

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

Навчально-науковий інститут енергетичної,
інформаційної та транспортної інфраструктури

Кафедра транспортних систем і логістики

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи
магістра

на тему **Оцінка ефективності стратегій впровадження
заходів управління швидкістю транспортних потоків
у міських умовах**

Виконав: студент 2 курсу, групи Мн РозТранс 2024-1,
спеціальності – 275 «Транспортні технології» (за видами)
освітньо-наукової програми «Розумний транспорт і логістика
для міст»

Сухинін Ю. Є.

Керівник Ткаченко І. О.

Рецензент Давідіч Ю. О.

Харків – 2026 року

**Харківський національний університет міського господарства
імені О. М. Бекетова**

Інститут Енергетичної, інформаційної та транспортної інфраструктури
Кафедра Транспортних систем і логістики
Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр
Спеціальність 275 «Транспортні технології» (за видами)
(шифр і назва)
Освітньо-наукова програма «Розумний транспорт і логістика для міст»
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____
Проф. Куш Є.І. _____

«___» _____ 20 26 року

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Сухиніну Юрію Євгенійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Оцінка ефективності стратегій впровадження заходів управління швидкістю транспортних потоків у міських умовах

керівник проекту (роботи) Ткаченко Ірина Олександрівна, к.т.н, доц.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «27» лютого 2026 р.
№ 184-03.

Строк подання студентом проекту (роботи) 23 травня 2026 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) дані про транспортні потоки в межах зони історичного центру м. Рим, отримані з FCD та AVM, нормативні документи та методики оцінки впливу швидкісних обмежень

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. Походження заходу та досягнення встановлених цілей. Методика та інструменти оцінки ефективності впровадження «Зони 30». Оцінка ефективності впровадження зони з обмеженням швидкості до 30 км/год. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Підготовка презентації в електронному вигляді за основними результатами роботи

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
антіплагіат	інженер каф. ТСЛ Толмачов І. О.		

7. Дата видачі завдання 02.03.2026

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Походження заходу та досягнення встановлених цілей	24.03.2026 р.	
2	Методика та інструменти оцінки ефективності впровадження «Зони 30»	23.04.2026 р.	
3	Оцінка ефективності впровадження зони з обмеженням швидкості до 30 км/год	15.05.2026 р.	
4	Висновки	20.05.2026 р.	
5	Оформлення дипломного проекту	23.05.2026 р.	

Студент

(підпис)

Сухинін Ю. Є.

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

(підпис)

Ткаченко І. О.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра складається із 62 сторінок тексту, також містить 41 ілюстрацію, 7 таблиць, 17 літературних джерел.

Мета роботи: оцінка ефективності впровадження обмеження швидкості до 30 км/год у міській транспортній системі з точки зору безпеки, екології та ефективності руху.

Метод дослідження: аналітичний, статистичний, розрахунковий.

Отримані результати: встановлено, що впровадження обмеження швидкості до 30 км/год сприяє зниженню рівня аварійності та потенційної небезпеки дорожнього руху, а також покращенню екологічних показників, зокрема зменшенню викидів і шуму. При цьому вплив на час поїздок є незначним, що підтверджує доцільність застосування даного заходу в умовах міської забудови.

УПРАВЛІННЯ ШВИДКІСТЮ, ТРАНСПОРТНІ ПОТОКИ, БЕЗПЕКА
ДОРОЖНЬОГО РУХУ, МІСЬКА МОБІЛЬНІСТЬ, СТАЛИЙ ТРАНСПОРТ,
ЕКОЛОГІЧНИЙ ВПЛИВ

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 ПОХОДЖЕННЯ ЗАХОДУ ТА ДОСЯГНЕННЯ ВСТАНОВЛЕНИХ ЦІЛЕЙ.....	8
1.1 Європейський рівень: безпека та кліматична нейтральність як фактори впливу.....	8
1.2 Національний план безпеки дорожнього руху 2030.....	9
1.3 Безпека, комфортність проживання та екологічний перехід до плану сталого мобільності (SUMP) великого міста.....	13
1.4 Досвід Європейських міст щодо впровадження зон обмеження швидкості руху транспортних засобів.....	16
1.5 Висновки по розділу.....	23
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИКА ТА ІНСТРУМЕНТИ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ «ЗОНИ 30».....	24
2.1 Методичний підхід до оцінки ефективності впровадження «Зони 30».....	24
2.2 Джерела даних та репрезентативність.....	24
2.3 Методи та моделі, що використовуються для оцінок.....	29
2.4 Висновки по розділу.....	37
РОЗДІЛ 3 ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ЗОНИ З ОБМЕЖЕННЯМ ШВИДКОСТІ ДО 30 КМ/ГОД.....	38
3.1 Аналіз перевищення швидкісного режиму на дорожній мережі.....	38
3.2 Оцінка екологічних та акустичних ефектів.....	44
3.3 Аналіз ефективності руху громадського транспорту та таксі.....	53
3.4 Висновки по розділу.....	59
ВИСНОВКИ.....	60
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	61

ННІ ЕІТІ ТСЛ Мн РозТранс 2024-1 ТТ ХХХ...ХПЗ

					ННІ ЕІТІ ТСЛ Мн РозТранс 2024-1 ТТ ХХХ... Х ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Пояснювальна записка ХНУМГ						
Розроб.	Сухинін Ю. Є.										
Перевір.	Ткаченко І. О.										
Н. Контр.	Бурко Д. Л.				Літ.					Арк.	Аркунів
Затверд.	Куш Є. І.									М	Д

ВСТУП

Створення зони обмеження руху транспортних засобів до 30 км/ год. в межах зон історичного центру є комплексним рішенням, що відповідає низці пріоритетних цілей, які одночасно стосуються безпеки дорожнього руху, якості повітря та комфортності міського життя. Цей захід є інструментом реалізації стратегій, вже визначених у планах і програмах, що діють на європейському, національному, регіональному, міському та муніципальному рівнях, які ставлять перед місцевими адміністраціями чіткі зобов'язання щодо зменшення кількості ДТП, скорочення викидів забруднюючих речовин та переорієнтації транспортної системи на користь активних форм мобільності та громадського транспорту.

Починаючи з зобов'язань, взятих на себе Європейським Союзом, серед яких стратегія «Vision Zero» та «Green Deal», і закінчуючи положеннями, що містяться в Національному плані безпеки дорожнього руху (PNSS 2030), у Плані оздоровлення якості повітря регіону Лацио, у міських та муніципальних планах сталої мобільності міста Риму (PUMS) та у плані загального транспортного плану (PGTU) чітко вимальовується стратегічне зобов'язання місцевих адміністрацій вживати структурних заходів з метою обмеження руху та перерозподілу транспортних потоків. У цьому контексті «Зона 30» є не тільки послідовною і необхідною відповіддю, але й природним розвитком державних заходів у сфері сталого транспорту.

Метою даної кваліфікаційної роботи є оцінка ефективності впровадження заходів управління швидкістю транспортних потоків у межах міської забудови на прикладі створення «Зони 30» в історичному центрі міста. Робота спрямована на обґрунтування доцільності зниження середньої швидкості руху як інструменту підвищення безпеки дорожнього руху та зменшення ризиків дорожньо-транспортних пригод. Також досліджується

вплив обмеження швидкості на скорочення викидів забруднюючих речовин і покращення стану навколишнього середовища. Окрема увага приділяється підвищенню якості міського життя та відновленню балансу публічного простору на користь сталого транспорту і пішоходів.

РОЗДІЛ 1

ПОХОДЖЕННЯ ЗАХОДУ ТА

ДОСЯГНЕННЯ ВСТАНОВЛЕНИХ ЦІЛЕЙ

1.1 Європейський рівень: безпека та кліматична нейтральність як фактори впливу

Стратегічна концепція на європейському рівні визначає дорожню безпеку та кліматичну нейтральність як ключові напрями міської політики, залучаючи місцеві органи влади до впровадження таких заходів, як «Зона 30». У сфері безпеки основним орієнтиром є Стратегічний план дій з безпеки дорожнього руху ЄС 2021 року [1], який передбачає зменшення кількості жертв ДТП на 50% до 2030 року (відносно 2019 р.) та досягнення нульового рівня смертності до 2050 року (Vision Zero). Введення обмеження швидкості до 30 км/год у міських зонах з високою концентрацією вразливих учасників руху закріплено також Резолюцією Європейського парламенту від 6 жовтня 2021 року [2].

Паралельно Європейський зелений курс та пакет «Fit for 55» [3] встановлюють мету скорочення викидів щонайменше на 55% до 2030 року (порівняно з 1990 р.) та досягнення кліматичної нейтральності до 2050 року. Нова Директива (ЄС) 2024/2881 [4] посилює вимоги до якості повітря, знижуючи граничні значення для PM_{2,5} (з 25 до 10 мкг/м³), PM₁₀ (з 40 до 20 мкг/м³) та NO₂ (з 40 до 20 мкг/м³) до 2030 року, що підсилює зв'язок між транспортною політикою та охороною здоров'я.

У цьому контексті реалізується місія ЄС «100 кліматично нейтральних та розумних міст» [5], в межах якої м. Рим визначено одним із міст для досягнення кліматичної нейтральності до 2030 року. Це передбачає впровадження комплексних заходів, зокрема «Зони 30», LEZ та ZTL, як

інструментів декарбонізації транспорту та підвищення якості міського середовища. Європейська політика також передбачає скорочення використання приватного транспорту шляхом розвитку громадського транспорту, електромобільності та активних видів пересування.

1.2 Національний план безпеки дорожнього руху 2030

На національному рівні впровадження структурних заходів з обмеження швидкості, таких як створення «Зон 30», є послідовною відповіддю на вже визначену стратегічну концепцію.

Основним орієнтиром є Національний план безпеки дорожнього руху до 2030 року (PNSS 2030) [6], який офіційно прийняв європейські цілі Vision Zero, розділивши їх на загальні та проміжні цілі, що є повністю обов'язковими для місцевих органів влади.

Національна мета, чітко сформульована в плані, полягає в скороченні вдвічі кількості загиблих і важкопоранених у період 2020-2030 років порівняно з базовим показником, зареєстрованим у 2019 році. На рис. 1.1 наведено основні очікувані результати.

Ці цілі додатково розбиті за категоріями вразливих користувачів, що підтверджує стратегічну роль міських заходів з обмеження швидкості.

Зокрема, План безпеки дорожнього руху 2030 передбачає на 2030 рік (рис.1.2, табл.1.1).

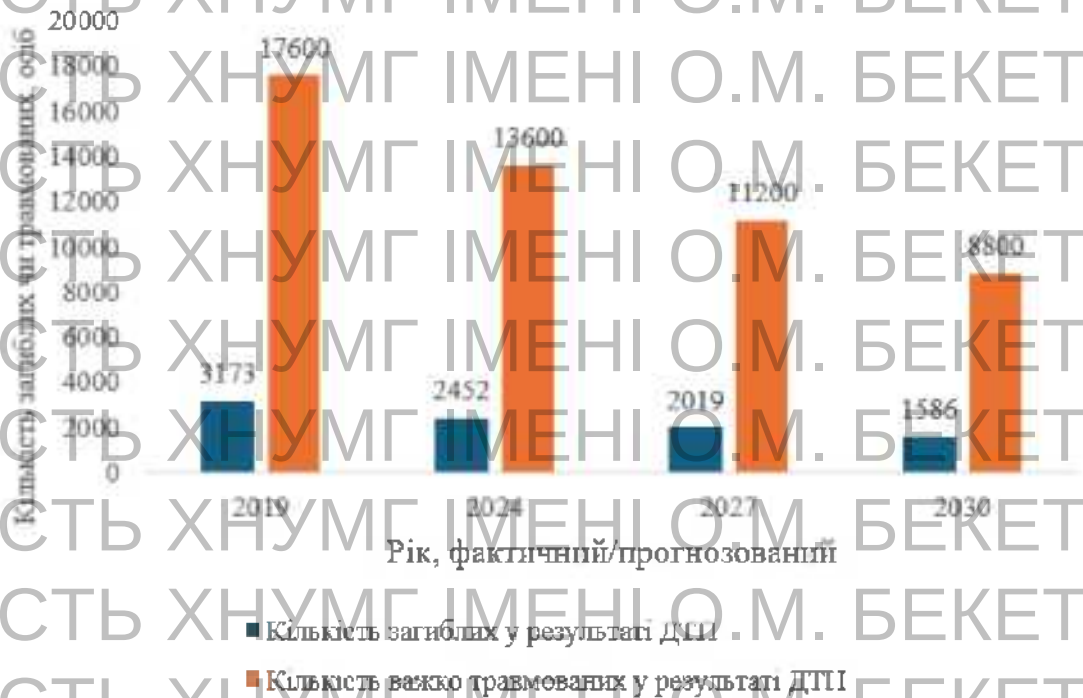


Рисунок 1.1 – Прогнозована динаміка кількості загиблих і важкопоранених в результаті ДТП



Рисунок 1.2 – Зниження рівня травматизму серед категорій вразливих користувачів після впровадження заходів з обмеження швидкості

Таблиця 1.1 – Прогнозовані результати впровадження Плану безпеки дорожнього руху 2030

Категорія	Постраждали у 2019 році, осіб	Прогнозований результат, осіб	Динаміка, %
Діти	35	0	100
Молоді водії	265	106	60
Люди похилого віку	994	398	60
Пішоходи	534	240	55
Велосипедисти	253	139	45
Водії моторних 2-колісних ТЗ	786	354	55

Міжнародний досвід підтверджує [1] існування нелінійного зв'язку між швидкістю транспортних засобів та тяжкістю наслідків у разі зіткнення: із зростанням швидкості ймовірність отримання тяжких або смертельних травм зростає більш ніж пропорційно. Зокрема, щодо пішоходів загальноприйняті оцінки вказують на те, що за інших рівних умов зіткнення з транспортним засобом, що рухається зі швидкістю 50 км/год, несе ризик смерті, який у кілька разів перевищує ризик зіткнення зі швидкістю 30 км/год (до шести разів), як показано на рисунку 1.3.



Рисунок 1.3 – Ймовірність загибелі пішохода в результаті лобового зіткнення з автомобілем

Зіткнення на швидкості 40 км/год передбачає приблизно в чотири рази більшу енергію, ніж зіткнення на швидкості 20 км/год. Відповідно, при швидкості 50 км/год імовірність смертельного наслідку може досягати високих значень (до 80%), тоді як при 30 км/год вона зменшується на порядок (близько 10%), що обґрунтовує необхідність заходів зі зниження швидкості в найбільш вразливих міських умовах.

Окрім тяжкості наслідків зіткнення, сама ймовірність його виникнення зростає зі збільшенням швидкості з двох відомих причин:

1. звуження поля зору («тунельний ефект») (рис.1.4), що знижує здатність своєчасно помічати перешкоди та вразливих учасників дорожнього руху;



Рисунок 1.4 – Вплив швидкісного режиму на безпеку пішоходів у міському середовищі

2. збільшення гальмівного шляху, який складається з відстані, пройденої за час реакції, та безпосереднього гальмівного шляху (обидва показники зростають зі збільшенням швидкості) (рис. 1.5).



Рисунок 1.5 – Шлях гальмування при швидкості 30 км/год і 50 км/год на сухій дорозі

Рис. 1.5 демонструє різницю між швидкостями 30 і 50 км/год на сухому покритті: за однакової реакції водія гальмівний шлях при 50 км/год є суттєво більшим, що знижує можливість уникнення зіткнення. Орієнтовно він становить близько 20 м при 30 км/год і майже 40 м при 50 км/год, тобто майже вдвічі більше.

Таким чином, обмеження швидкості до 30 км/год не лише знижує аварійність, а й опосередковано впливає на транспортну поведінку, сприяючи розвитку пішохідної та велосипедної мобільності та зменшенню використання приватного транспорту.

1.3 Безпека, комфортність проживання та екологічний перехід до плану сталої мобільності (SUMP) великого міста

План сталого міського розвитку (SUMP) м. Рим є ключовим інструментом стратегічного планування, що адаптує європейські та національні напрями до місцевих умов і розглядає транспорт як фактор безпеки, якості життя та кліматичної нейтральності.

У сфері безпеки план реалізує цілі Плану безпеки дорожнього руху 2030, зосереджуючись на чотирьох напрямках: зменшення кількості ДТП, скорочення загиблих і травмованих, зниження соціальних витрат та підвищення захисту вразливих учасників руху. Це досягається, зокрема, через зниження швидкісних обмежень і розвиток зон обмеженого руху.

План також орієнтований на підвищення якості міського середовища через концепцію «15-хвилинного міста» (рис. 1.6), що передбачає доступ до основних послуг у межах 15 хв пішки або на велосипеді.

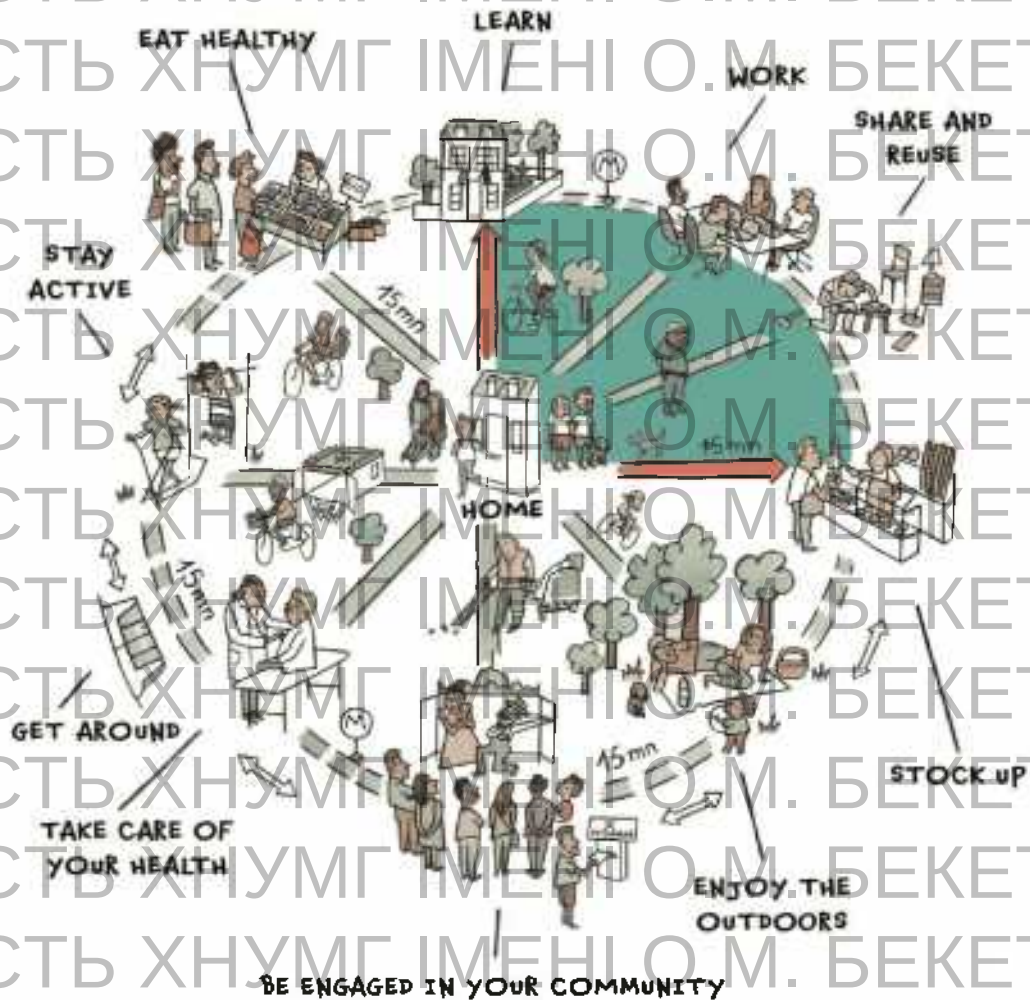


Рисунок 1.6 – Графічне зображення концепції «15-хвилинного міста»

В екологічному аспекті враховано цілі Європейського зеленого курсу та «Fit for 55»: транспорт формує 25,2% парникових газів і 30,7% CO₂, тому до 2050 року передбачено скорочення викидів на 90%, вплив на попит і пропозицію мобільності та перехід на альтернативні, насамперед електричні, транспортні засоби.

Водночас створення зон з обмеженням швидкості визначено як стратегічний інструмент регулювання руху та підвищення безпеки дорожнього руху.

Відповідно до викладеного, можна зробити висновок, що створення «Зони 30» в межах історичного центру м. Рима є необхідним структурним заходом, який відповідає цілям у сфері безпеки дорожнього руху, якості довкілля, сталого транспорту та міського життя.

Поступове зниження та уніфікація швидкості руху в межах ZTL дозволяє:

- зменшити частоту та тяжкість ДТП у історичному центрі;
- скоротити викиди забруднюючих речовин і рівень шуму, покращуючи якість повітря та акустичний стан середовища;
- сприяти розвитку безпечної, сталої та інклюзивної мобільності з пріоритетом пішоходів, велосипедистів і громадського транспорту.

Цей підхід відповідає стратегічним напрямкам ЄС і національним політикам, зокрема Vision Zero (до 2050 року), Європейському зеленому курсу та PNSS 2030, спрямованим на зниження аварійності, скорочення викидів і відновлення громадського простору.

Отже, впровадження «Зони 30» у межах ZTL є комплексним інструментом, що інтегрує існуючі політики та забезпечує підвищення безпеки, екологічності й якості міського середовища.

1.4 Досвід Європейських міст щодо впровадження зон обмеження швидкості руху транспортних засобів

Зона обмеженого руху в історичному центрі Риму є одним із ключових інструментів регулювання приватної мобільності, спрямованим на обмеження руху транспорту в найбільш чутливих районах міста з високою щільністю пішоходів і цінною історичною забудовою. Вона функціонує з 1990-х років і нині включає три основні складові: денну та нічну зони обмеженого руху, а також підзону A1 Tridente, кожна з яких має власні правила доступу та режим роботи (рис. 1.7).

Денна ZTL діє з понеділка по п'ятницю з 6:30 до 18:00 та в суботу з 14:00 до 18:00. Її мета – обмежити доступ приватних автомобілів у години пік, надаючи перевагу громадському транспорту, активним видам транспорту та авторизованим транспортним засобам. Нічна ZTL, навпаки, діє переважно у вихідні дні (зазвичай з 23:00 до 3:00 у п'ятницю та суботу вночі) і має на меті захист центральних районів у години найбільшого напливу людей з розважальною метою, що позитивно впливає на дорожню безпеку та громадський спокій.



Рисунок 1.7 – Поточна конфігурація ZTL в історичному центрі Риму

Підзона ZTL A1 – Тріденте є додатковим рівнем обмеження з більш жорсткими правилами доступу: в'їзд дозволено лише мешканцям та окремим авторизованим категоріям, із обмеженнями також для вантажно-розвантажувальних операцій.

Загалом ZTL функціонує як складна багаторівнева система регулювання транспортних потоків залежно від місця, часу доби та чутливості міського середовища. За даними електронних шлагбаумів, середньодобова інтенсивність в'їзду становить 75 000–80 000 авто у будні, близько 60 000 у суботу та 50 000 у неділю, що підтверджує високу привабливість району. Система узгоджується з функціональною класифікацією мережі, де переважає пішохідний рух, а 48% вулиць уже мають обмеження 30 км/год, що створює основу для розширення «Зони 30» (рис. 1.8).



Рисунок 1.8 – Поточна конфігурація обмежень швидкості

Запровадження «Зони 30» у межах ZTL «Історичний центр» є системним заходом, спрямованим на узгодження транспортної політики з характеристиками міського середовища. Межі впровадження відповідають

існуючій денній ZTL, регульованій електронними шлагбаумами та диференційованими правилами доступу (рис. 1.9).



Рисунок 1.9 – Периметр зони 30 – ZTL Історичний центр міста вдень

У межах цієї зони обмеження швидкості до 30 км/год буде застосовуватися рівномірно і систематично на всій дорожній мережі – як головній, так і другорядній – без перерв, відповідно до системи, яка дозволяє уникнути чергування доріг з різними обмеженнями і сприяє логіці «поширеного обмеження».

З 30 серпня 2021 року Париж поширив обмеження швидкості до 30 км/год на майже всю міську дорожню мережу, за винятком деяких основних магістралей (наприклад, Єлисейських полів, Бульвару Периферичного). Це одне з перших великих європейських міст, яке в загальному вигляді прийняло модель «Ville 30», ставши лідером серед міст, які інтегрували цей захід у системний план збалансування громадського простору, безпеки дорожнього руху та декарбонізації міського транспорту. Ще до 2021 року понад 60 % доріг підлягали обмеженням швидкості до

50 км/год, але з прийняттям муніципального розпорядження в липні 2021 року відбувся стрибок у нормативному та оперативному масштабі (рис. 1.10).



Рисунок 1.10 – Зона поширення заходу «Ville 30» у Парижі

Результати, отримані за перший рік впровадження, показують зменшення кількості смертей в результаті ДТП на 16%, зменшення кількості важких травм на 7 % та зниження рівня шуму на дорогах в середньому на 1,4 дБ(А) (з піковими значеннями вночі до -3 дБ на ділянках з поліпшеним дорожнім рухом). З функціональної точки зору, не було зафіксовано значного уповільнення руху громадського транспорту: середня швидкість автобусів (≈ 12 км/год у центральній частині міста) залишилася стабільною, а розвантаження руху зменшило пікові затори. Паралельно з цим, у 2020 - 2022 роках було зафіксовано зростання велосипедної мобільності на +34%, що підтверджує потенційну привабливість більш спокійного та передбачуваного дорожнього середовища для активних користувачів.

Болонья є першим італійським містом, яке офіційно затвердило модель «Місто 30», встановивши з 16 січня 2024 року загальну обмеження швидкості до 30 км/год на приблизно 70% міської дорожньої мережі, за винятком основних магістралей. Цей захід супроводжувався широкою інформаційною кампанією («Болонья Місто 30»), ініціативами з вислуховування думки мешканців районів та заходами з охорони міського середовища (рис. 1.11).



Рисунок 1.11 – Зона обмеження швидкості у Болонії

Дані, зібрані за перші шість місяців, свідчать про зменшення кількості ДТП на 21%, збільшення велосипедної мобільності (+5,9%) та економію близько 50 млн євро у вигляді соціальних витрат (на охорону здоров'я, ДТП, затори).

3 грудня 2023 року місто Амстердам ввело обмеження швидкості до 30 км/год на понад 80% міської дорожньої мережі, що охоплює майже всі житлові та другорядні дороги. Цей захід був інтегрований у рамки перегляду міського плану мобільності та включав комплексні дії з перепланування міста (рис.1.12).



Рисунок 1.12 – Швидкість руху до та після впровадження заходу
«Амстердам Місто 30»

Дані, опубліковані в червні 2025 року, свідчать про зниження загальної кількості ДТП на 11%, при цьому кількість ДТП за участю пішоходів і велосипедистів знизилася на 15%, а за участю громадського транспорту (трамваїв і автобусів) – на 24%. Вплив на час у дорозі був незначним: +40 с для автобусів, +10 с для трамваїв, без змін у часі реагування аварійних транспортних засобів.

Рівень шуму на дорогах знизився в середньому на 1,5 дБ, а опитування після введення заходу показують, що 60% мешканців підтримують його, причому найвищий рівень підтримки спостерігається серед тих, хто не користується автомобілем.

Для полегшення порівняння проаналізованих випадків пропонується таблиця, що підсумовує отримані результати (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – Спостережувані результати: швидкість, аварії, суспільна згода

Показник	Болонья (перші 6 місяців)	Амстердам (перші 6 місяців)	Париж (1 рік)
1	2	3	4
Швидкість	Загальне зниження до 30 км/год у відповідних районах	Понад 60 % водіїв дотримуються обмеження; активне правозастосування	~100 % проїжджої частини з обмеженням 30 км/год (крім головних магістралей); інтенсивне правозастосування
Загальна кількість ДТП	-21 % порівняно з попереднім півріччям.	-11 % (з 926 до 823) на дорогах, переведених на 30 км/год	Кількість ДТП стабільна, але -16 % смертей
ДТП з пішоходами/велосипедистами	Значне зниження, особливо на місцевих дорогах.	- 15 % ДТП з вразливими учасниками дорожнього руху	-7 % тяжких травм. Велосипедний потік +30 %
ДПТ за участю міського пасажирського транспорту	Дані відсутні	- 24 % аварій за участю трамваїв та автобусів	Громадський транспорт не погіршився; рух став більш плавним
Загальний рівень шуму	Дані відсутні	-1,5 дБ в середньому на переобладнаних дорогах	-1,4 дБ вдень; до -3 дБ вночі
Рухомий склад	Не повідомляється про значний вплив	+40 с автобуси / +10 с трамваї / 0 с аварійні транспортні засоби	Час руху автобусів не змінився (в середньому ≈12 км/год)
Соціальна підтримка	Зростає в районах після початкових суперечок	60 % громадян підтримують, більша підтримка серед мешканців, які не користуються автомобілями	59 % підтримували спочатку; прийняття зросло з часом

Продовження табл. 1.2

1	2	3	4
Оцінка економічних ефектів	>50 млн євро економії соціальних витрат	Ще не оцінено	Не кількісно оцінено, але очікуються переваги для здоров'я та безпеки
Спосіб реалізації	Розміщення дорожніх знаків + початок фази 2 з фізичними заходами уповільнення руху	Розміщення дорожніх знаків + широкомасштабні структурні заходи та електронний контроль	Розміщення дорожніх знаків + автоматичні прилади контролю швидкості + фізичні заходи уповільнення руху (штучні нерівності)

1.5 Висновки по розділу

За результатами проведеного аналізу встановлено, що впровадження заходів обмеження швидкості руху, зокрема створення «Зони 30», відповідає стратегічним напрямкам європейської та національної транспортної політики у сфері безпеки дорожнього руху, екологічної сталості та розвитку міської мобільності. Досвід європейських міст, зокрема Парижа, Болоньї та Амстердама, підтверджує ефективність запровадження зон зі швидкістю 30 км/год, що проявляється у зниженні аварійності, розвитку активних видів мобільності та підвищенні рівня безпеки для вразливих учасників дорожнього руху. Таким чином, впровадження «Зони 30» у межах історичного центру Рима є доцільним інструментом підвищення безпеки, покращення якості міського середовища та формування більш сталого транспортного простору.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА ТА ІНСТРУМЕНТИ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ «ЗОНИ 30»

2.1 Методичний підхід до оцінки ефективності впровадження «Зони 30»

Дослідження спрямоване на кількісну оцінку впливу впровадження обмеження швидкості до 30 км/год у межах зони історичного центру м. Рима як інструменту регулювання міської мобільності. Аналіз охоплює вплив заходу на безпеку дорожнього руху, якість повітря, рівень шуму, ефективність транспортної системи та комфорт міського середовища, враховуючи як очікувані переваги, так і можливі побічні ефекти.

Оцінювання базується на інтеграції різних джерел даних, зокрема даних про транспортні потоки, Floating Car Data та інформації систем AVM громадського транспорту. Дослідження проводиться за чотирма основними напрямками: аварійність, викиди, шум та час поїздки.

Методика передбачає обробку вихідних даних та застосування спеціалізованих моделей. Для аварійності використано статистичні залежності, для екологічних показників – фізичні моделі, а для часу поїздки – поєднання фактичних даних і розрахунків для сценарію з обмеженням швидкості. Такий підхід забезпечує надійність, відтворюваність і обґрунтованість отриманих результатів.

2.2 Джерела даних та репрезентативність

Дані Floating Car Data (FCD) – це дані, що генеруються пристроєм, який називають «black box» і який може встановлюватися на транспортних засобах для страхових цілей. «Чорний ящик» – це супутниковий пристрій,

оснащений GPS для геолокації, який реєструє швидкість та інші дані, корисні для розуміння динаміки дорожньо-транспортної пригоди (дата та час, стан двигуна, миттєва швидкість тощо).

З огляду на потреби оцінювання, у цьому випадку було використано унікальний набір даних, оскільки вибірка позицій транспортних засобів відбувалась щосекунди; така частота дозволила точно відтворити «телеметрію» транспортного засобу, ідентифікуючи, окрім низки точкових значень швидкості, також миттєві прискорення та уповільнення (рис 2.1).

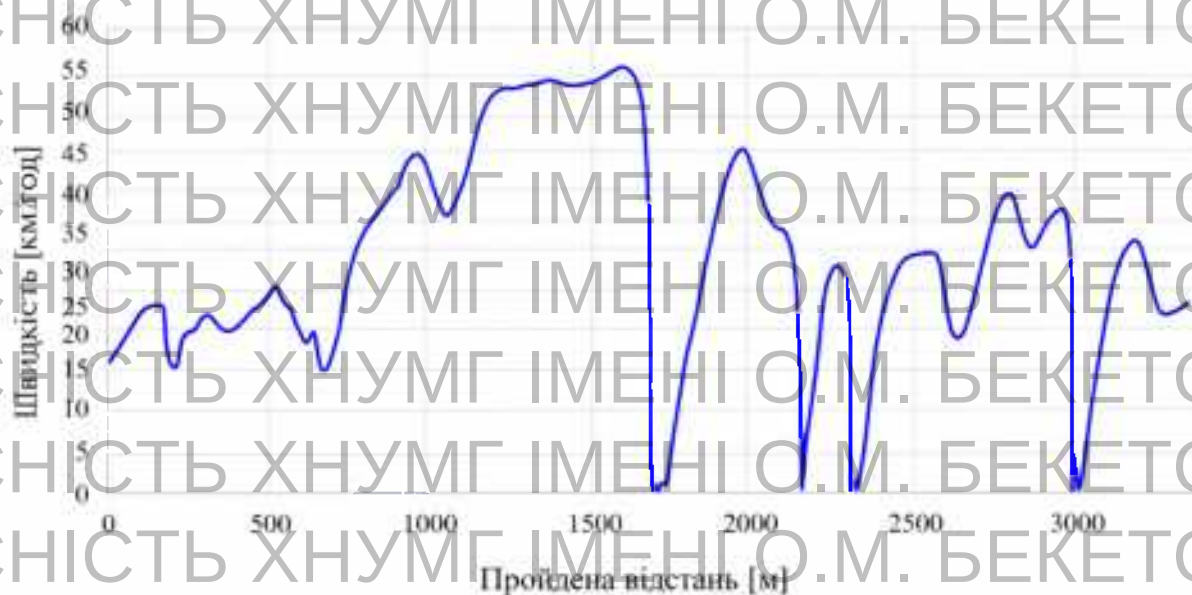


Рисунок 2.1 – Траєкторія руху автомобілю

Ця особливість у поєднанні з інформацією про масу, тип палива та клас викидів транспортного засобу дозволила також з надзвичайною точністю оцінити викиди забруднюючих речовин та парникових газів, що утворюються під час кожного окремого переміщення в межах зони обмеженого руху Історичного центру (рис. 2.2).

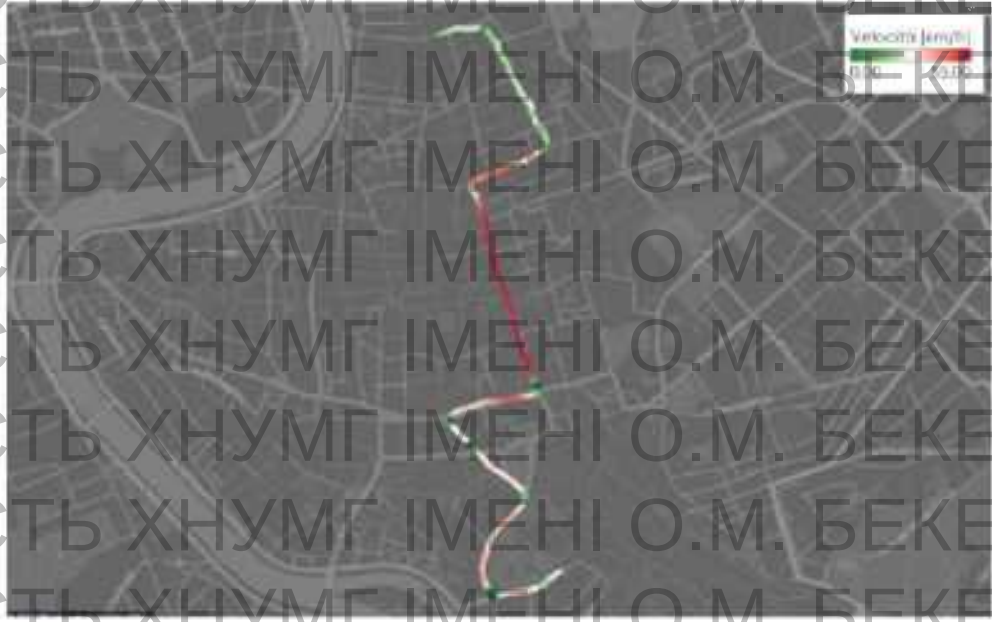


Рисунок 2.2 – Приклад траєкторії руху транспортного засобу з графіком швидкості на всьому маршруті

Аналізована база даних містить усі координати, зареєстровані в межах периметра з 30 вересня по 13 жовтня 2024 року. Загалом було проаналізовано дані щодо майже 30 000 поїздок, включаючи таксі, автомобілі з водієм та службові транспортні засоби, які були належним чином оцінені шляхом аналізу дорожнього руху та/або вузлів, призначених виключно для руху/стоянки транспортних засобів громадського транспорту (наприклад, Via dei Fori Imperiali, вокзал Терміні тощо). Пристрої загалом згенерували понад 8 млн точок GPS.

Рівень вибірки відносно реальної сукупності транспортних засобів у м. Рим становить близько 2%, при цьому вибірка є добре стратифікованою за типом енергоживлення (рис. 2.3) та дещо «молодшою» порівняно з парком зареєстрованих транспортних засобів у межах муніципалітету (рис 2.4).

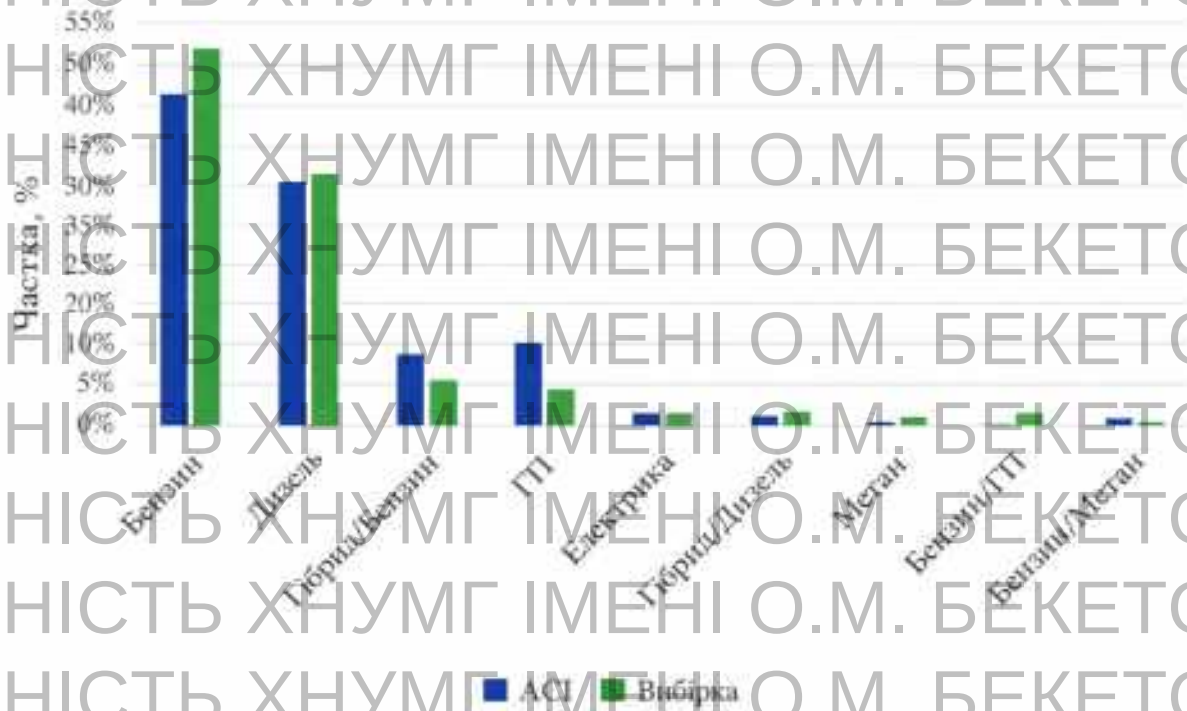


Рисунок 2.3 – Порівняння розподілу за типом двигуна між досліджуваною вибіркою та загальним парком транспортних засобів, відповідно до даних Автомобільного клубу Італії (ACI)

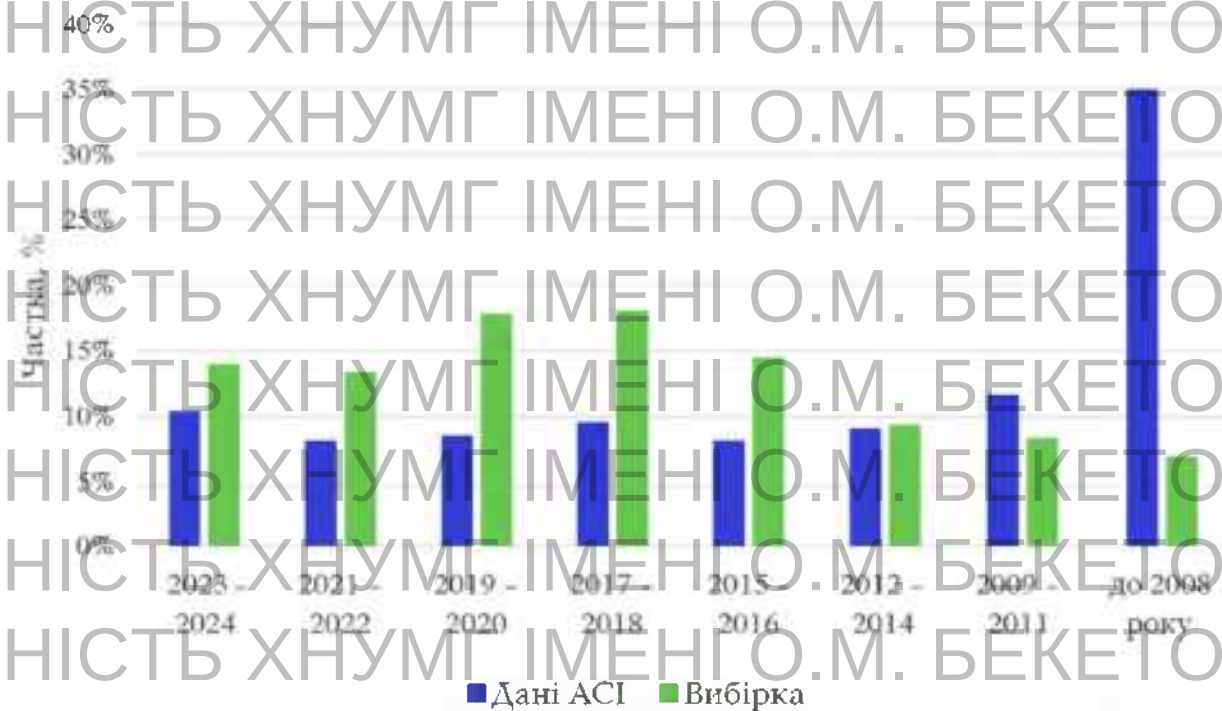


Рисунок 2.4 – Порівняння розподілу за роком реєстрації між досліджуваною вибіркою та загальним парком транспортних засобів

Водночас така асиметрія значною мірою пояснюється наявністю суттєвої частки дуже старих транспортних засобів, які формально зареєстровані, але фактично не експлуатуються.

Дані автоматичного моніторингу транспортних засобів (AVM) є основним джерелом для об'єктивного опису експлуатаційних характеристик парку місцевих громадських транспортних засобів. Вони стосуються інформаційних потоків, що генеруються бортовими системами транспортних засобів місцевого громадського транспорту (автобусів, трамваїв, тролейбусів), які передають у режимі, близькому до реального часу, інформацію про місцезнаходження, час та стан транспортного засобу (рис. 2.5).



Рисунок 2.5 – Принцип дії AVM

Ключовим елементом використовуваного набору даних є геореференціювання за зупинками: кожен транспортний засіб надає GPS-координати та часові мітки (дату та час), що дозволяє точно відстежувати місцезнаходження транспортного засобу в просторі та часі вздовж маршруту. Крім того, до кожного запису додаються ідентифікатор транспортного

засобу, лінія, запланований маршрут, стан експлуатації (в експлуатації, поза експлуатацією, об'їзд, кінцева зупинка).

Короткий опис проаналізованого зразка AVM наведений у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Кількість та тип даних, що був зібраний за допомогою AVM

Показник	Значення
Період спостереження	15 днів
Кількість ліній моніторингу	55
Кількість зафіксованих проїздів	33961

Завдяки цій інформації можна обчислити середню швидкість для кожного відрізка маршруту та відповідний час у дорозі. Крім того, порівнявши ці дані з розкладом руху (який зазвичай доступний у форматі GTFS), можна зібрати показники регулярності та надійності руху.

2.3 Методи та моделі, що використовуються для оцінок

Використання джерел типу Big Data для будь-яких типів застосувань, але особливо у сфері мобільності, вимагає ретельного та скрупульозного процесу очищення даних, спрямованого на усунення та виправлення аномальних точок. Коротко кажучи, помилки, що містяться в наборах даних, можна віднести до таких двох випадків:

- неправильно визначені GPS-координати;
- аномальні значення миттєвої швидкості в наборі даних.

Процедура виправлення полягає у застосуванні алгоритму зіставлення карт, що дозволяє «перепозиціонувати» точку GPS, яка містить помилку локалізації, на ділянці дороги, якою транспортний засіб насправді рухався.

Тому важливо підкреслити, що використовувана процедура не застосовує

простий критерій близькості точки до дуги, а базується на алгоритмі Вітербі [7], який враховує не лише близькість точок до дуги, а й правдоподібність отриманих маршрутів щодо структури мережі, а також правдоподібність орієнтації транспортного засобу, вимірної «чорною скринькою», щодо дорожньої дуги.

На рис. 2.6 представлено порівняння для кожної ділянки між кількістю проїздів у досліджуваній вибірці та даними обліку транспортних потоків на в'їздах до зони обмеженого руху (ZTL) історичного центру.

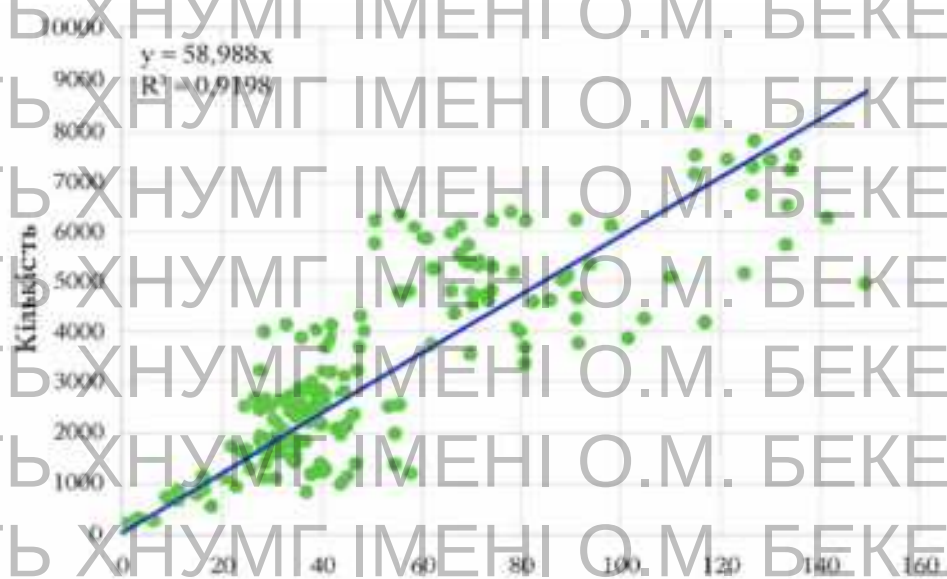


Рисунок 2.6 – Порівняння транспортних потоків на контрольно-пропускних пунктах зони обмеженого руху (ZTL) в історичному центрі міста між даними моніторингу та показниками, зафіксованими системами контролю проїзду

З аналізу графіка спостерігається висока узгодженість даних, що підтверджується концентрацією точок поблизу лінії регресії. Це свідчить про те, що вибірка адекватно відображає загальну структуру транспортних потоків обміну між досліджуваним периметром і прилеглою територією.

Кутовий коефіцієнт регресійної прямої, який становить приблизно 59, вказує на середній рівень проникнення вибірки на рівні близько 1,7%, що

відповідає приблизно 13 900 транспортним засобам на добу та 30 000 поїздкам на добу.

Моделювання сценарію зміни швидкісних обмежень базується на припущенні повного дотримання встановленого ліміту. Відповідно, максимальна швидкість обмежується на рівні 30 км/год, а параметри руху перераховуються з урахуванням рівномірного руху з цією швидкістю у всіх випадках, коли транспортний засіб у базовому сценарії рухається швидше, що проілюстровано на відповідному рисунку (рис. 2.7).



Рисунок 2.7 – Вплив введення обмеження швидкості до 30 км/год на профілі швидкості

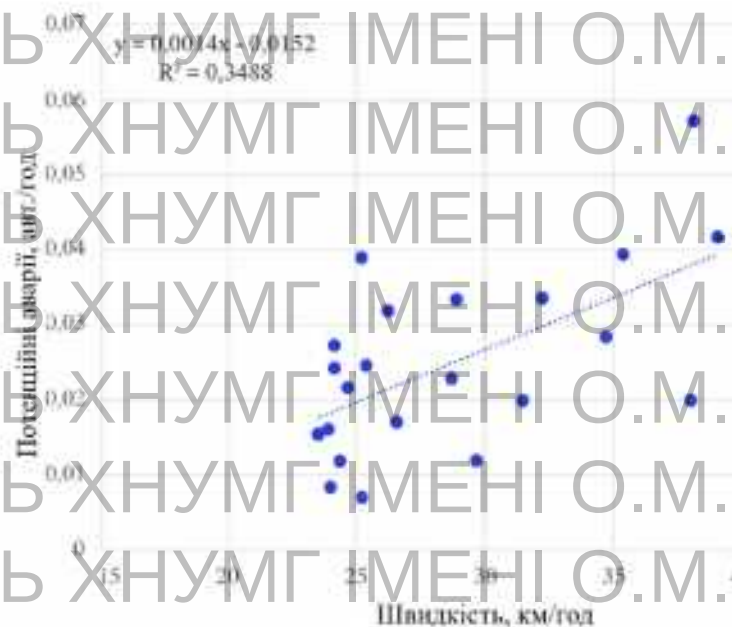
Отримані таким чином нові траєкторії руху використовуються як вихідна основа для перерахунку часу поїздок (за незмінної довжини маршруту порівняно з базовим станом), а також для застосування моделей оцінки викидів, шумового забруднення та аварійності.

Після формування бази даних FCD перший етап аналізу був спрямований на визначення наявності кореляції між підвищеними швидкостями руху та рівнем аварійності. Для цього було використано події типу «near miss» (потенційно небезпечні ситуації, що не призвели до ДТП), тобто випадки, коли пристрій фіксував аномальні прискорення по

поздовжній осі (різкі гальмування або прискорення) чи поперечній осі (різкі маневри).

Далі було виконано просторову прив'язку (map matching) подій «near miss» до окремих ділянок дорожньої мережі з метою формування статистичних показників для кожного її елемента.

На завершальному етапі отримані показники було співставлено з 85-м перцентилем швидкостей, зафіксованих на відповідних ділянках протягом періоду спостереження, що дозволило отримати результати, представлені на рис. 2.8.



На основі залежності, наведеної на рис. 2.8, індекс небезпечності для кожної ділянки дороги визначається за формулою:

$$\rho = (0,0014 \cdot v_{85} - 0,0152) \cdot S, \quad (2.1)$$

де v_{85} – 85-й перцентиль швидкості на ділянці за відповідний період і сценарій, км/год;

S – пробіг на ділянці за розглянутий період, авт·км.

Оцінка викидів парникових і забруднюючих речовин базується на використанні даних із секундною дискретизацією, що дозволяють детально відтворити профілі швидкості та прискорення транспортних засобів і слугують основою для застосування моделей розрахунку викидів твердих частинок (PM), оксидів азоту (NO_x) та CO₂.

Для такої оцінки може бути застосована адаптаційна модель HBEFA (Handbook Emission Factors for Road Transport) [8], інтегрованої в програмне забезпечення моделювання SUMO Німецького аерокосмічного центру (DLR) [9]. Дана модель враховує тип транспортного засобу (тип палива та екологічний стандарт), швидкість, прискорення, викиди під час зупинки, а також ефект відключення подачі палива під час гальмування (fuel cut-off).

На рис. 2.9 наведено приклад карти викидів CO₂ залежно від параметрів руху. Моделювання викидів здійснюється з високою деталізацією – для кожної точки спостережуваної вибірки.

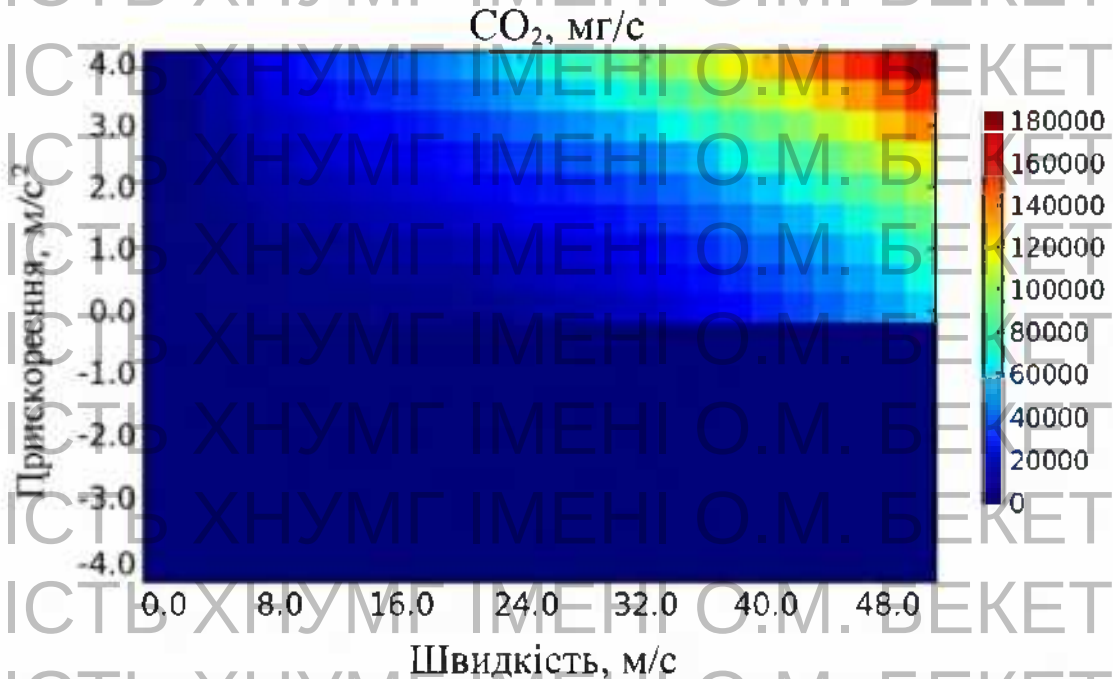


Рисунок 2.9 – Карта викидів CO_2 залежно від параметрів руху

Набір даних також дозволяє оцінити вплив заходу з точки зору зміни рівня шумового забруднення. Для розрахунку шумових викидів застосовано методику HARMONOISE, яка визначає загальну інтенсивність звуку, що створюється транспортним засобом під час руху, у спектрі з 27 частотних смуг (1/3 октави), з виділенням трьох складових: шуму кочення, шуму, пов'язаного зі швидкістю руху, та шуму, зумовленого тягою (миттєвим прискоренням).

Для кожної ділянки дорожньої мережі розраховується погодинний рівень шумового навантаження, нормований на інтенсивність транспортного потоку, який надалі перетворюється в еквівалентний добовий показник відповідно до методики Директиви 2002/49/ЕС з урахуванням різного сприйняття шуму протягом доби за формулою:

$$L_d = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{24} \left(12 \cdot 10 \frac{L_{day}}{10} + 4 \cdot 10 \frac{L_{evening} + 5}{10} + 8 \cdot 10 \frac{L_{night} + 10}{10} \right) \right), \quad (2.2)$$

де L_{day} , $L_{evening}$, L_{night} – рівні шуму відповідно вдень, ввечері та вночі, дБА.

Час поїздки автомобільного транспорту (приватного та таксі) визначається на основі даних FCD. Розрахунок може здійснюватися як у агрегованому вигляді (авт/год), так і детально – у секундах для окремих маршрутів або ділянок мережі.

База даних також дозволяє розрізнити приватні та службові транспортні засоби/таксі за характеристиками руху. У проєктному сценарії розрахунок часу поїздки базується на припущенні, що всі швидкості, вищі за 30 км/год, обмежуються цим значенням, а прискорення не враховується. Це дозволяє визначити зміну часу руху для кожного моменту за формулою:

$$\Delta t_i = \frac{S_i}{30} - t_i, \quad (2.3)$$

де Δt_i – зміна часу поїздки в момент i ;

S_i – пройдена відстань у базовому сценарії в момент i ;

t_i – час поїздки у базовому сценарії в момент i .

На основі цих значень можливо як перерахувати загальний показник авт/год у проєктному сценарії, додаючи приріст часу до базового рівня, так і визначити час поїздки між окремими точками. У другому випадку, за незмінного часу відправлення, новий час прибуття отримується шляхом додавання сумарного значення Δt_i для відповідного маршруту.

Дані, отримані з автоматичних систем моніторингу рухомого складу громадського транспорту, були використані для відтворення графіків руху

автобусів та подальшого моделювання впливу заходу на час поїздки відповідних маршрутів.

На першому етапі було побудовано графіки руху для кожної ділянки між сусідніми зупинками (з максимальною часовою деталізацією), використовуючи модель, що складається з трьох фаз: прискорення, рівномірного руху та уповільнення (рис. 2.10).

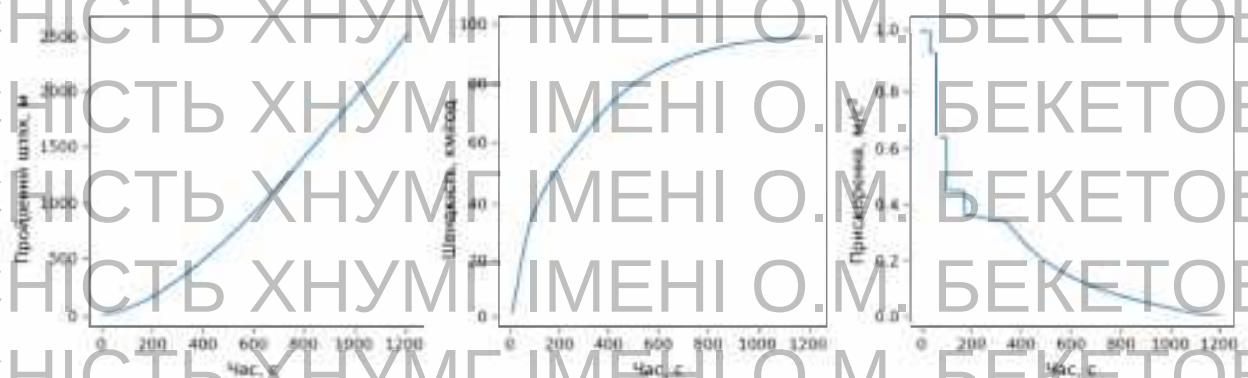


Рисунок 2.10 – Графіки руху під час прискорення

Для фази уповільнення було прийнято сталу величину прискорення, що дорівнює 1 м/с^2 . Оцінка впливу заходу базується на порівнянні графіків руху в існуючому стані та у сценарії з обмеженням швидкості до 30 км/год.

Незважаючи на певне спрощення у вигляді сталого швидкісного профілю, такий підхід є методично обґрунтованим і відповідає умовам міського руху. У моделі прийнято помірно динамічний стиль водіння, а також припущення про незмінність умов руху між сценаріями, що може призводити до незначного завищення оцінки часу поїздки.

Отримані результати свідчать, що впровадження обмеження швидкості до 30 км/год не має суттєвого негативного впливу на час руху громадського транспорту та є сумісним із збереженням поточного рівня транспортного обслуговування.

2.4 Висновки по розділу

У розділі розроблено комплексний методичний підхід до оцінки впливу впровадження «Зони 30», що базується на використанні великих масивів даних (FCD, AVM) та сучасних моделей аналізу транспортних процесів.

Отримані результати підтверджують наявність зв'язку між швидкісним режимом та рівнем аварійності, а також дозволяють кількісно оцінити вплив обмеження швидкості на викиди, шум та час поїздки.

Запропонований підхід забезпечує високу точність, відтворюваність і обґрунтованість оцінок, що є важливим для прийняття ефективних управлінських рішень у сфері міської мобільності.

Встановлено, що впровадження обмеження швидкості до 30 км/год не призводить до суттєвого погіршення транспортної ефективності, водночас сприяючи підвищенню безпеки та екологічності міського середовища.

РОЗДІЛ 3

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ЗОНИ З ОБМЕЖЕННЯМ ШВИДКОСТІ ДО 30 КМ/ГОД

3.1 Аналіз перевищення швидкісного режиму на дорожній мережі

На рис.3.1 для кожної ділянки дорожньої мережі показано частку зафіксованих швидкостей, що перевищують обмеження 30 км/год, за весь період спостереження у м. Рим. Ділянки, позначені червоними відтінками, вказують на зони, де транспортні засоби рухаються з перевищенням швидкості; натомість зелені ділянки відображають місця, де обмеження 30 км/год уже фактично дотримується навіть без офіційного запровадження «Зони 30».



Рисунок 3.1 – Розподіл випадків миттєвої швидкості,
що перевищує 30 км/год



Рисунок 3.2 – Щоденна динаміка середньої швидкості руху вздовж основних транспортних осей

Виходячи із результатів аналізу середніх швидкостей на дорогах (рис.3.2), можна помітити, що в денний час середні швидкості вже зараз залишаються нижче обмеження в 30 км/год.

У роботі була виконана кількісна оцінка швидкісного режиму та пов'язаних із ним ризиків дорожньо-транспортних пригод на основі даних Flow Car Data (FCD).

Першим етапом було визначено частку випадків перевищення швидкості понад 30 км/год:

$$P_{\geq 30} = \frac{N_{v \geq 30}}{N_{all}} \cdot 100\%, \quad (3.1)$$

де $N_{v \geq 30}$ – кількість зафіксованих значень швидкості, що перевищують 30 км/год;

N_{all} – загальна кількість вимірювань швидкості.

За результатами розрахунків встановлено, що близько 27-29% зафіксованих значень швидкості перевищують 30 км/год, що узгоджується з просторовим розподілом на рис. 3.1. При цьому на більшості ділянок (понад 60%) частка перевищень залишається нижчою за 20%, що свідчить про часткове дотримання швидкісного режиму.

Після цього були проаналізовані статистичні дані аварійності у зоні історичного центру та місця виникнення ДТП або випадків, що майже призвели до них (точки «near miss») та різких уповільнень, зафіксованих у моніторованій вибірці (рис.3.3).



Рисунок 3.3 – Визначення місць, де сталися потенційно небезпечні ситуації, та випадків різкого гальмування, зафіксованих у моніторованій вибірці

Додатково було розраховано середнє перевищення швидкості для випадків, коли вона перевищує встановлене обмеження:

$$\Delta v = \frac{\sum (v_i - 30)}{n}, \quad (3.2)$$

де v_i – зафіксована швидкість, що перевищує 30 км/год;

n – кількість таких випадків.

Отримане значення становить +3,8 км/год, що вказує на помірний характер перевищень. Водночас на окремих ділянках, позначених на карті як проблемні, цей показник досягає +6-7 км/год. На основі аналізу подій типу *near miss* було визначено щільність потенційно небезпечних ситуацій:

$$D_{nm} = \frac{N_{nm}}{Q}, \quad (3.3)$$

де N_{nm} – кількість зафіксованих подій *near miss*;

Q – загальний пробіг транспортних засобів, авт·км.

У середньому значення показника становить 2,1 події на 1000 авт·км, тоді як на ділянках із підвищеними швидкостями воно зростає до 3,5-3,8 подій на 1000 авт·км, що підтверджує залежність між швидкістю та ризиком (рис. 3.3)

Ці випадки розташовані переважно на дорожніх осях, де рух відбувається з більшою швидкістю (що є ще одним підтвердженням кореляції між цими двома величинами), а також у місцях перехресть.

Застосування відкаліброваної моделі для оцінки зміни частоти ДТП, що базується на даних «чорних скриньок» щодо потенційних та реальних випадків ДТП, дозволяє розрахувати зміну індексу безпеки, тобто кількість випадків, що становлять ризик ДТП, які очікуються внаслідок запровадження обмеження швидкості. Розрахунок показує очікуване зниження приблизно на 22% у перерахунку на добу (рис.3.4). Для оцінки впливу швидкісного режиму на рівень аварійності використано індекс безпеки, визначений за формулою:

$$P = (0,0014 \cdot v_{85} - 0,0152) \cdot S, \quad (3.4)$$

де v_{85} – 85-й перцентиль швидкості на ділянці, км/год;

S – обіг транспортних засобів на ділянці, авт·км.

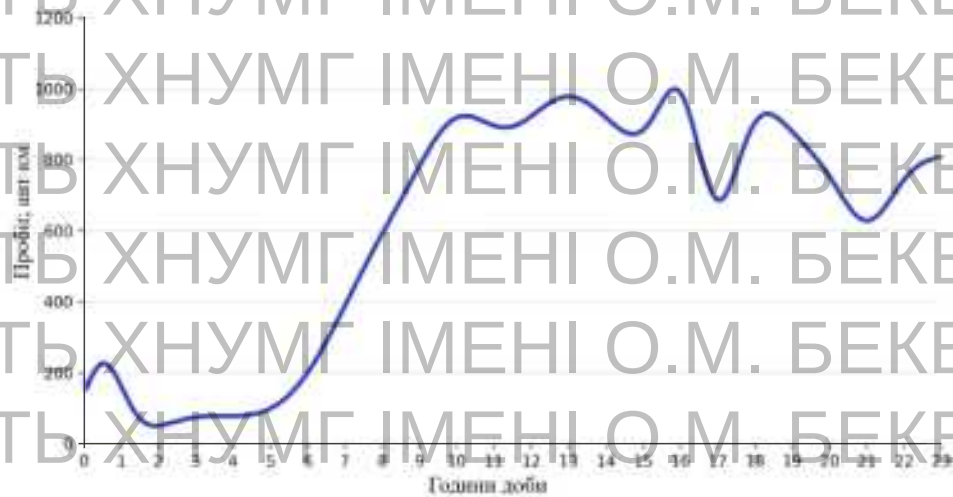


Рисунок 3.4 – Середні погодинні показники пробігу у робочий день за даними FCD

Порівняння базового та проєктного сценаріїв показало, що впровадження обмеження швидкості до 30 км/год дозволяє знизити індекс небезпеки в середньому на 14-18%, а на окремих ділянках – до 22-25%

На рис. 3.5 зображені зміни індексу конкретної небезпеки (нормалізованого за пройденою відстанню) у розрізі годин доби. Відповідно, що цей показник має більший вплив у нічні години, коли індекс демонструє значне зростання порівняно з рештою доби.



Рисунок 3.5 – Зміна індексу небезпеки за години доби

Порівняння значень індексу небезпеки у базовому та проєктному сценаріях дозволяє оцінити ефект від впровадження обмеження швидкості:

$$\Delta p = \frac{p_{30} - p_{base}}{p_{base}}, \quad (3.5)$$

де p_{30} – індекс небезпеки у сценарії з обмеженням швидкості до 30 км/год;

p_{base} – індекс небезпеки у поточному стані.

Отримані результати, представлені на рис. 3.4-3.5, свідчать про суттєве зниження рівня потенційної небезпеки, особливо на ділянках із підвищеними швидкостями у базовому сценарії.

Результати досліджень наведені у табл.3.1.

Таблиця 3.1 – Ключові показники оцінки швидкісного режиму та рівня небезпеки

Показник	Значення	Характеристика
1	2	3
Частка перевищень швидкості понад 30 км/год	27-29 %	Помірний рівень недотримання швидкісного режиму
Частка ділянок з низьким рівнем перевищень (<20%)	понад 60 %	Переважно стабільний швидкісний режим
Середнє перевищення швидкості	+3,8 км/год	Невисокий рівень перевищення
Максимальне середнє перевищення (локально)	+6-7 км/год	Проблемні ділянки мережі
Щільність подій <i>near miss</i> (середня)	2,1 події / 1000 авт·км	Загальний рівень ризику

Продовження табл.3.1

1	2	3
Щільність <i>near miss</i> на проблемних ділянках	3,5-3,8 події / 1000 авт·км	Підвищений ризик при більших швидкостях
Середнє зниження індексу небезпеки	14-18 %	Ефект від впровадження «Зони 30»
Максимальне зниження індексу небезпеки	до 22-25 %	Найбільший ефект на проблемних ділянках
Зниження індексу небезпеки у вечірній період	до 20 %	Найбільший часовий ефект

Таким чином, проведені розрахунки підтверджують наявність прямого зв'язку між швидкістю руху та рівнем небезпеки дорожнього руху, а також демонструють ефективність впровадження «Зони 30» як інструменту підвищення безпеки та стабілізації транспортних потоків.

3.2 Оцінка екологічних та акустичних ефектів впровадження «Зони 30»

У цьому підрозділі ми розглянули очікувані впливи заходу з обмеження швидкості з точки зору екологічних зовнішніх ефектів та їх наслідків для здоров'я користувачів у межах зони «Історичний центр». Зовнішні ефекти оцінюються за такими напрямками:

- викиди забруднюючих та парникових речовин;
- шумове забруднення.

Моделі, застосовані для оцінки змін викидів забруднюючих і парникових речовин (CO₂ та NO_x), дозволяють визначити зміни, наведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Загальна зміна обсягів викидів забруднюючих речовин та речовин, у порівнянні з поточним станом та Зоною 30

Речовина	Актуальне значення	Після впровадження Зона 30	Варіація
CO ₂ (kg)	206,2	198,3	-3,8%
NO _x (g)	54,0	43,4	-19,6%

Для кількісної оцінки екологічного ефекту від впровадження «Зони 30» було визначено абсолютну та відносну зміну обсягів викидів забруднюючих і парникових речовин.

Абсолютна зміна викидів визначалася за формулою:

$$\Delta E = E_{30} - E_{base}, \quad (3.6)$$

де E_{30} – обсяг викидів після впровадження «Зони 30»;

E_{base} – обсяг викидів у поточному стані.

За результатами розрахунків встановлено, що для CO₂ абсолютне скорочення становить:

$$\Delta E_{CO_2} = 198,3 - 206,2 = -7,9 \text{ кг.}$$

$$\Delta E_{NO_x} = 43,4 - 54,0 = -10,6 \text{ г.}$$

Відносна зміна визначається за формулою:

$$\delta E = \frac{E_{30} - E_{base}}{E_{base}} \cdot 100\%, \quad (3.7)$$

На рис. 3.6-3.7 показано зміни викидів NO_x та CO₂ відповідно у просторі та часі. На зображеннях зеленим кольором виділено ділянки, на яких викиди зменшуються, червоним – ті, на яких вони збільшуються,

причому інтенсивність кольору зростає відповідно до абсолютного значення зміни порівняно з поточним станом. Натомість на зображеннях показано динаміку загальної кількості речовин, що утворюються протягом різних годин доби, порівняно з поточним станом та сценарієм застосування заходу.



Рисунок 3.6 – Зміни викидів CO2 залежно від відрізка дороги



Рисунок 3.7 – Зміни викидів NOx залежно від відрізка дороги

З просторового аналізу видно, що для найбільш критичних забруднювачів, якими є NOx, найзначніше зниження відбувається саме

вздовж транспортних осей зони обмеженого руху (ZTL) в історичному центрі міста, що є прямим наслідком більшої ефективності обмеження швидкості до 30 км/год. Особливо помітним є зниження майже на всій довжині основних доріг у межах периметра.

На рис. 3.8-3.9 графічно зображені зміни концентрацій CO₂ та NO_x до та після впровадження зони обмеження швидкості до 30 км/год.

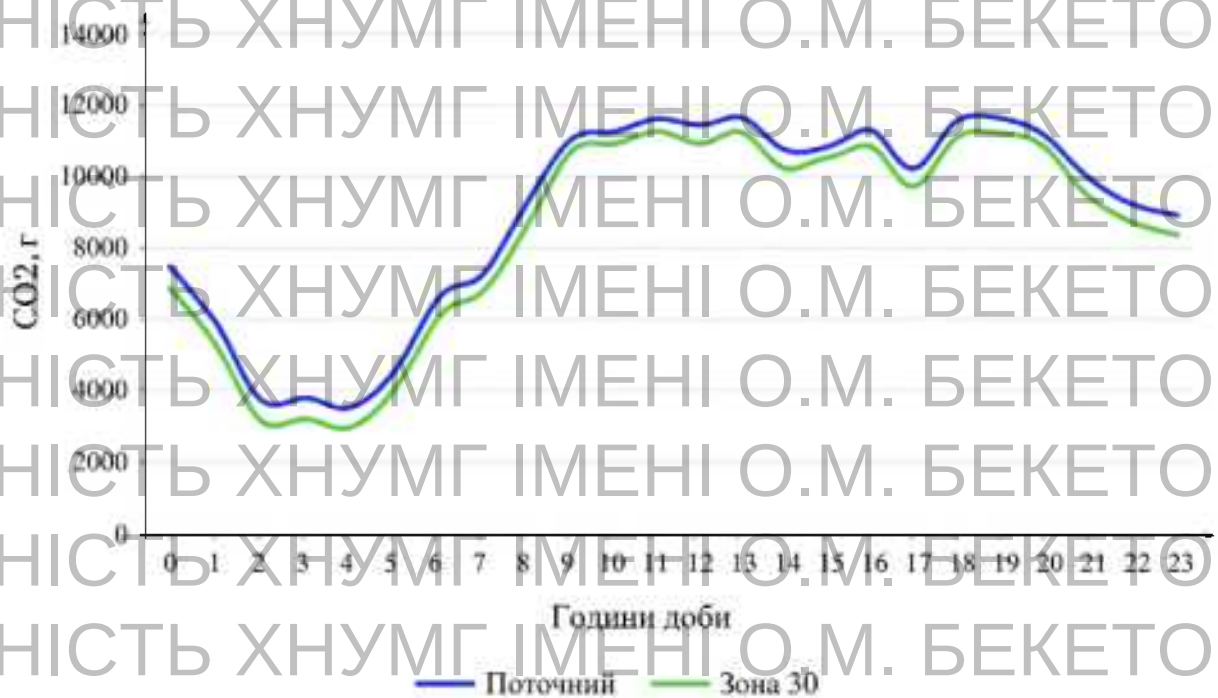


Рисунок 3.8 – Порівняння динаміки викидів CO₂ за годинами, до та після впровадження «Зони 30»

У результаті отримано, що впровадження обмеження швидкості до 30 км/год забезпечує зниження викидів CO₂ на 3,8%, тоді як викиди NO_x скорочуються на 19,6%. Це свідчить про вищу ефективність заходу щодо зменшення локальних забруднювачів, які найбільше впливають на якість повітря в міському середовищі.

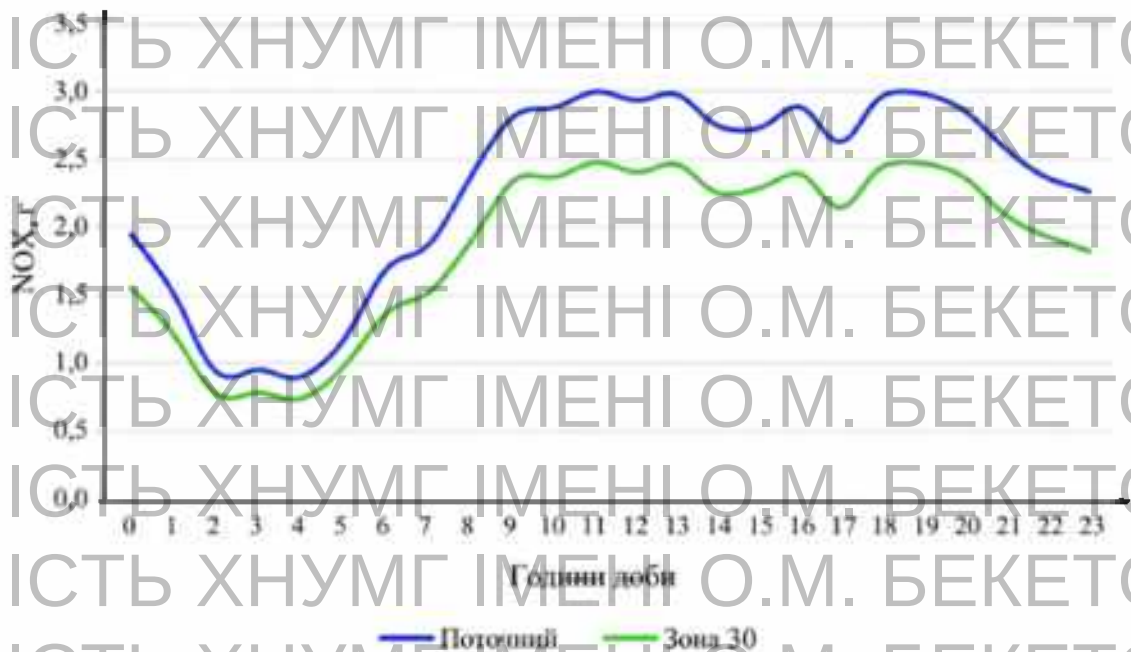


Рисунок 3.9 – Порівняння динаміки викидів NOx за годинами, до та після впровадження «Зони 30»

Додатково для оцінки ефективності заходу було визначено коефіцієнт зміни викидів:

$$K = \frac{E_{\text{до}}}{E_{\text{після}}}, \quad (3.8)$$

Для CO₂ цей показник становить:

$$K_{\text{CO}_2} = \frac{198,3}{206,2} = 0,962,$$

а для NOx:

$$K_{\text{NO}_x} = \frac{43,4}{54,0} = 0,804.$$

Отже, після впровадження «Зони 30» рівень викидів CO₂ становитиме 96,2% від початкового, а рівень NOx – 80,4%, що підтверджує позитивний екологічний ефект запропонованого заходу.

Модель акустичних викидів дозволяє отримати значення еквівалентного рівня шуму (дБ), наведені в табл. 3.3 для порівняння поточного стану та сценарію впровадження заходу.

Таблиця 3.3 – Порівняння основних статистичних показників шуму в існуючих умовах та за сценарієм «Зона 30»

Параметри	Актуальне значення	Після впровадження Зона 30	Вариація
Середній рівень Lden (дБ)	105,7	103,6	-2,1
Довжина мережі з Lden > 80 дБ (км)	24,76	22,65	-2,11(-8,5%)

Слід зазначити, що отримані значення є вищими за нормативні (ДПМ 14.11.1997), оскільки розрахунок здійснюється безпосередньо в джерелі шуму (без урахування затухання з відстанню та ефекту міського каньйону). Аналіз спрямований на порівняння різниці між сценаріями.

Для кількісної оцінки акустичного ефекту від впровадження «Зони 30» було визначено зміну середнього еквівалентного рівня шуму та протяжності ділянок мережі з наднормативним шумовим навантаженням.

Абсолютна зміна середнього рівня шуму визначалася за формулою:

$$\Delta L = L_{30} - L_{base}, \quad (3.9)$$

L_{30} – середній рівень шуму після впровадження «Зони 30», дБ;

L_{base} – середній рівень шуму в існуючому стані, дБ.

За результатами розрахунків отримано:

$$\Delta L = 103,6 - 105,7 = -2,1 \text{ дБ.}$$

Отже, впровадження обмеження швидкості до 30 км/год забезпечує зниження середнього рівня шуму на 2,1 дБ.

Для оцінки зміни протяжності ділянок із підвищеним шумовим навантаженням використано вираз:

$$\Delta l = l_{30} - l_{base}, \quad (3.10)$$

де l_{30} — довжина ділянок мережі з $L_{den} > 80$ дБ після впровадження заходу;
 l_{base} — відповідна довжина в поточному стані.

Тоді:

$$\Delta l = 22,65 - 24,76 = -2,11 \text{ км.}$$

Таким чином, довжина ділянок мережі з рівнем шуму понад 80 дБ скорочується на 2,11 км, або на 8,5% порівняно з поточним станом.

Відносна зміна довжини таких ділянок визначається за формулою:

$$\delta l = \frac{l_{30} - l_{base}}{l_{base}} \cdot 100\%, \quad (3.11)$$

$$\delta l = \frac{22,65 - 24,76}{24,76} \cdot 100\% = -8,5\%.$$

На графіках на рис. 3.11-3.12 показано динаміку середніх акустичних викидів мережі з розбивкою за типами днів (робочі дні, вихідні) з погодинною деталізацією.



Рисунок 3.10 – Порівняння поточного стану та сценарію «Зона 30» щодо рівня шуму на окремих ділянках дорожньої мережі

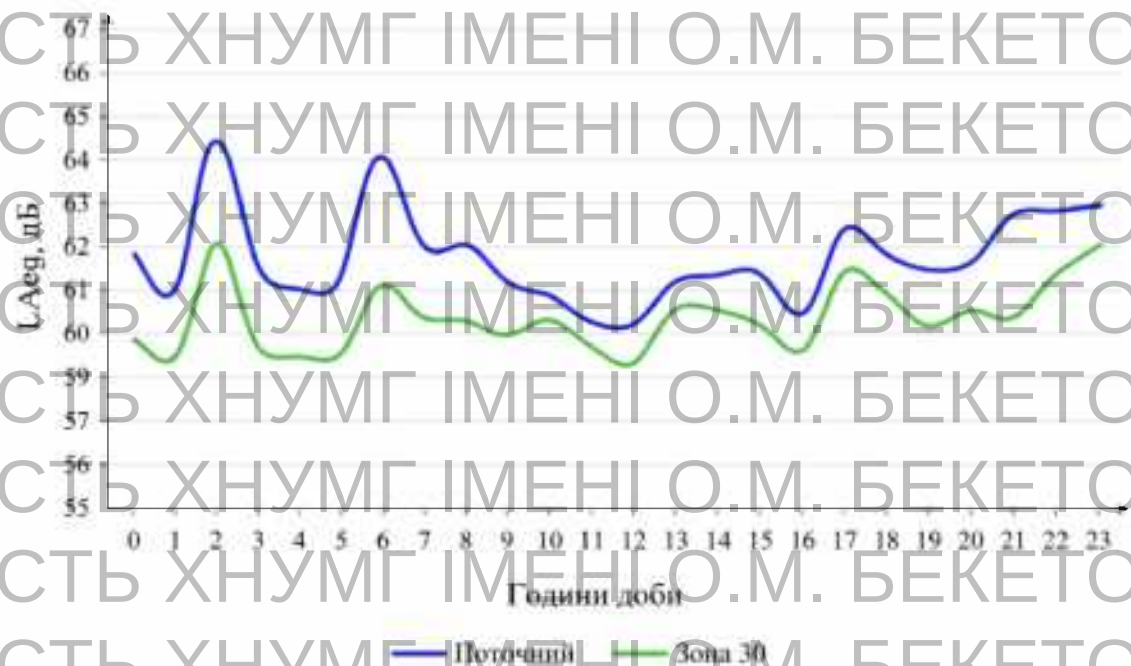


Рисунок 3.11 – Порівняння середніх рівнів шуму в мережі за годиною у будні дні

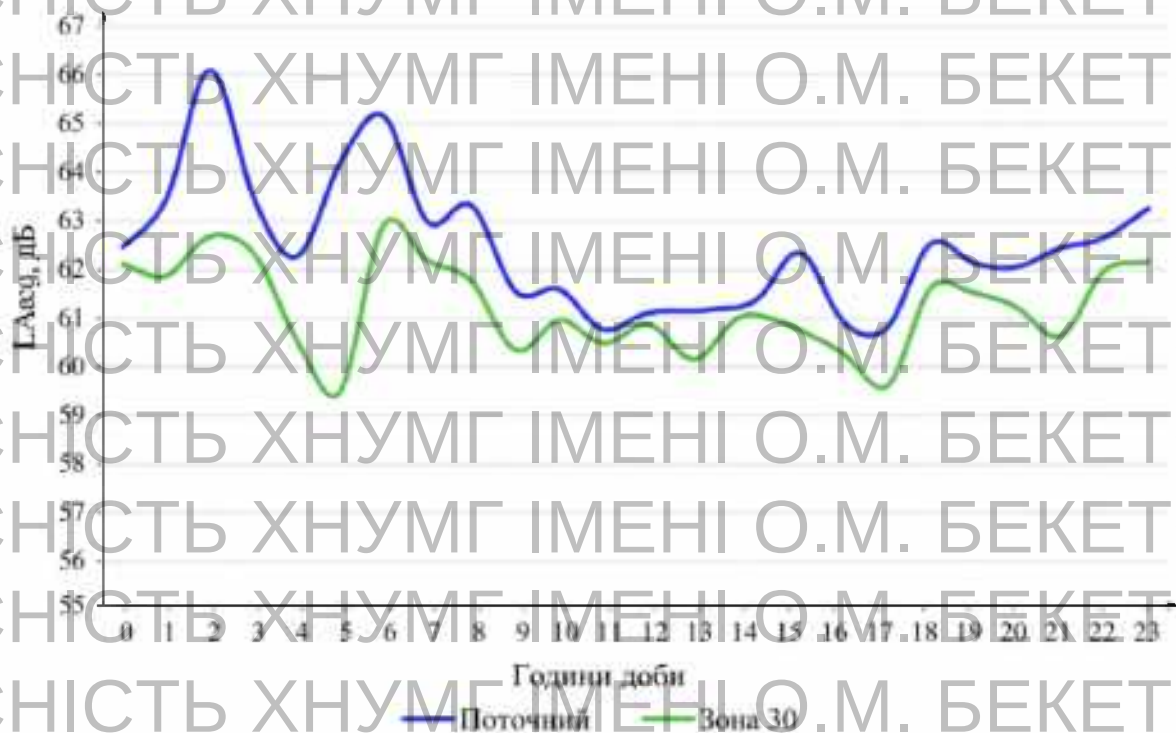


Рисунок 3.12 – Порівняння середніх рівнів шуму в мережі за годиною у вихідні дні

Додатково, з урахуванням логарифмічної природи шкали децибел, зміна інтенсивності шуму може бути оцінена за формулою:

$$\frac{I_{30}}{I_{base}} = 10^{\frac{\Delta L}{10}}. \quad (3.12)$$

$$\frac{I_{30}}{I_{base}} = 10^{\frac{-2.1}{10}} = 0,62.$$

Це означає, що після впровадження «Зони 30» інтенсивність шуму становитиме близько 62% від початкового рівня, тобто її зниження перевищує 38%.

Отримані результати підтверджують позитивний акустичний ефект від зниження швидкості руху. Незважаючи на відносно невелике абсолютне зменшення рівня шуму в децибелах, скорочення інтенсивності шумового

впливу є суттєвим, особливо на ділянках з високим поточним навантаженням та у нічний період, що узгоджується з даними, наведеними на рис. 3.11-3.12.

3.3 Аналіз ефективності руху громадського транспорту та таксі в умовах «Зони 30»

Впровадження обмеження швидкості до 30 км/год у центральних районах міста має незначний вплив на час поїздки громадського транспорту. Середня експлуатаційна швидкість у межах ZTL становить 8,66 км/год у будній день, а збільшення часу руху складає лише +2,3 с/км, що відповідає 0,43%.

Графік на рис. 3.13 показує розподіл загального часу роботи громадського транспорту в історичному центрі та додатковий час у разі впровадження обмеження 30 км/год. Спостерігаються два піки, найбільший – у ранковий період. Водночас приріст часу є незначним і зосереджується переважно в ранкові години, коли швидкість руху є вищою.

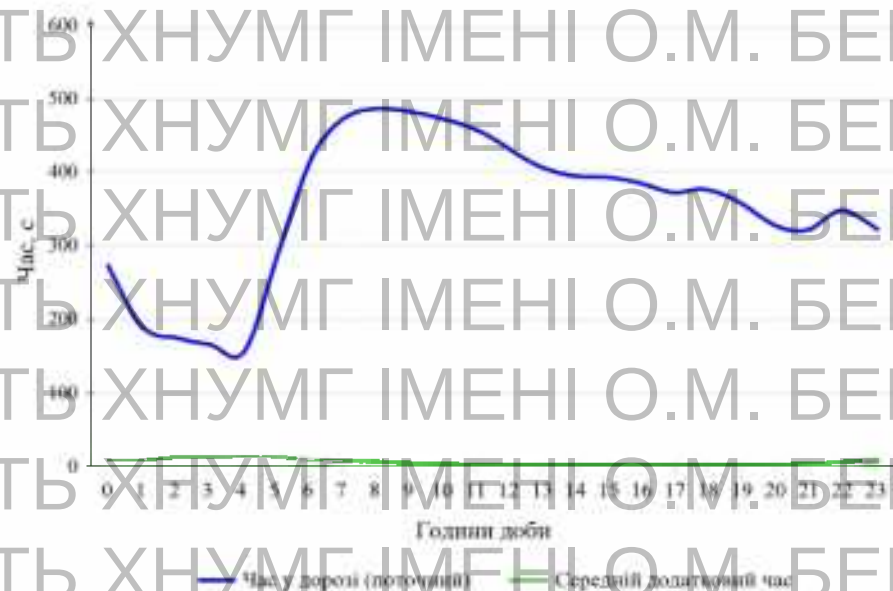


Рисунок 3.13 – Щоденна динаміка середнього часу проїзду за один рейс, розрахованого на даний момент, та прогнозованого додаткового часу

Динаміка середнього часу простою на маршруті (на рис. 3.14), відрізняється від попереднього графіку тим, що відображає середній показник, на який не впливає кількість активних рейсів за кожну годину, демонструє вищі значення у нічні години та ранні ранкові години, тоді як у денний період з 8:00 до 20:00 він стабільно залишається на дуже низькому рівні, що підтверджує обмежений вплив цього показника на загальну ефективність роботи служби.



Рисунок 3.14 – Щоденна динаміка середнього часу простою на ділянці

Порівняно з іншими транспортними засобами, транспортні засоби нерегулярного громадського транспорту (таксі та оренда автомобіля з водієм) вони виконують довші поїздки в межах зони 30 та демонструють подібну тенденцію перевищення швидкості – близько 21% зафіксованих значень перевищують 30 км/год.

Аналіз виконано за аналогічною методикою, як і для приватного транспорту, з метою оцінки особливостей руху дозволених категорій у межах історичного центру. Встановлено, що кількість поїздок досягає піку у період 10:00-12:00, тоді як максимальний пробіг припадає на 13:00-15:00, що свідчить про збільшення довжини поїздок у другій половині дня. Загалом попит залишається відносно стабільним у проміжку 08:00-20:00.

Аналіз часу руху показує, що втрати часу є незначними: середній додатковий час на поїздку не перевищує 20 с вдень і зменшується до менше 10 с у години пікового попиту. Водночас у нічний період (22:00-06:00) цей показник перевищує 30 с, що пояснюється вищими швидкостями руху та більшим впливом обмеження швидкості.

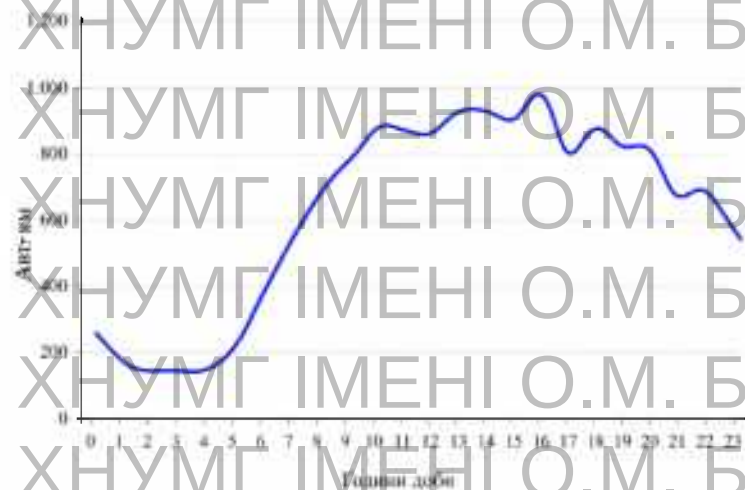


Рисунок 3.15 – Щоденна динаміка пробігу по всій мережі – таксі та автомобілі з водієм



Рисунок 3.16 – Щоденна динаміка кількості поїздок у всій мережі – таксі та автомобілі з водієм



Рисунок 3.17 – Щоденна динаміка часу проїзду по всій мережі – таксі та автомобілі з водієм

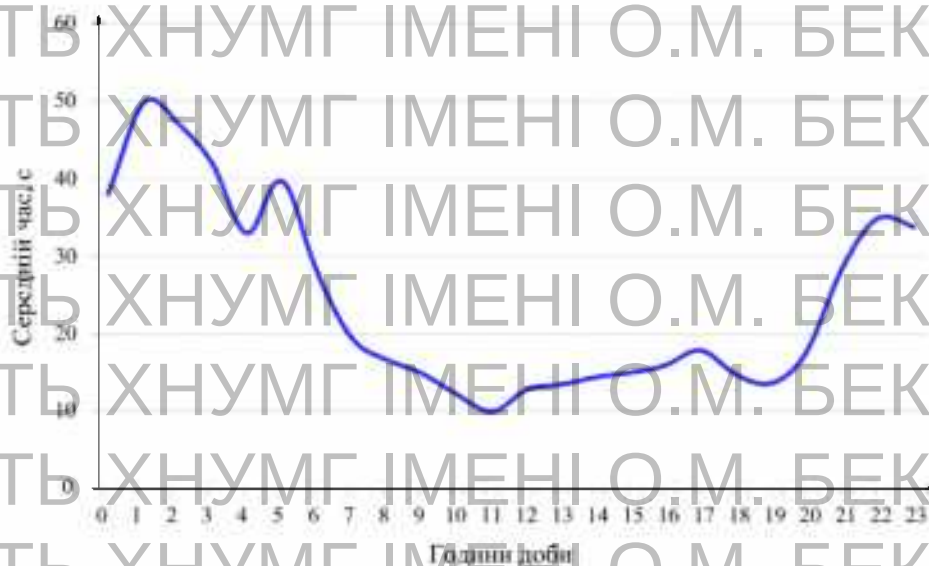


Рисунок 3.18 – Щоденна динаміка втраченого часу в усій мережі – таксі та автомобілі з водієм

Загалом у добовому вимірі додатковий час, пов'язаний із впровадженням обмеження 30 км/год, становить близько 4,9% від загального часу поїздки.

У періоди найбільшого попиту на послуги таксі та автомобілі з водієм (зокрема 10:00-12:00) цей показник зменшується до ~3%, що свідчить про незначний вплив заходу за умов інтенсивного, але впорядкованого руху.

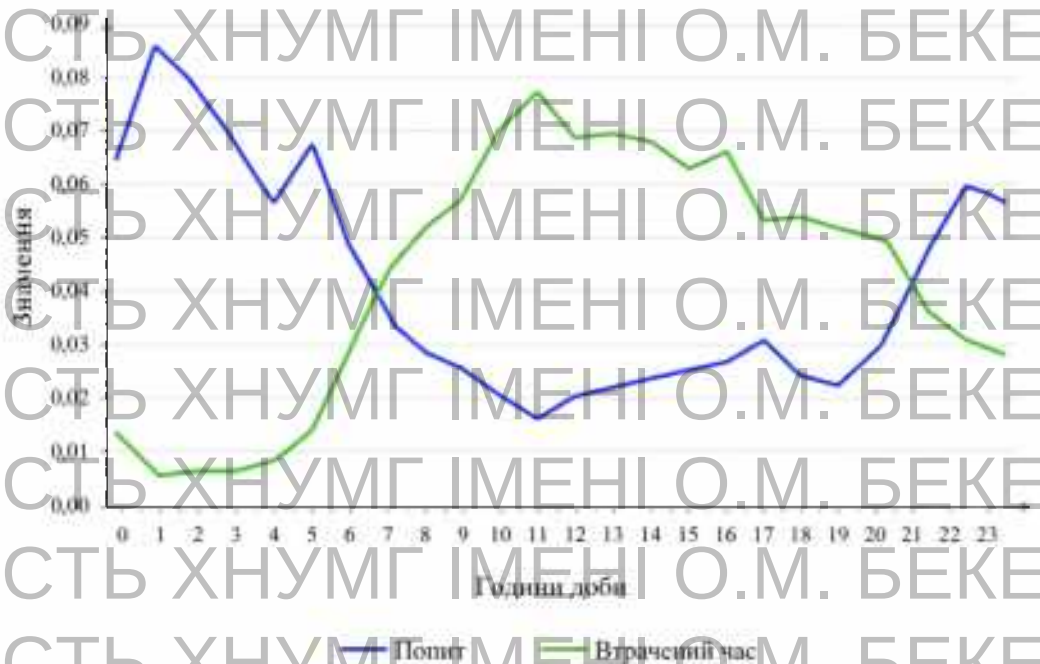


Рисунок 3.19 – Щоденна динаміка попиту та додаткового часу в усіх мережі

Аналіз (рис. 3.19) показує, що за низького попиту (<3–4%) середній додатковий час зростає, тоді як при перевищенні цієї межі зменшується до мінімальних значень.

Це підтверджує, що вплив обмеження швидкості є обернено пропорційним інтенсивності руху.

Отримані дані були проаналізовані, результати аналізу наведені у табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Узагальнення впливу обмеження швидкості 30 км/год на роботу транспорту в межах зони історичного центру

Показник	Значення	Результат
Середня експлуатаційна швидкість (базовий стан), км/год	8,66	Характерна для щільного міського середовища
Додатковий час руху, с/км	+2,3	Дуже незначне збільшення
Відносна зміна часу поїздки, %	0,43	Практично не впливає на ефективність
Частка перевищень швидкості (таксі), %	≈21	Помірний рівень перевищень
Середній додатковий час на поїздки (день), с	<20	Мінімальний вплив
Середній додатковий час у піковій години (10:00–12:00), с	<10	Найменший вплив
Середній додатковий час у нічний період (22:00–06:00), с	>30	Найбільший вплив через вищі швидкості
Загальний додатковий час (добовий), %	≈4,9	Від загального часу поїздок
Додатковий час у піковий період, %	≈3	Менший вплив при високому попиті
Піковий попит (кількість поїздок)	10:00–12:00	Найбільша інтенсивність руху
Піковий пробіг	13:00–15:00	Довші поїздки у другій половині дня
Характер впливу заходу	-	Обернено пропорційний інтенсивності руху

Отримані результати свідчать, що впровадження обмеження швидкості до 30 км/год має мінімальний вплив на ефективність роботи громадського транспорту та сервісів таксі. Незначне збільшення часу поїздок компенсується підвищенням безпеки руху, при цьому найбільший вплив спостерігається лише у нічний період, тоді як у години пікового попиту система залишається стабільною та ефективною.

3.4 Висновки по розділу

У результаті дослідження встановлено, що впровадження обмеження швидкості до 30 км/год у межах зони обмеження руху має комплексний позитивний ефект. Зокрема, очікується зниження індексу небезпеки приблизно на 22%, а також скорочення викидів CO_2 на 3,8% і NO_x на 19,6%.

Рівень шуму зменшується на 2,1 дБ, при цьому вплив на транспортну ефективність є мінімальним: збільшення часу руху становить лише 0,43%, а загальні втрати часу – близько 4,9%.

Отже, «Зона 30» є ефективним заходом підвищення безпеки та екологічності без суттєвого погіршення транспортної роботи.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі досліджено вплив впровадження обмеження швидкості до 30 км/год у межах історичного центру м. Рим на показники міської мобільності. На основі аналізу європейських та національних стратегій встановлено, що «Зона 30» є важливим інструментом підвищення безпеки, покращення якості довкілля та розвитку сталої транспортної системи.

Розроблена методика оцінювання, що базується на використанні даних Floating Car Data та AVM, дозволила комплексно проаналізувати зміни аварійності, викидів, шуму та часу поїздок. Отримані результати показали, що впровадження обмеження швидкості забезпечує зниження індексу небезпеки до 22%, скорочення викидів CO₂ на 3,8% та NO_x на 19,6%, а також зменшення рівня шуму на 2,1 дБ.

Водночас вплив на ефективність транспортної системи є мінімальним: збільшення часу поїздок становить близько 0,43%, а сумарні втрати часу — близько 4,9%, причому в години пікового попиту цей показник ще менший. Це свідчить про те, що захід не погіршує функціонування громадського транспорту та сервісів таксі.

Таким чином, впровадження «Зони 30» є ефективним і збалансованим рішенням, що дозволяє одночасно підвищити безпеку, покращити екологічні показники та зберегти належний рівень транспортного обслуговування в міському середовищі.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. European Union's Strategic Action Plan for Road Safety. Режим доступу: <https://etsc.eu/briefing-eu-strategic-action-plan-on-road-safety-2/>
2. EU Road Safety Policy Framework 2021-2030 – Recommendations on next steps towards «Vision Zero». Режим доступу: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=oj:JOC_2022_132_R_0005#:~:text=Document%2052021IP0407,%2C%2024.3.2022%2C%20pp.
3. The European Green Deal. Режим доступу: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en.
4. Directive (EU) 2024/2881 of the European Parliament and of the Council of 23 October 2024 on ambient air quality and cleaner air for Europe (recast). Режим доступу: https://eurlex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/?uri=OJ:L_202402881.
5. European Union's «100 Climate-Neutral and Smart Cities» Mission. Режим доступу: https://research-and-innovation.ec.europa.eu/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-europe/eu-missions-horizon-europe/climate-neutral-and-smart-cities_en.
6. Piano Nazionale della Sicurezza Stradale 2030 (PNSS 2030). Режим доступу: <https://www.mit.gov.it/node/15908>.
7. Paul Newson and John Krumm. 2009. Hidden Markov map matching through noise and sparseness. In Proceedings of the 17th ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems (GIS '09). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 336–343. <https://doi.org/10.1145/1653771.1653818>
8. Infras, A.G., 2010. Handbuch für emissionsfaktoren des strassenverkehrs (version 4.2). <https://www.hbefa.net/e/index.html>

9. Krajzewicz, D., Behrisch, M., Wagner, P., Luz, R., Krumnow, M. (2015). Second Generation of Pollutant Emission Models for SUMO. In: Behrisch, M., Weber, M. (eds) Modeling Mobility with Open Data. Lecture Notes in Mobility. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-15024-6_12
10. Державна стратегія регіонального розвитку на 2021-2027 роки від 05.08.2020 р. № 695: Постанова Кабінету Міністрів України. Київ. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/695-2020-%D0%BF#Text>.
11. ДСТУ ISO 39001:2015. Системи управління безпекою дорожнього руху. Вимоги та настанови. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016.
12. Офіційний сайт Roma Servizi per la Mobilita. Режим доступу: <https://romamobilita.it/>
13. Національний Інститут Статистики Італії. Режим доступу: <https://www.istat.it/>
14. Вища школа підготовки та досліджень у галузі транспорту – ISFORT. Режим доступу: <https://www.isfort.it/>
15. Національний центр моніторингу політики у сфері місцевого громадського транспорту Італії. Режим доступу: <https://www.mit.gov.it/progetto/osservatorio-nazionale-sulle-politiche-per-il-trasporto-pubblico-locale>
16. Комчатних О. В., Петровська С. І., Редько Н. О. Сучасний стан та перспективи розвитку транспортної інфраструктури в Україні // Бізнес та соціально-економічні системи. – 2021. – № 64. – С. 11–16. Режим доступу: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://bses.in.ua/journals/2021/64_2021/4.pdf
17. Транспорт та логістика: сучасні виклики та перспективи розвитку: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Одеса, 18 листопада 2021 р.) / за ред. Ільченко С. В. – Одеса : ІРЕЕД НАН України, 2021. – 166 с. Режим доступу: impeer.org.ua