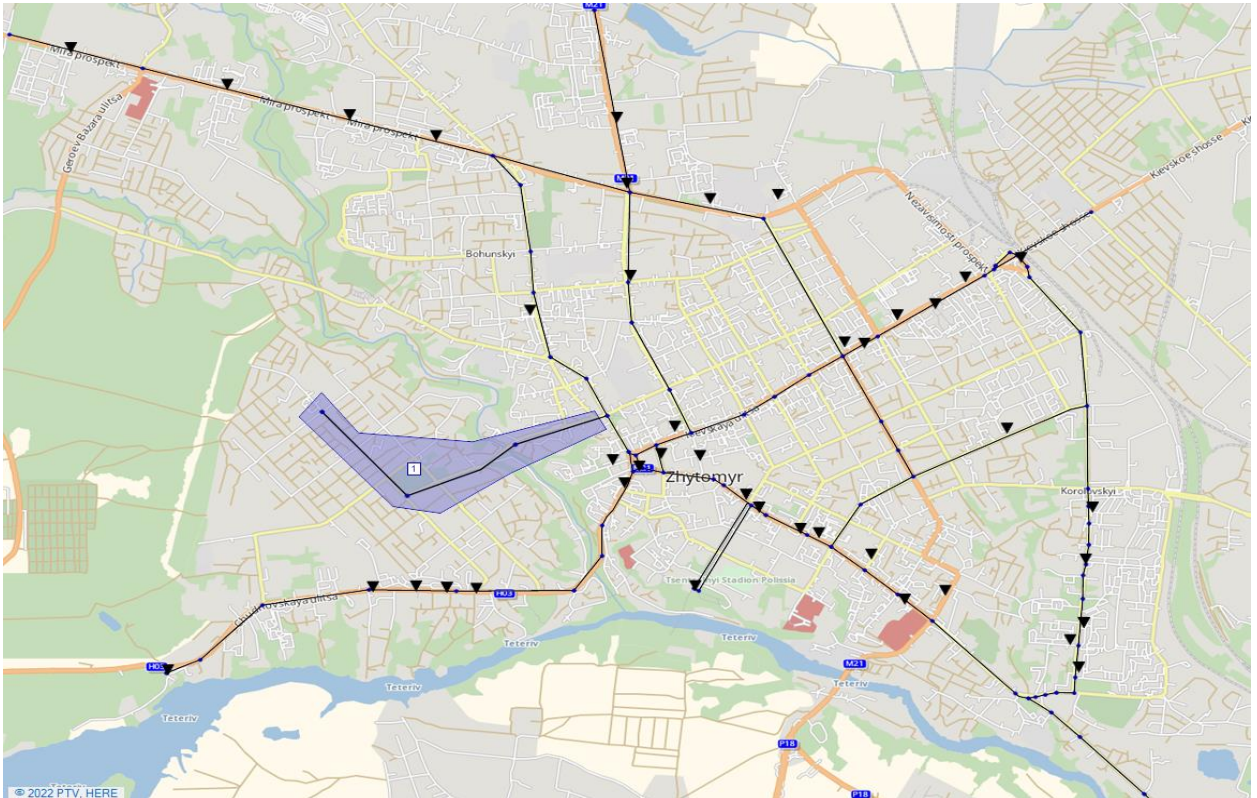


Рис. 3.5. План інфраструктури для засобів мікромобільності в м. Житомирі

На карті, що зображена на рисунку 3.5, представлені можливі локації розташування станцій міського велопрокату та електросамокатів, які відображені чорними трикутниками. Вони розміщені як в громадських місцях, так і в густонаселених районах міста. Перелік запропонованих станцій:

- ТРЦ Глобал UA;
- Гідропарк
- Шодуарівський парк та прилеглі зупинки
- Житомирський державний університет ім. Івана Франка
- Автовокзал
- Залізничний вокзал станції Житомир
- Державний університет «Житомирська політехніка»

- Житомирський торгівельно-економічний коледж Київського національного торгівельно-економічного університету
- Житомирський базовий фармацевтичний фаховий коледж Житомирської обласної ради
- Зупинка Телерадіокомпанія UA:Житомир
- Перелік густонаселених районів, для встановлення станцій прокату: 17,20,22,23,28,31,33,36,40,50,54,57,64,65,69,72,79,83, ілюстрація яких зображена на рисунку 3.6.

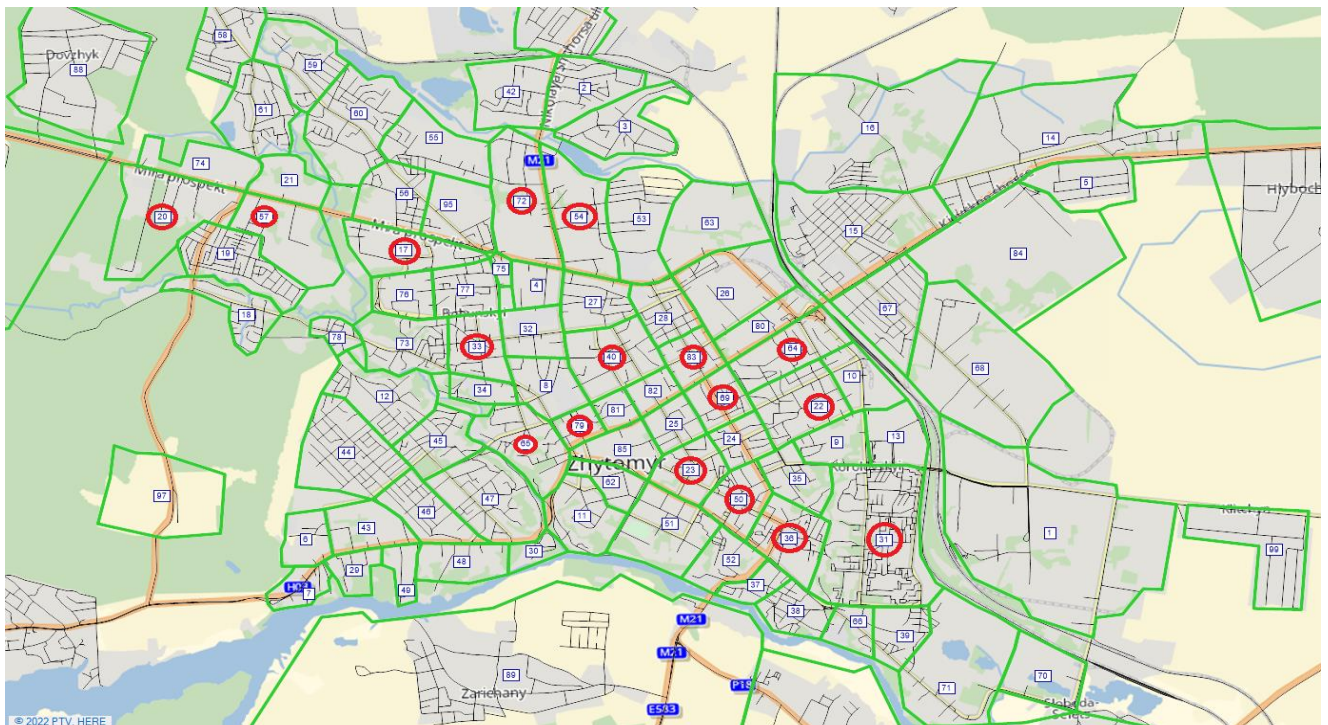


Рис. 3.6. Відмічені густонаселені райони, в яких можна розташувати станції прокату

Які «плюси» в даній сфері має наше місто? Уряд дозволив велосипедистам та користувачам інших засобів мікромобільності рухатись смугою для громадського транспорту. Для цього ухвалили спеціальну постанову, яка вносить зміни у Правила дорожнього руху. Рішення ухвалили для розвитку велосипедної інфраструктури та зменшення травматизму серед велосипедистів. Тепер Правила дорожнього руху містять наступне визначення: “Смуга для руху маршрутних транспортних засобів призначена

для руху транспортних засобів, що рухаються за встановленими маршрутами, та велосипедистів, якщо рух такою смугою здійснюється попутно загальному потоку транспортних засобів [27]. Дія знака 5.11, який показаний на рисунку 3.7, що вказує на смугу для руху маршрутних транспортних засобів, поширюється на смугу руху, над якою він установлений. Якщо знак установлений праворуч від дороги, його дія поширюється на праву смугу руху [28]. А отже, немає потреби вкладатися в інфраструктуру з «нуля».



Рис. 3.7. Знак 5.11, Смуга для руху маршрутних транспортних засобів

Вся велоінфраструктура перетинається в центрі міста, де знаходиться круговий рух. Постає питання, як відділити велосипедистів, навіть якщо вони рухаються по смузі громадського транспорту? Один з найпростіших варіантів – це з'їзди на тротуар і нанести розмітку для засобів мікромобільності біля пішохідної, як зображено на рисунку 3.8.



Рис. 3.8. Організація інфраструктури для засобів мікромобільності на круговому русі

Розбудова інфраструктури потрібна великій кількості велосипедистів міста, які зараз змушені пересуватися дорогами і ризикувати власним життям та здоров'ям. Саме тому створення комплексної та якісної велоінфраструктури є запорукою безпеки у місті та важливою альтернативою міському транспорту та приватним автомобілям.

Також необхідно згадати про так звані «велогаражі» для паркування засобу мікромобільності на тривалий час, адже необхідно це все десь зберігати при пересуванні на навчання або роботу. Найпростішим є конструювання боксів, приклад яких зображено на рисунку 3.9.



Рис. 3.9. Приклад вело-боксів

Близько 46% щоденних пересувань здійснюються громадським транспортом, в той час як приватними автомобілями здійснюється 15% пересувань. Це означає, що 15% користувачів створюють затори, від який страждає майже половина містян. Як показує практика, більше ніж 30% від всіх поїздок у місті здійснюються на відстань, меншу ніж 3 км, а близько 50% становлять поїздки до 5 км. Велосипед є найшвидшим видом транспорту для поїздок на таку дистанцію. Використання велосипеда замість автомобіля

на короткі відстані дозволяє зменшити завантаженість доріг і відповідно, знизити економічні втрати від заторів.

Використання засобів мікромобільності також заміняє подорожі громадським транспортом. Забираючи пікове навантаження системи громадського транспорту, особливо у години пік, коли вартість найвища, їзда на велосипеді може допомогти зменшити субсидіювання для громадського транспорту. Якщо громадські веломережі вважати частиною громадського транспорту, це також допомагає зменшити тиск на інші ланки транспортної системи [15].

Майже кожен 5-й автомобіліст не звертає уваги на захисні смуги та велодоріжки і використовує їх для зупинки та паркування. До цього додається той факт, що автомобільний, вантажний і автобусний транспорт проїжджає занадто близько від велосипедистів. Дослідницький проект UDV (German Insurers Accident Research) показує, що кожен другий моторизований транспортний засіб не підтримує мінімальну бічну дистанцію в 1,5 метра при проїзді: 15% дотримуються дистанції менше одного метра, майже один відсоток менше півметра. Причиною цього є те, що проїжджаючі повз моторизовані транспортні засоби орієнтуються особливо за розміткою смуги і лише недостатньо реагують на положення велосипедистів [29].

Висновок до розділу

1. Надано пропозиції щодо розвитку мікромобільності в м. Житомирі:

- Спільні системи мікромобільності слід використовувати для поїздок на короткі відстані, забезпечуючи інтеграцію з громадським транспортом;
- Слід заохочувати та популяризувати використання спільних засобів мікромобільності з метою покращення екологічних показників.

2. Проаналізовано 99 транспортних районів м. Житомира з базами даних мешканців та запропоновано встановлення 18 станцій прокату засобів мікромобільності в густонаселених районах.

3. Створена транспортна мережа для засобів мікромобільності в м.Житомирі в програмному забезпеченні PTV Visum.

Розділ 4

Аналіз викидів на перехресті до і після використання засобів мікромобільності

4.1. Аналіз місць з підвищеним рівнем викидів та зміни після впровадження засобів мікромобільності

Мікромобільність – спосіб, який надає рішення, які дозволяють містам ефективно обслуговувати своїх користувачів із найкращою якістю, особливо коли існують обмеження з точки зору заторів, інтенсивності руху, великих викидів вуглецю, проблем з паркуванням або тривалого часу в дорозі. Спільні види мікромобільності, стійкий вид транспорту, який може замінити поїздки на короткі відстані та інтегруватися з громадським транспортом. Це свідчить про те, що спільна мікромобільність є інноваційною транспортною стратегією, яка потенційно може забезпечити екологічні переваги. Спільні транспортні засоби мікромобільності були розгорнуті в окремих областях, щоб забезпечити людям рівний просторовий доступ до системи. Зазвичай ці райони знаходяться поблизу зупинок громадського транспорту. Більшість станцій байкшерингу в європейських країнах розташовані біля станцій метро або автобусів. Багато дослідників розповідають, що станції прокату засобів мікромобільності не повинні бути на відстані більше 200–220м. Це сприяє екологічним перевагам міської мобільності шляхом збільшення використання спільних автомобілів і інтегрованого громадського транспорту для поїздок на перший і останній кілометр.

Невеликі зміни в транспортних звичках громадян можуть значно скоротити їхній вуглецевий слід. Більше того, навіть стиль водіння дуже впливає на забруднення навколишнього середовища, про що показано на рисунку 4.1. Підтримка ефективної швидкості є важливим фактором економії палива. Оптимальної ефективності можна очікувати під час руху на постійній швидкості, мінімальному газі та з трансмісією на найвищій передачі [30].

Оптимальна швидкість залежить від типу автомобіля, хоча зазвичай повідомляється, що вона становить від 60 км/год до 80 км/год [31].

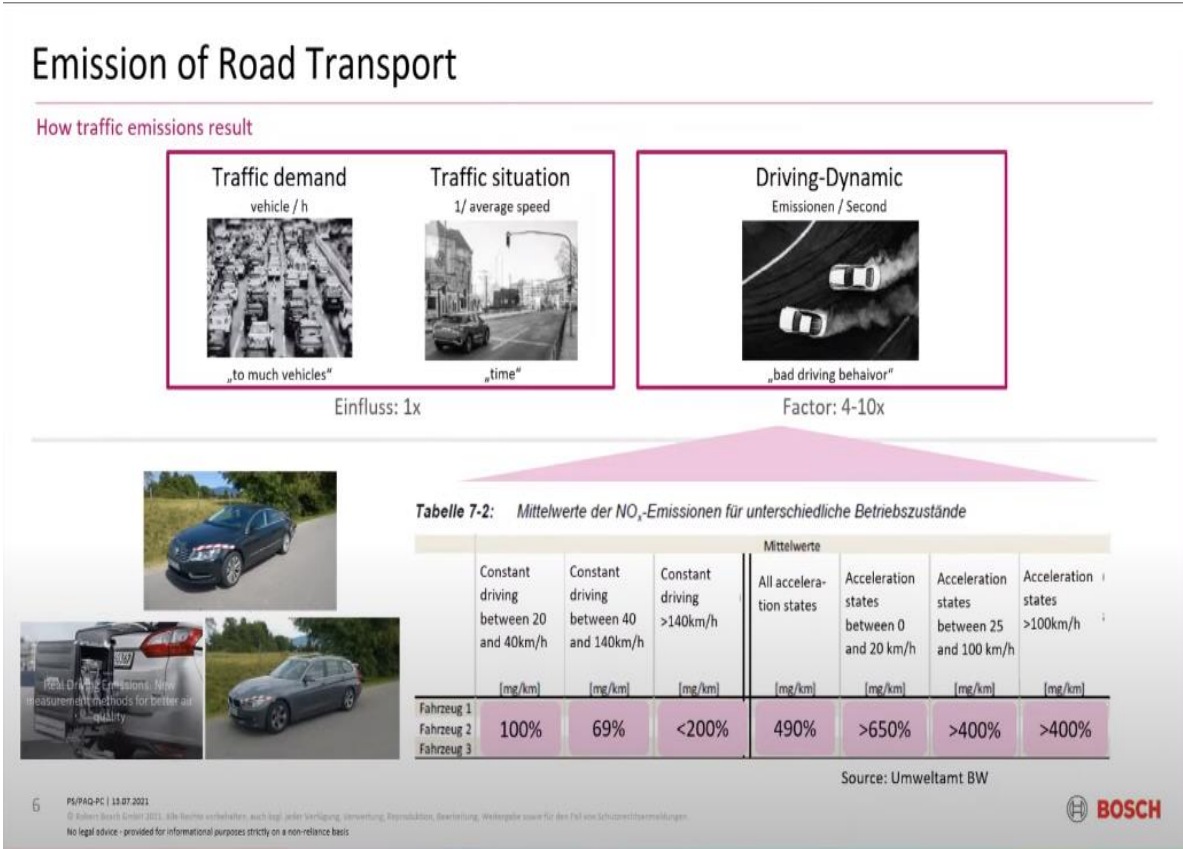


Рис. 4.1. Вплив стилю водіння на навколишнє середовище

Значний вплив на екологічну ситуацію в місті вносить їзда в перевантаженому русі, що характеризується частими зупинками, коливаннями швидкості руху та частими зупинками на перехрестях, що характеризується високим споживанням палива. На рисунку 4.2 зображено пік зростання викидів на перехресті, а отже в основному найбільше викидів від автомобільного транспортного засобу відбувається не під час руху, а саме в режимі холостого ходу та під час початку руху [32].

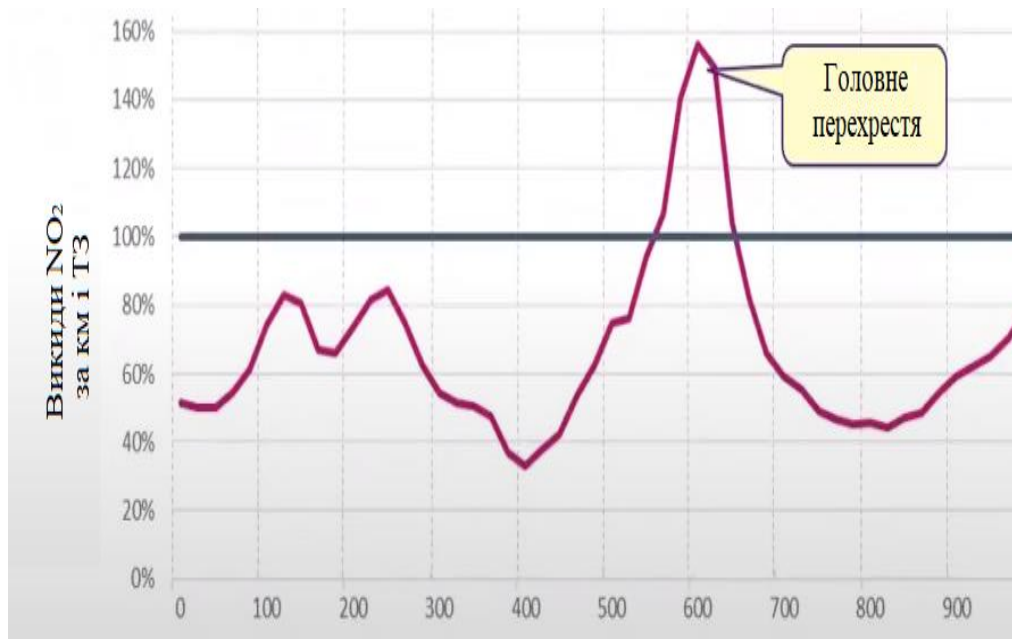


Рис. 4.2. Пікове значення викидів на перехресті

4.2. Аналіз зміни викидів на перехресті Київська-Театральна

Вибір засобів мікромобільності замість автомобіля лише раз на день зменшує викиди вуглекислого газу від приватного автомобільного транспорту громадянином на 67% [33]. Навіть якщо не всі поїздки на автомобілі можна замінити поїздками на велосипеді, потенціал для зменшення викидів залишається дуже високим. У той час як політика населення, як правило, зосереджена на поїздках на роботу і назад, виявляється, що поїздки з метою відпочинку, як-от шопінг або соціальні візити, частіше здійснюються на автомобілі. Ці поїздки, як правило, значно коротші, що збільшує потенціал для переходу до пішої прогулянки або їзди на велосипеді.

За допомогою PTV Vissim проаналізуємо викиди на перехресті Київська-Театральна. Вигляд перехрестя зображено на рисунку 4.3. Також на рисунку позначено напрямки руху транспортних засобів та інтенсивність за напрямками. На даному перехресті працює світлофор, циклограми якого показаними на рисунку 4.4.

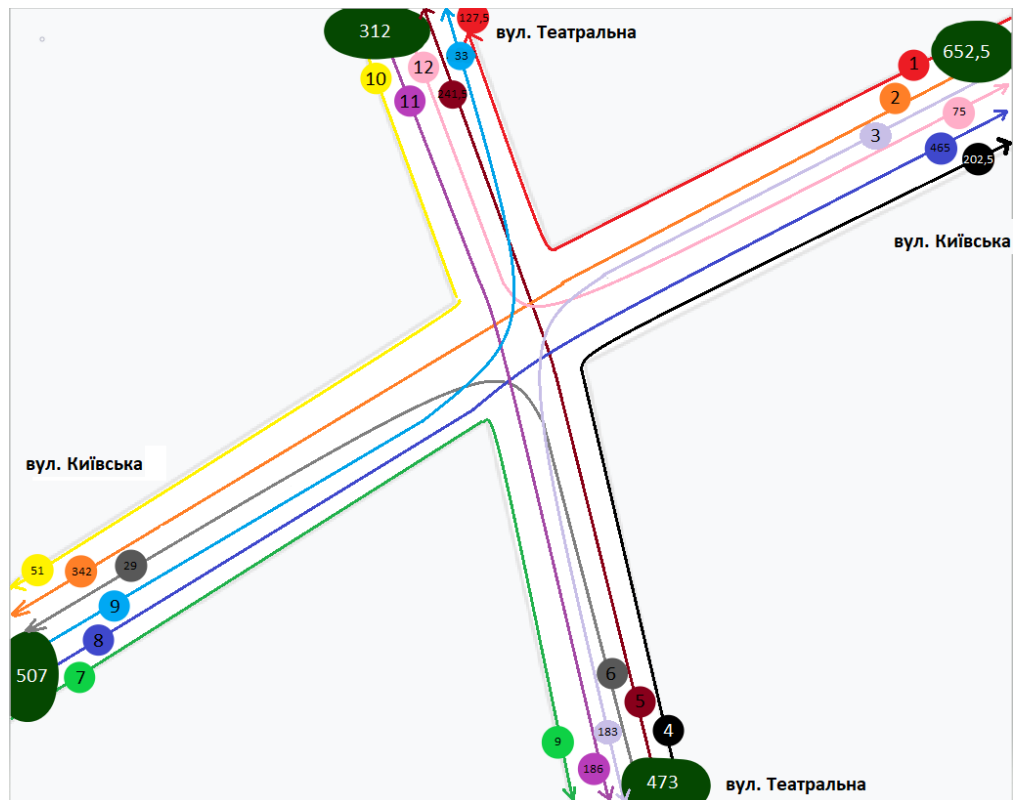


Рис. 4.3. Перехрестя Київська-Театральна



Рис. 4.4. Циклограми роботи світлофора на перехресті

Досліджуваними забруднювачами є оксиди азоту (NO_x), окис вуглецю (CO) та леткі органічні сполуки (VOC).

Для початку необхідно створити «вузол» в моделі Vissim, який проведе імітацію дорожнього руху за 1 годину, з урахуванням всіх видів транспорту, часу простою на світлофорі тощо. Методика дослідження наступна:

- Була нанесена карта дорожньої мережі

- Додані навантаження автомобіля на погодинній основі за час дослідження;
- Додано загальну структуру транспортних засобів;
- Додано світлофорні програми на період дослідження разом з розкладом зміни програм в залежності від часу;
- Світлофори на перехрестях;
- Були додані розклади руху громадського транспорту, а також інфраструктура, така як автобусні зупинки, місця очікування пішоходів;
- Були призначені допустимі швидкості на окремих ділянках;
- Швидкості в межах перехрестя були обмежені;
- Додано пішохідний рух;
- Додані точки вимірювання.

В таблиці 4.1 зображено кількість викидів монооксиду вуглецю (CO), оксидів азоту (NO_x) та VOC в грамах за напрямками, що показані на рис. 4.3 на перехресті Київська-Театральна до впровадження засобів мобільності. Також таблиця містить витрату палива на кожному перехресті за тих же умов.

Таблиця 4.1

Результати емісії до впровадження інфраструктури для засобів
мікромобільності

Напрямок	CO,г	NO _x ,г	VOC,г	Витрата палива, л
1	6,905	1,343	1,6	0,37
2	14,419	2,805	3,342	0,78
3	7,927	1,542	1,837	0,44
4	16,046	3,122	3,719	0,88
5	2,429	0,473	0,563	0,14
6	4,799	0,934	1,112	0,26
7	12,257	2,385	2,841	0,67
8	18,925	3,682	4,386	1,03

9	86,197	16,771	19,977	4,68
10	31,298	6,089	7,254	1,69
11	7,189	1,399	1,666	0,39
12	73,354	14,272	17	3,98
ВСЬОГО	281,745	54,817	65,297	15,31

Далі проведемо імітацію користуючись програмою PTV Vissim з урахуванням зменшення кількості транспортних засобів з мінімальними очікуваннями до 15%, а також за умови використання велоінфраструктури на даній ділянці міста, результати чого зображено в таблиці 4.2.

Склад транспорту після впровадження засобів мікромобільності зображений на рисунку 4.5. Після впровадження мобільності склад транспортних засобів були наступними: автомобілі (Car – 66%), вантажівки (HGV – 12%), автобуси (22%).

Count: 4	VehType	DesSpeedDistr	RelFlow
1	100: Car	50: 50 km/h	0.510
2	200: HGV	50: 50 km/h	0.120
3	300: Bus	50: 50 km/h	0.220
4	610: Bik...	15: 15 km/h	0.150

Рис. 4.5. Склад транспорту після введення мікромобільності

На рисунку 4.5 в третій колонці позначено розподілення швидкості транспортних засобів. Для велосипедів (Bike) швидкість складає 15 км/год.

Таблиця 4.2

Результати викидів після впровадження інфраструктури для засобів мікромобільності

Напрямок	CO,г	Nox,г	VOC,г	Витрата палива, л
1	36,72	7,144	8,51	1,99
2	0,372	0,072	0,086	0,02
3	3,325	0,647	0,771	0,18
4	15,634	3,042	3,623	0,85
5	31,768	6,181	7,363	1,72

6	4,609	0,897	1,068	0,25
7	8,063	1,569	1,869	0,44
8	20,494	3,987	4,75	1,11
9	27,149	5,282	6,292	1,47
10	18,901	3,677	4,38	1,03
11	6,338	1,233	1,469	0,34
12	18,845	3,667	4,368	1,02
ВСЬОГО	192,218	37,398	44,549	10,42

Формула розрахунку споживання палива, яка використовується в програмному забезпеченні PTV Vissim виглядає наступним чином:

$$F = L \times k_1 + TD \times k_2 + S \times k_3, \quad (4.1)$$

де $k_1 = 0.075283 - 0.0015892 \times V + 0.000015066 \times V^2$;

$$k_2 = 0.7329;$$

$$k_3 = 0.0000061411 \times V^2;$$

F – кількість витраченого палива (гал);

V - середня швидкість транспортного засобу (миль/год);

L – загальна відстань (миль);

TD (total delay) - загальна затримка сигналу світлофору (год);

S – загальна кількість зупинок автомобіля за годину (авто/год) [34].

Приклад вихідних даних (після впровадження мікромобільності), а саме час затримки (ТСЗатерж), час затримки пішоходів (ВрЗатержки), час простою транспортного засобу (ВрПрост), кількості зупинок (Остановки), за якими розраховується кількість спожитого палива зображені на рисунку 4.6.

напрямки	ТСЗатерж(Всe)	ВрЗатержки(Вс...	ВрПрост(Всe)	Остановки(Всe)	ЕмисCO	ЕмисNox	ЕмисVOC	РасхТопл
1	11,88	11,88	6,55	4,93	36,720	7,144	8,510	0,525
3	1,27	1,27	0,00	0,00	3,325	0,647	0,771	0,048
2	1,21	1,21	0,00	0,00	0,372	0,072	0,086	0,005
5	23,15	23,15	11,74	12,20	31,768	6,181	7,363	0,454
4	17,39	17,39	10,07	2,89	15,634	3,042	3,623	0,224
6	14,71	14,71	7,47	0,33	4,609	0,897	1,068	0,066
8	25,48	25,48	14,24	2,15	20,494	3,987	4,750	0,293
7	12,43	12,43	7,42	0,40	8,063	1,569	1,869	0,115
9	9,31	9,31	4,73	0,64	27,149	5,282	6,292	0,388
11	12,18	12,18	6,62	0,45	6,338	1,233	1,469	0,091
12	13,05	13,05	5,09	1,32	18,845	3,667	4,368	0,270
10	8,48	8,48	4,62	0,48	18,901	3,677	4,380	0,270

Рис. 4.6. Вихідні дані після впровадження засобів мікромобільності

Діаграми співвідношення викидів до і після впровадження засобів мікромобільності в місті Житомирі зображені на рисунках 4.7, 4.8 та 4.9. А також, на рисунку 4.10 зображено співвідношення витрати палива за напрямками.

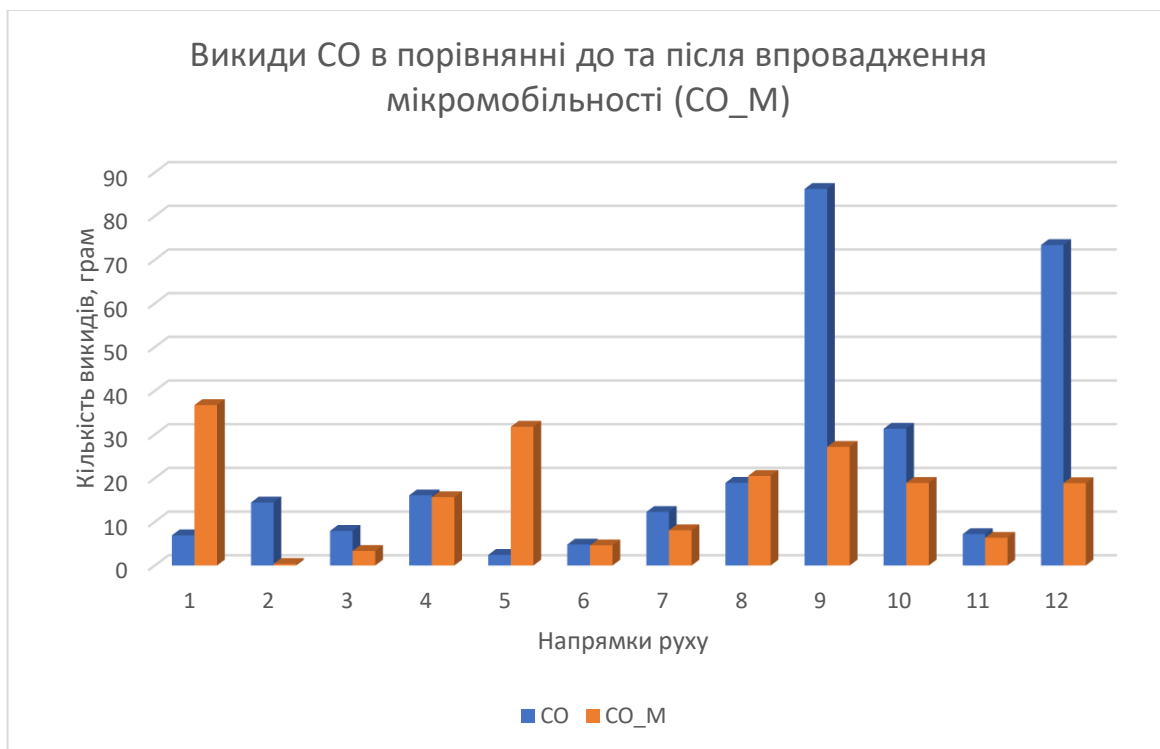


Рис. 4.7. Викиди CO в порівнянні до та після впровадження мікромобільності (CO_M)

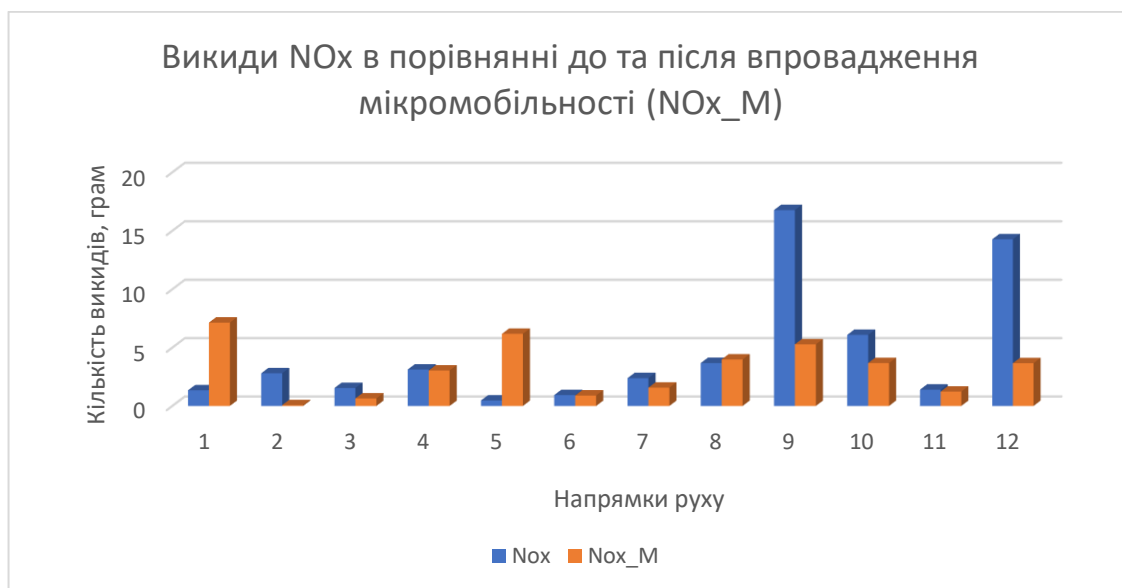


Рис 4.8. Викиди NOx в порівнянні до та після впровадження мікромобільності (NOx_M)

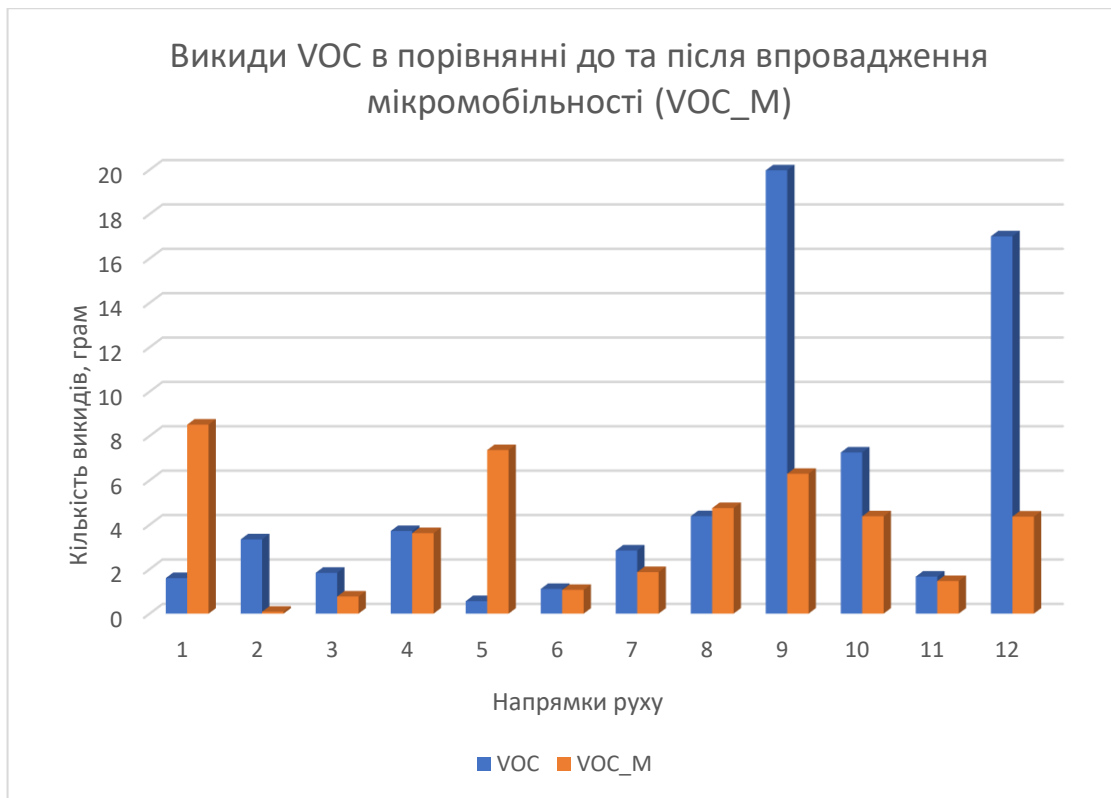


Рис 4.9. Викиди VOC в порівнянні до та після впровадження мікромобільності (VOC_M)

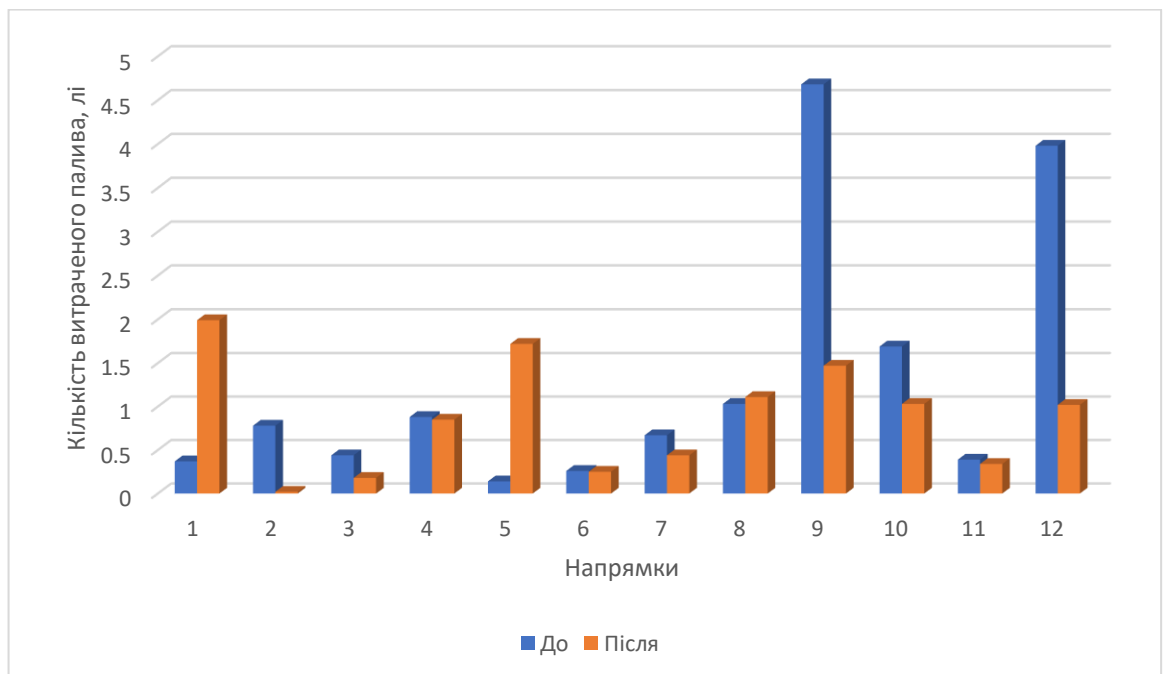


Рис. 4.10. Діаграма витрати палива до і після впровадження засобів мікромобільності

Як видно з рис. 4.10, на деяких напрямках, таких як 1,5 та 8 спостерігається збільшення витрати палива після введення мікромобільності в порівнянні з витратою палива до введення мікромобільності, внаслідок чого підвищилися і кількості викидів. Наприклад, напрямок 1 має інтенсивність 127,5 (див. рис.4.3), це лінія для громадського транспорту та засобів мікромобільності, тому рух ускладнюється підвищеною інтенсивністю, а також для автомобілів, які здійснюють поворот направо. До уваги також потрібно взяти, що маршрутки і тролейбуси в PTV Vissim сприймаються як автобуси, тому це також вплинуло на збільшення кількості викидів. Напрямки 5 і 8 – це прямі дороги, які також отримали в навантаження більше транспортного потоку. На цих напрямках також присутній поворот наліво, який характеризується хоч не великою кількістю автомобілів, але, тим не менш, це ускладнює рух.

Але незважаючи на збільшення витрати палива за деякими напрямками, загальна кількість викидів після введення мікромобільності складає для CO- 192,218 г, NO_x – 37,398 г, VOC- 44,549 г, що приблизно в півтора рази менше, ніж було до введення (CO – 281,745 г, NO_x – 54,817г , VOC – 65,297 г).

В результаті, принаймні 15% поїздок на автомобільному транспорті мають замінити засоби мікромобільності, щоб досягти суттєвих екологічних переваг і сприяти зменшенню викидів парникових газів [35].

З іншого боку, викиди спільних транспортних засобів протягом життєвого циклу досить високі. Основна причина викидів спільних транспортних засобів мікромобільності походить від етапу виробництва цих транспортних засобів. У літературі також обговорюється вплив на навколишнє середовище вибору матеріалів, які використовуються у процесі виробництва спільних транспортних засобів [36]. Використання алюмінієвих і літєвих батарей у виробництві систем спільного використання велосипедів збільшує нормований вплив на навколишнє середовище. Основним джерелом викидів вуглецю від спільних велосипедів є енергоспоживання матеріалів.

Викиди вуглецю від сировини складають 84% споживання енергії під час виробництва. Вчений Холлінгсворт (2019) виявив, що електроскутери мають вищі викиди протягом життєвого циклу, ніж автомобілі, через викиди, пов'язані зі збором, розповсюдженням електросамокатів і коротшим терміном служби. Він показав, що спільний електросамокат викидає 126 г CO₂-еквівалента на пасажиро-кілометр протягом усього терміну служби. Термін служби транспортних засобів впливає на екологічні навантаження на кілометр. Транспортні засоби з малим терміном служби мають більші екологічні навантаження. Зі збільшеним терміном служби на 15 місяців спільні електросамокати зменшують потенціал глобального потепління на 68 г CO₂-екв/км. Це демонструє, що викиди парникових газів можна скоротити на 72% загалом на один електросамокат [36].

Якби 10% населення щодня замінювали одну поїздку на автомобілі поїздкою на велосипеді, очікується, що загальні викиди від транспорту зменшаться приблизно на 10%. Якби такий самий відсоток населення замінив одну поїздку автомобілем на одну поїздку громадським транспортом, викиди індивідуального транспорту були б на 19% нижчими. Викиди від автомобілів більш ніж удвічі перевищують викиди від громадського транспорту, а їзда на велосипеді спричинила менше 5% викидів громадського транспорту. Чоловіки, як правило, більше їздять на велосипеді та їздять на автомобілі, тоді як жінки частіше ходять пішки та користуються громадським транспортом.

Зменшення кількості автомобільного транспорту на дорогах також позначиться не тільки на екологічному впливі, а і в зменшенні шумового забруднення, що досить важлива тема. Адже шумове забруднення провокує роздратування та порушення сну, а більше того повідомляється про те, що з'являється все більше доказів того, що шум транспорту також впливає на серцево-судинну систему, психічне здоров'я та успішність дітей у школі. Мета-аналіз досліджень шуму дорожнього руху та серцево-судинних захворювань показує, що для рівнів шуму від 60 дБ до 80 дБ

відносний ризик серцево-судинних захворювань значно зростає. Було підраховано, що близько 3900 випадків інфаркту міокарда на рік (1999) можна було б віднести до шуму дорожнього руху в Німеччині. Виявляється, що у жінок і дітей, які піддаються впливу високого рівня шуму дорожнього транспорту вночі, рівень гормонів вищий.

Вплив шуму дорожнього транспорту пов'язують із збільшенням частоти психологічних проблем, а між шумом дорожнього руху та симптомами тривоги виявлено невеликі нелінійні зв'язки. Чимало доказів підтверджує, що найпоширенішим ефектом надмірного шуму для дітей є когнітивні порушення. Шум автомобільного пов'язаний із погіршенням поведінки в класі, поганим психічним здоров'ям дитини за власними оцінками [37].

Також необхідно взяти до уваги на нещодавно випущений французькою компанією Pragma Mobility інноваційний електричний велосипед, який називається Alpha Neo, зображення якого показано на рисунку 4.10. Його особливість в тому, що він став першим у світі двоколісником, який отримав водневі паливні осередки.



Рис. 4.10. Електробайк Alpha Neo

Велосипед Alpha Neo є міським електробайком, як електродвигун використовується заднє редукторне мотор-колесо потужністю 250 Вт (у піку 350 Вт). Максимальна швидкість обмежена 25 км/год.

Найцікавіше розташоване в об'ємній алюмінієвій рамі, що зображена на рисунку 4.11: як накопичувач палива використовується 3-літровий резервуар зі стисненим (300 бар) воднем. Водень спалюється в паливному осередку, а електрична енергія, що вийшла при цьому, накопичується в батареї суперконденсаторів (іоністорів).



Рис. 4.11. Компоненти в рамі електробайка [38]

Але не без мінусів, такі велосипеди прив'язані до мережі заправних водневих станцій. Також їх використання як прокатні або муніципальні велосипеди під сумнівом через їх високу вартість, від 5640 євро. Pragma Mobility має намір створити станції заправки для приватних клієнтів.

Отже, створення водневих паливних заправок в Україні є актуальною темою для наступних досліджень. Тим більше, що зелений водень, що виробляється на території України, може додаватися до газу і переправлятися до Європи.

Висновки до розділу

1. Проаналізовано кількість викидів на перехресті Київська-Театральна за допомогою PTV Vissim, та встановлено, що після впровадження засобів мікромобільності загальна кількість викидів та витрати палива зменшилися в середньому в 1,5 рази.

2. Принаймні 15% поїздок на автомобільному транспорті мають замінити засоби мікромобільності, для того, щоб досягти суттєвого зменшення шкідливих викидів.

Загальні висновки

1. Проведено аналіз літературних джерел з темі дослідження:

- проаналізовано інфраструктуру та особливості засобів мікромобільності в європейських та українських містах,
- визначено основні недоліки, які впливають на якість життя населення: «розірваність» веломережі, неефективне об'єднання засобів мікромобільності та пішоходів; зношення асфальтного покриття.

2. Надано пропозиції щодо розвитку мікромобільності в м. Житомирі:

- Спільні системи мікромобільності слід використовувати для поїздок на короткі відстані, забезпечуючи інтеграцію з громадським транспортом;
- Слід заохочувати та популяризувати використання спільних засобів мікромобільності з метою покращення екологічних показників.

3. Проаналізовано 99 транспортних районів м. Житомира з базами даних мешканців та запропоновано встановлення 18 станцій прокату засобів мікромобільності в густонаселених районах.

4. Створена транспортна мережа для засобів мікромобільності в м.Житомирі в програмному забезпеченні PTV Visum.

5. Проаналізовано кількість викидів на перехресті Київська-Театральна за допомогою PTV Vissim, та встановлено, що після впровадження засобів мікромобільності загальна кількість викидів та витрати палива зменшилися в середньому в 1,5 рази.

6. Принаймні 15% поїздок на автомобільному транспорті мають замінити засоби мікромобільності, для того, щоб досягти суттєвого зменшення шкідливих викидів.

Список використаних джерел

1. Castro, A.; Gaupp-Berghausen, M.; Dons, E.; Standaert, A.; Laeremans, M.; Clark, A.; Anaya-Boig, E.; Cole-Hunter, T.; Avila-Palencia, I.; Rojas-Rueda, D.; et al. Physical activity of electric bicycle users compared to conventional bicycle users and non-cyclists: Insights based on health and transport data from an online survey in seven European cities. *Transp. Res. Interdiscip. Perspect* 2019.
2. Chang, A.; Miranda-Moreno, L.; Clewlow, R.; Sun, L. TREND OR FAD? Deciphering the Enablers of Micromobility in the U.S.; SAE International: Warrendale, PA, USA, 2019.
3. Біла книга мікромобільності. Проект EU4Climate. Електронний ресурс - <https://www.undp.org/uk/ukraine/publications/біла-книга-мікромобільності>
4. Офіційний портал Digi. Електронний ресурс - <https://www.digi.com/blog/post/what-is-micromobility>
5. "The Electric Assist: Leveraging E-bikes and E-scooters for More Livable Cities". Institute for Transportation and Development Policy. 2019. Retrieved April 7, 2020. Електронний ресурс - https://www.itdp.org/wp-content/uploads/2019/12/ITDP_The-Electric-Assist_-Leveraging-E-bikes-and-E-scooters-for-More-Livable-Cities.pdf
6. Dediu, Horace. "The Micromobility Definition". *micromobility.io*. Retrieved 23 October 2019.
7. O'Hern, Steve; Estgfaeller, Nora (2020-11-15). "A Scientometric Review of Powered Micromobility". *Sustainability*. 12 (22): 9505. doi:10.3390/su12229505. ISSN 2071-1050." Електронний ресурс - <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/22/9505>
8. The Micromobility Definition". *Micromobility*. Retrieved 2022-10-14. Електронний ресурс - <https://micromobility.io/news/the-micromobility-definition>
9. Офіційний портал Eltis. Електронний ресурс: <https://www.eltis.org/sk/node/49712>
10. Розробка транспортної політики з врахуванням велосипедного руху: посібник. Міністерство навколишнього середовища, охорони природи та безпеки реакторів. Квітень 2009.
11. European Cyclists' Federation, Cycle more often 2 cool down the planet: Quantifying CO2 savings of cycling. P.15,ECF, Brussels, 2011.

12. Викиди від транспорту і як з ними боротися. Федерація роботодавців автомобільної галузі. [Електронний ресурс] - <https://fra.org.ua/uk/an/publikatsii/analitika/vikidi-vid-transportu-i-iak-z-nimi-borotisia-chastina-2>
13. Milan 2020. Adaptation strategy «Open streets» [Електронний ресурс]. - <https://www.comune.milano.it/documents/20126/7117896/Open+streets.pdf/d9be0547-1eb0-5abf-410b-a8ca97945136?t=1589195741171>
14. Офіційний портал Хмарочос, Розвиток інфраструктури в м. Вінниця. Електронний ресурс - <https://hmarochos.kiev.ua/2019/06/19/yak-vinnytsya-rozvyvaye-veloinfrastrukturu-reportazh/>
15. Офіційний портал Вінницької міської ради. Електронний ресурс - <https://www.vmr.gov.ua/Docs/ExecutiveCommitteeDecisions/2020/№2828%2023-12-2020.pdf?fbclid=IwAR3FRM5eFiMiD2ATbu7y-M552or4z-HbG3XaqOwk0D7APsm7m3uQaBaFEWI>
16. Офіційний портал «20 хвилин». Електронний ресурс - <https://vn.20minut.ua/Podii/sche-pratsyuvati-i-pratsyuvati-yak-u-vinnitsi-rozvivaetsya-veloinfrast-11102649.html>
17. Ліщук В.О., Шумляківський В.П., Аналіз обмежувальних заходів для приватного транспорту в країнах Європи. Державний університет «Житомирська політехніка», 2022. Електронний ресурс - <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2022/06/1-2.pdf>
18. Cherry, C.; Yang, H.; Jones, L.; He, M. Dynamics of electric bike ownership and use in Kunming, China. Transp. Policy 2016, 45,127–135.
19. J. Quain, “Electric bikes and scooters are here to save the world! But here’s the thing...,” Emerging Tech, 2018. Електронний ресурс - <https://www.digitaltrends.com/cool-tech/smart-cities-contend-with-benefits-and-headaches-of-e-bikes-and-e-scooters/>.
20. “Invasion of the electric scooter: can our cities cope?,” The Guardian, 2019. Електронний ресурс - <https://www.theguardian.com/cities/2019/jul/15/invasion-electric-scooter-backlash>.
21. NACTO, “Shared Mobility in the U.S.,” 2018
22. Офіційний портал «Сервіс активного відпочинку». Електронний ресурс - <https://veliki.ua/ua/novosty-i-akcii/poperedni-rezultati-opituvannya-lvivyan-shcho-do-rozmishchennya-stantsij-veloprokatu-nextbike.html>
23. План сталої міської мобільності м. Житомир (проект), 2019.

24. Feigon, S., & Murphy, C. (2016). Shared mobility and the transformation of public transit. TCRP ResearchReport 188. Washington, DC: Transportation Research Board. 102pp. Електронний ресурс - <https://www.nap.edu/read/23578/chapter/1>.
25. C. Hardt, K. Bogenberger, Usage of e-scooters in urban environments. Transp. Res. Proc. 37,155–162 (2019)
26. S. Gössling, Integrating e-scooters in urban transportation: problems, policies, and the prospect of system change. Transp. Res. Part D: Transp. Environ. 79, 102230 (2020)
27. Пояснювальна записка до проекту постанови Кабінету Міністрів України «Про внесення змін до постанови Кабінету Міністрів України від 10 жовтня 2001 р. № 1306». Електронний ресурс - http://materialy.kmu.gov.ua/ec9c3f54/docs/605222d2/Poyasnyuvalna_zapiska.pdf.
28. Правила дорожнього руху. Електронний ресурс - <http://pdd.com.ua/33/5.11/>
29. PTV Group, Bicycle playbook. Електронний ресурс - <https://discover.ptvgroup.com/bicycleplaybook>.
30. Diken, Chris; Erica Francis. "Ten fuel-saving tips from a hypermiler". Електронний ресурс - <https://www.nbcnews.com/id/wbna20706595>.
31. Електронний ресурс - http://www.nhtsa.dot.gov/people/injury/enforce/Speed_Forum_Presentations/ppt/White%201.ppt Archived 2008-09-21 at the Wayback Machine A graph of fuel consumption vs. speed for a Chevy Impala
32. PTV Group, Emissions calculation with PTV Vissim and Bosch ESTM. Електронний ресурс - <https://www.youtube.com/watch?v=PDtAwS8R8kw>.
33. Електронний ресурс - <https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-03-31/switching-from-cars-to-bikes-cuts-commuting-emissions-by-67>
34. Ліщук В.О., Вдосконалення організації перевезень вантажів у місті Житомирі компанією «Баядера Логістик», Державний університет «Житомирська політехніка», Житомир 2019р.
35. Колодницька Р.В., Ліщук В.О., Шумляківський В.П., Аналіз викидів і витрати палива на перехрестях Житомира в програмі PTV VISSIM, Міжнародна конференція «Інтелектуальні транспортні системи: екологія, безпека, якість, комфорт», Київ, 2022р.
36. Електронний ресурс - https://www.uv.es/ceconomiacol/Hollingsworth_2019_Environ._Res._Lett._14_08_4031.pdf

37. European Enviroment Agency Report, Transport at a crossroads, 2008.
Електронний ресурс - <https://www.eea.europa.eu/publications/transport-at-a-crossroads>

38. Електронний ресурс - <https://mmr.net.ua/autoworld/news/186977>