

TRANSFORMATION OF URBAN SPACE IN LVIV IN THE CONTEXT OF CALCULATING CO₂ EMISSIONS FROM TRANSPORT

¹Yurii POLIANSKYI, ²Natalia BLAZHKO

^{1,2}Ivan Franko National University of Lviv, Lviv, Ukraine

¹polianskiyurii@gmail.com ²Nataliya.Blazhko@lnu.edu.ua

¹<https://orcid.org/0000-0002-5023-1881> ²<https://orcid.org/0000-0001-9976-6249>

Abstract

The article analyses a comprehensive approach used by Lviv to assess and map CO₂ emissions from transport within the city's initiative to curb emissions and improve the urban environment. As early as 2019, the city of Lviv began exploring the possibility of calculating transport-related emissions. Within the framework of the Horizon 2020 SPARCS project, implemented from 2019 to 2024 for the transport department of LKP "Lvivavtodor", a CO₂ emissions calculation module for modelling in PTV Visum/Vissim was procured. Using modern modelling tools, the study quantified CO₂ emissions from both public and private transport within the city's districts and several streets. Data on the number of vehicles within the city used for emissions calculations were sourced from the Main Department of National Police of Lviv Oblast. The developed macromodel demonstrated the ability to analyse emissions at multiple levels (district level and local object level). The results of macromodelling clearly indicate forthcoming transformations within districts, as well as after the reconstruction of several city streets, notably Taras Shevchenko Street and Ivan Mykolaichuk Street. The study's findings provide insights into how urban space could be planned and transformed in the districts and streets using traffic calming measures, re-planning of urban spaces, and road signage to further reduce CO₂ emissions and improve residents' quality of life. In the broader analysis, additional measures were proposed to help alleviate city load and, beyond emissions reduction, to mitigate noise pollution within districts and streets of the city.

Key words: city; Lviv; sustainable mobility; spatial planning; urbanism; urban space.

First received: 10-11-2025

Accepted: 24-12-2025

Published: 25-12-2025

DOI: <https://doi.org/10.17721/2413-7154/2025.94.8>

License: Creative Commons Attribution CC BY 4.0

ISSN: 2413-7154 (print), 2413-7553 (online)

ТРАНСФОРМАЦІЇ МІСЬКОГО ПРОСТОРУ ЛЬВОВА В КОНТЕКСТІ РОЗРАХУНКУ ВИКИДІВ CO₂ ВІД ТРАНСПОРТУ

¹Юрій ПОЛЯНСЬКИЙ, ²Наталія БЛАЗЖКО

^{1,2}Львівський національний університет імені Івана Франка, Львів, Україна

¹polianskiyurii@gmail.com ²Nataliya.Blazhko@lnu.edu.ua

¹<https://orcid.org/0000-0002-5023-1881> ²<https://orcid.org/0000-0001-9976-6249>

Анотація

У статті проаналізовано комплексний підхід Львова до оцінки та картування викидів CO₂ від транспорту в рамках міської ініціативи з калькуляції викидів та підвищення якості міського середовища. Місто Львів ще в 2019 році розпочало роботу над можливістю калькуляції викидів від транспорту в місті. Під час реалізації проєкту Європейської комісії програми Horizon 2020 "SPARCS", який тривав з 2019 по 2024 рік, для транспортного відділу ЛКП «Львівавтодор» було закуплено модуль калькуляції викидів для моделювання PTV Visum/Vissim. В межах використання сучасних інструментів моделювання проведено дослідження та підраховано обсяги викидів CO₂ від громадського та приватного транспорту в межах адміністративних районів міста Львів та декількох вулиць. Дані про кількості транспортних засобів в межах міста для обрахунку викидів були запозичені в головного управління поліції Львівської області. Розроблена макромодель змогла показати аналіз викидів на декількох рівнях (на рівні районів та локальних об'єктів). У межах отриманих результатів макромоделювання можна чітко прослідкувати майбутні трансформації, які будуть відбуватись в межах районів, а також опісля реконструкції декількох вулиць міста, а саме вулиць Тараса Шевченка та Івана Миколайчука. Результати дослідження дають розуміння, як в подальшому варто розпланувувати та трансформувати простір в межах районів та вулиць з використанням засобів стишення руху, перепланування місцевості та дорожніх знаків для подальшого зменшення викидів CO₂ та комфортного життя мешканців міста. В контексті загального аналізу було запропоновано додаткові заходи, які зможуть допомогти розвантажити місто та забезпечити зменшення окрім викидів також шумового забруднення в межах районів та вулиць міста.

Ключові слова: місто; Львів; стала мобільність; просторове планування; урбаністика; міський простір.

Рукопис вперше отримано: 10-11-2025

Прийнято до друку: 24-12-2025

Опубліковано: 25-12-2025

DOI: <https://doi.org/10.17721/2413-7154/2025.94.8>

Ліцензія: Creative Commons Attribution CC BY 4.0

ISSN: 2413-7154 (друкована версія), 2413-7553 (електронна версія)

Вступ та теоретичні основи дослідження

У сучасному світі транспорт відіграє глобальну роль для формування міського простору. Транспортне моделювання як явище почало зароджуватись ще в 60-их роках ХХ століття. Завдяки можливості формування моделей транспорту можна було прогнозувати трансформації та майбутнє планування магістралей та вулиць, що в свій час дозволяло більш системно підійти до процесу розвитку транспортних артерій міст та регіонів. Однією з перших таких моделей можна відзначити модель Гіпса. Хоча ця модель дає нереалістичний профіль розвитку транспорту, вона, ймовірно, є найпростішою повною і безаварійною моделлю, яка дає розуміння розвитку транспорту та його прискорення (Treiber & Kesting, 2013). Важливо зазначити, що початково моделі не використовували в контексті розрахунку викидів CO₂. Опісля прийняття декларації в Ріо-де-Жанейро про довкілля і розвиток в 1992 році (М. Р. Bazhan Ukrainian Encyclopaedia, 1999), яка містить в собі 27 принципів екологічно коректної поведінки світової спільноти для експертів у сфері моделювання, стало зрозуміло, що вимірювання викидів у майбутньому буде необхідним для подальшого сталого розвитку міст.

Важливим етапом в розвитку моделювання також був процес переходу від макромоделювання до мікромоделювання. Процеси діджиталізації та покращення програмного забезпечення змогли дозволити проводити загальний аналіз транспортних моделей більш точно та ґрунтовно (Parageorgiou et al., 2003). Свою популярність почали набувати інструменти динамічного мережевого моделювання, які враховували зміни попиту та завантаження в транспортних мережах, а також співвідношення між потоками та загальним станом інфраструктури міст. Важливо також зазначити процеси інтеграції практик використання транспортного моделювання з міським плануванням та використанням земель в межах досліджуваних об'єктів (Barcelo, 2010). Прикладом може бути об'єднання з такими інструментами, як система UrbanSim, що дає в комплексі загальне розуміння карти розвитку міського простору (Waddell & Ulfarsson, 2004). Перші конкретні моделі викидів були сформовані в 2000-ті роки. Проте варто відзначити, що такого типу моделі були пілотними та часто автономними в межах різних дослідницьких проєктів, тому можна відзначити їхню неточність в багатьох аспектах. Вже в 2009 році було проведено більш точне моделювання викидів, результати якого було проаналізовано в межах статті, розробленої Генрі Вайсманом, Селін Гувра та Фраком Леокром (Waisman et al., 2011). Опісля цього періоду розпочалась активна робота в межах дослідження викидів CO₂ від транспорту в місті в контексті більшої точності показників та реалістичності моделей. Окрім цього, одним з пріоритетів в контексті транспортного моделювання у цей період почали ставити зміни клімату, що стало рушієм розвитку такого типу досліджень. У середині 2010-х років продовжується робота над розвитком методик розрахунку викидів з використанням даних про швидкості та режими руху транспорту. Збільшилась увага до стандартів викидів і варіацій за типами транспортних засобів (Helbing, 2001).

У 2015-2020 роках у межах загального аналізу викидів почали використовувати комерційні або відкриті платформи, в межах яких можна було використовувати вбудовані або сумісні модулі для розрахунку викидів. Особливо актуальним в контексті розрахунку стало використання популярних симуляторів руху а саме: PTV Visum/Vissim, MATSim, SUMO transport.

Згідно досліджень, проведених в місті Лейпциг, опісля розрахунку викидів важливим фактором в межах отримання містом статусу кліматично-нейтрального було визначено можливість переходу транспорту на відновлювальні джерела енергії, що дозволить збільшити енергоефективність та зменшити використання викопних видів палива. Важливо звернути увагу також на розробку дорожніх карт та майбутніх міських концепцій в контексті скорочення викидів CO₂ від транспорту (Büttner & Rink, 2019).

Зафіксовано прогрес у нових технологіях, таких як електромобілі та попередньо оброблений біодизель, переважно у Європі та Північній Америці. Обсяги використання відновлюваних видів палива, такі як «зелений» водень, аміак, біометан, природний газ та синтетичний метан, зростають, але темпи цього зростання нижчі за ті, які потрібні для досягнення нульового балансу викидів у містах до 2050 року (Ferrer & Thomé, 2023).

Важливо зазначити також тісний зв'язок між викидами CO₂ та сталим розвитком логістики (Magazzino et al., 2021). Таким чином, підкреслюється важливість інтегрованої політики, технологічних інновацій та стратегічних ініціатив для скорочення викидів та підвищення ефективності логістики, а також вивчення наслідків та ефектів різних часових орієнтацій при просуванні сталого розвитку в транспортному секторі. Так дослідження Namidova et al. (2024) підтвердило припущення про те, що викиди CO₂ від транспорту впливають на сталий розвиток логістики, що підкреслює потребу зменшення обсягів цих викидів для покращення логістичної ефективності та сприяння сталості у транспортному секторі. У 50% випадків збільшення викидів CO₂ корелює зі зниженням Індексу логістичної продуктивності, що свідчить про те, що викиди знижують логістичну ефективність, а для точного розрахунку викидів від транспорту необхідно використовувати симулятори та програмне забезпечення, яке дозволяє найбільш об'єктивно оцінити обсяги викидів CO₂ від транспорту.

Окрім цього викиди впливають на здоров'я та життя людей . Експерти оцінюють, що відмова від спалювання викопного палива лише в США дозволила б уникнути 53000 смертей на рік, що становить понад 600 млрд доларів монетизованої економічної вигоди для здоров'я (Badreddine & Larbi Cherif, 2024).

Використання модулів дає більше можливостей в контексті деталізації моделей викидів а саме врахування Euro стандарту автомобілів, типів палива, ефективності двигунів, розмірів рухомого складу. В межах нашого дослідження використовувались дані, які були розраховані шляхом використання модуля до програмного забезпечення PTV Visum/Vissim.

Методика та основні результати дослідження

Місто Львів активно включилося в процес калькуляції викидів CO₂ від транспорту в 2019 році. Аналізуючи попередній досвід інших європейських міст в межах одного з проектів Європейської комісії "SPARCS", ЛКП «Львівавтодор» було прийнято рішення закупити додатковий модуль до програмного моделювання PTV Visum/Vissim, за допомогою якого формувалися моделі викидів від транспорту в межах міста. Розрахунки базуються на даних обліку транспортних засобів за 2022 рік, запозичених в головного управління поліції Львівської області, та розрахункових даних, які були надані ЛКП «Львівавтодор» опісля проведення повної калькуляції в межах використання програмного забезпечення PTV Visum/Vissim. Ці дані були інтегровані у транспортну модель міста з урахуванням рельєфу Львова та оброблені за процедурою Pollution-Emis. Обсяги викидів CO₂ розраховувались в г/км на добу. В межах аналізу даних викидів CO₂ було проведено два типи макромоделювання (на рівні міста та декількох об'єктів). Опісля отримання даних та їхнього опрацювання було проаналізовано кількість викидів в межах міста Львів. У контексті дослідження було виявлено найбільш забруднені викидами ділянки міста та поділено вулиці за районами. Дані подані в форматі від найменшого можливого показника викидів (г/км) до найбільшого показника. В межах дослідження також було виведено середній показник викидів. Об'єкти можуть повторюватись в декількох районах, оскільки обсяги викидів на різних ділянках об'єктів відрізняються (табл. 1).

Найбільш забрудненим районом за кількістю об'єктів можна вважати Залізничний район, кількість критичних ділянок в якому складає 10. Це пояснюється розташуванням та розмірами району: він простягається із західної до центральної частини міста та включає в себе один з найактивніших в'їздів від траси Н13, яка простягається в напрямку міста Городок та Кільцевої дороги. Окрім цього, в межах району знаходиться декілька важливих транспортних об'єктів міста: Головний залізничний вокзал, приміський залізничний вокзал та автовокзал Двірцевий. Рух в межах даних ділянок активний цілодобово, що підтверджують результати моделювання та велика кількість викидів. Найбільш забруднена ділянка в межах середнього розрахунку викидів знаходиться в межах вулиці Городоцької.

Ця вулиця є однією з найдовших в місті та найбільш завантаженою в контексті руху транспорту, оскільки простягається від західного виїзду з міста до повороту на вулицю Ярослава Мудрого в межах Залізничного району. Середній показник викидів складає 14072469 г/км на добу. Наступною по кількості викидів є вулиця Сяйво. Вона об'єднує мікрорайони Сріблястий та Левандівка. В межах мікрорайону Левандівка проживає значна кількість населення міста. Важливо також зазначити, що велика кількість автомобілів транзитом рухається через цю вулицю в сторону вулиці Тараса Шевченка, що спричиняє велику кількість викидів. Вулиці Залізнична, Левандівська, Тараса Шевченка,

Івана Виговського, Кульпарківська мають приблизно однакову кількість викидів в межах району в межах 4000000-8000000 г/км на добу. Найменша кількість викидів в межах вулиці Чернівецької. Це пояснюється тим, що вулиця є невеликою. Її відстань складає лише 1,1 км. Попри це, вона поєднує вулицю Городоцьку з центральним залізничним вокзалом, що формує постійний активний трафік транспорту.

Таблиця 1. Ділянки вуличної мережі Львова з найбільшими обсягами викидів CO₂ від транспорту (г/км на добу)

Район	Вулиця	Діапазон викидів, гм/км
Галицький	проспект Свободи	9 289 061 – 19 754 273
	проспект В'ячеслава Чорновола	5 860 795 – 11 864 567
	вулиця Листопадового Чину	523 655 – 16 534 593
	вулиця Підвальна	1 217 475 – 10 032 777
	вулиця Степана Бандери	929 053 – 14 793 912
	вулиця Городоцька	6 872 923 – 17 641 180
Шевченківський	проспект Чорновола	2 362 650 – 7 838 502
	вулиця Івана Мазепи	2 993 140 – 7 182 553
	вулиця В'ячеслава Липинського	5 593 538 – 12 217 409
	вулиця Богдана Хмельницького	3 432 987 – 15 552 688
	вулиця Бориса Грінченка	2 958 226 – 6 591 503
Личаківський	вулиця Личаківська	5 466 468 – 11 300 358
	вулиця Тракт Глинянський	1 543 655 – 9 837 854
	вулиця Пасічна	6 268 281 – 10 661 512
	вулиця Петра Ніщинського	1 810 046 – 3 746 105
Сихівський	вулиця Зелена	3 984 962 – 6 516 456
	вулиця Сихівська	3 551 365 – 5 688 372
	проспект Святого Івана Павла II	2 306 420 – 11 457 340
	проспект Червоної Калини	3 029 007 – 17 651 011
	вулиця Луганська	2 555 149 – 7 353 727
	вулиця Стрийська	8 172 069 – 16 619 505
Залізничний	вулиця Кульпарківська	5 834 805 – 10 344 949
	вулиця Івана Виговського	6 060 403 – 14 500 522
	вулиця Левандівська	4 740 622 – 10 059 741
	вулиця Тараса Шевченка	2 519 701 – 11 625 610
	вулиця Городоцька	6 659 270 – 21 485 669
	вулиця Чернівецька	1 047 759 – 2 648 714
	вулиця Сяйво	6 391 579 – 16 759 034
вулиця Залізнична	2 600 752 – 8 887 324	
Франківський	вулиця Володимира Великого	4 346 828 – 9 143 062
	вулиця Наукова	5 285 568 – 18 416 959
	вулиця Стрийська	9 965 276 – 15 219 691
	вулиця Андрія Мельника	1 396 133 – 4 334 159

Наступним за обсягом викидів CO₂ можна вважати Галицький район. В межах цього району можна спостерігати 6 об'єктів з критичним рівнем викидів. Галицький район розташований в центральній частині міста, яка є історичною. Вулиці в центральній частині міста розплановані ще за часів Австро-Угорської імперії та не розраховані на великий потік автомобілів. У межах району, особливо в години пік, можна постійно спостерігати затори та велику кількість автомобілів, які генерують викиди. Ще один важливий фактор – це постійні потоки туристів, які дуже часто користуються приватним транспортом, щоб дістатись до центральної частини міста. Можна констатувати, що найбільші середні значення викидів CO₂ в Галицькому районі сконцентровані на проспекті Свободи – 14521667 г/км на добу. Проспект знаходиться в центральній частині міста, яка постійно навантажена як приватним, так і громадським транспортом. Саме тому показники кількості викидів на цій ділянці одні з найвищих. Наступною ділянкою за навантаженням є частина вулиці Городоцької, яка знаходиться в межах району. Постійні затори через погано проведений процес реконструкції вулиці в 2016 році та старе австрійське планування спричиняють велике навантаження викидами. Середній показник в межах вулиці складає 8862681 г/км на добу. Показники в межах проспекту В'ячеслава Чорновола, вулиць Листопадового Чину та Степана Бандери приблизно однакові та складають 7000000 – 8000000 г/км на добу. Найменший показник з критичних можна спостерігати на вулиці Підвальной – він складає 5625126 г/км на добу.

Сихівський район можна вважати також одним з найбільш забруднених від транспорту в місті. Як і в Галицькому районі, тут можна спостерігати 6 об'єктів з критичною кількістю викидів від транспорту. Сихівський район знаходиться у південно-східній частині міста та вважається найбільш густонаселеним в межах міста. В межах цього району проживає близько 30000 мешканців міста. Тенденційно в середньостатистичній родині є одне авто, а в деяких більше. Постійне користування приватними автомобілями в межах району призводить до значної кількості викидів. Потрібно зазначити, що після введення смуг для руху маршрутних транспортних засобів в межах району швидкість руху транспорту збільшилась і автоматично зменшилась кількість викидів. Найбільше середнє значення викидів в межах Сихівського району можна спостерігати в межах вулиці Стрийської (12395787 г/км на добу). Ця вулиця є однією з найбільш навантажених в місті. В межах об'єкту знаходиться 6 смуг руху та постійно відбувається активний рух транспорту. Південний в'їзд в місто зі сторони с. Сокільники є одним з найбільш навантажених серед всіх, що пояснює велику кількість викидів в межах даного об'єкту. Великі обсяги викидів також можна спостерігати в межах проспекту Червоної Калини. Цей проспект об'єднує Франківський та Сихівський район та постійно активно навантажений транспортом. Середня кількість викидів 10340009 г/км на добу. Трішки більші, ніж на вулицях Зеленій, Сихівській та Луганській, можна спостерігати викиди в межах проспекту Івана Павла II (6 881 880 г/км на добу. В межах

вищезгаданих вулиць середня кількість викидів складає в районі 4-5 млн г/км на добу. Личаківський район має в своєму складі 5 критичних ділянок. Район знаходиться в східній частині міста та включає в себе декілька дуже активних ділянок в контексті навантаження транспортом. В'їзд до міста зі сторони міста Винники по вулиці Личаківській завжди активно навантажений в години пік. Варто також зазначити, що у Винниках розташований один з найпопулярніших відпочинкових комплексів в межах міста – "Emily Resort", активний рух до якого відбувається цілорічно. Цей відпочинковий комплекс був відкритий у 2022 році. Оскільки комплекс включає в себе не лише відкриту ділянку з озером для відпочинку але і закриті басейни, гірськолижний спуск та інші види розваг для мешканців постійний потік транспорту формує навантаження в межах вулиці Личаківської, середнє навантаження в межах якої складає 8383413 г/км на добу. Вище середнє навантаження в межах району можна спостерігати в межах вулиці Пасічна і складає 8464896 г/км на добу. Вулиця Пасічна поєднує в межах Личаківського району вулицю Личаківську в центральній частині району разом з вулицею Джорджа Вашингтона на півдні району та є однією з центральних магістралей в межах району. В межах вулиці можна спостерігати велику кількість міської забудови, в межах якої проживає близько 50000 тисяч мешканців міста. В межах вулиці Тракт Глинянський можна прослідкувати велику кількість приватних будинків, що пов'язано з історичними факторами. Середня кількість викидів складає 5690754 г/км на добу. В межах вулиці Петра Ніщинського середня кількість викидів складає 2778075 г/км на добу. Шевченківський район є одним з найбільших в межах міста Львів. Він простягається від північно-західної до північно-східної частини міста, охоплюючи велику урбанізовану територію від мікрорайону Рясне до мікрорайону Збоїща. В межах цього району можна виділити 5 об'єктів зі критичними викидами. Найбільша кількість викидів зосереджена в межах вулиці Богдана Хмельницького та складає 9492837 г/км на добу. Вулиця об'єднує центральну частину міста разом з північним виїздом з міста, який знаходиться в межах Галицького перехрестя. В межах даної ділянки відбувається постійно активний рух автомобілів та громадського транспорту. Високі середні показники викидів також можна спостерігати в межах вулиці В'ячеслава Липинського. Ця вулиця є також важливою транспортною артерією в межах Шевченківського району, яка об'єднує вулицю Богдана Хмельницького з вулицею Василя Єрошенка. Середня кількість викидів в межах вулиці складає 8905473 г/км на добу. Викиди в межах вулиць Бориса Грінченка, Івана Мазепи та проспекту В'ячеслава Чорновола формують показник в районі 5 мільйонів г/км на добу.

Останнім районом за обсягом викидів за результатами дослідження визначено Франківський район. Район знаходиться в південно-західній частині міста та є найменшим за площею. Попри це, в межах району можна спостерігати вулиці в межах яких навантаження в контексті викидів складає більше 10 мільйонів г/км на добу. Загалом в межах району зафіксовано 4 об'єкти з критичними викидами. Найбільша

кількість викидів зафіксована в межах вулиці Стрийської в контексті розташування в Франківському районі. Середня сума викидів складає 12592483 г/км на добу. Приблизно таку саму кількість викидів можна спостерігати в межах вулиці Наукової. Дана вулиця об'єднує кільце в межах вулиці Кульпарківської та перехрестя з вулицями Стрийською та проспектом Святого Івана Павла II. В межах вулиці функціонує 6 смуг; вона вважається однією з основних транспортних артерій району. Середня кількість викидів в межах вулиці складає 11851263 г/км на добу. В межах вулиці Володимира Великого середня кількість викидів складає 6744945 г/км на добу. Ця вулиця об'єднує кільце в межах вулиць Кульпарківської та Виговського та вулицю Стрийську. Частину району, в межах якого проходить вулиця, можна охарактеризувати як достатньо урбанізовану та постійно активну в контексті використання транспорту. Кількість викидів в межах вулиці Мельника складає 2865146 г/км на добу.

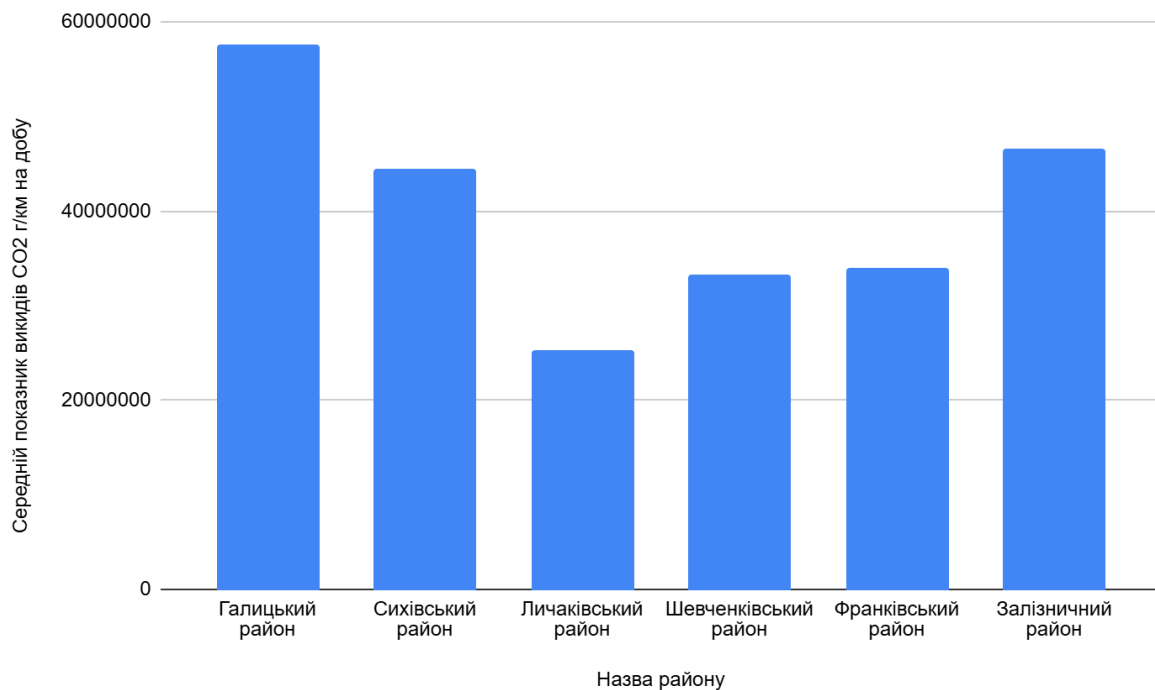


Рисунок 1. Середній показник викидів CO₂ (г/км на добу) в межах адміністративних районів міста Львова станом на 2024 рік.

Беручи до уваги загальний аналіз викидів CO₂ в межах критичних точок за районами міста (рис. 1), найбільш забрудненим можна вважати Галицький район. Середня кількість викидів в межах цього району складає 57657161 г/км на добу. Це пояснюється постійним активним транспортним навантаженням у центральній частині міста. В межах Сихівського району обсяг викидів на добу менший на приблизно 13 мільйонів г/км, середня їх кількість складає 44449621 г/км на добу. Приблизно однакові показники в Шевченківського та Франківського районі: 33361596 та 34053837 г/км на добу відповідно. Найменше викидів в контексті критичних точок в межах Личаківського району, а саме

25317138 г/км на добу. Беручи до уваги загальні середні значення в межах міста 10 мільйонів г/км на добу, можна констатувати, що найбільш забрудненою вулицею в межах міста Львова слід вважати вулицю Городоцьку, якщо сумувати показники в межах Галицького та Залізничного району, які складають 26329520 г/км на добу. Приблизно таку саму кількість викидів можна спостерігати в межах вулиці Стрийської (при сумуванні даних в межах Франківського та Сихівського районів): вони складають 24988270 г/км на добу. Попри невеликі розміри, проспект Свободи займає третє місце за забрудненням CO₂, середнє значення складає 14521667 г/км на добу. Приблизно однакові показники можна спостерігати в межах вулиць Наукової, Сяйво та проспекту Червоної Калини та коливаються в межах 10-11 мільйонів г/км на добу.

Макроскопічне моделювання та трансформації в межах вулиць Тараса Шевченка та Івана Миколайчука

Для визначення зміни показників викидів CO₂ від транспорту по вулиці Тараса Шевченка та суміжних ділянок та вулиці Івана Миколайчука та суміжних ділянок після проведення реконструкції, ЛКП «Львівавтодор» було проведено додаткове транспортне макроскопічне моделювання з використанням програмного середовища PTV VISUM. Можна констатувати з результатів моделювання, що перерозподіл інтенсивностей транспорту по вулиці Тараса Шевченка призводить до зменшення рівня викидів CO₂ (рис. 2).

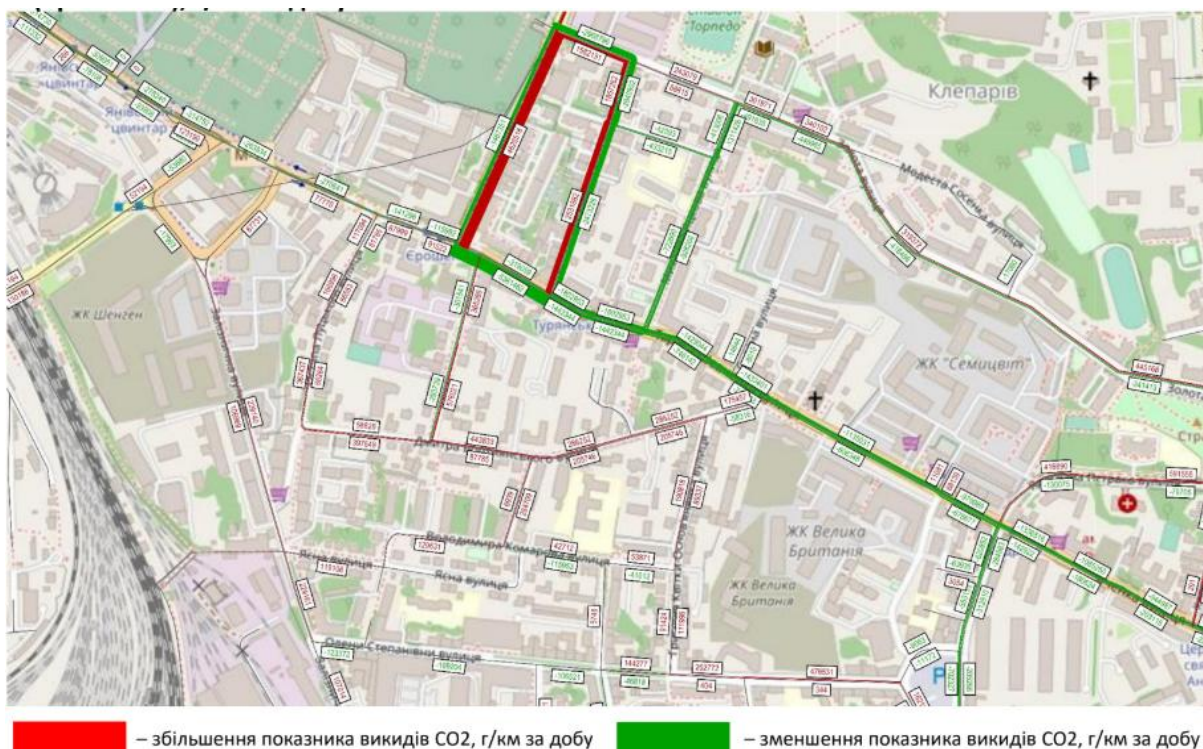


Рисунок 2. Різниця викидів CO₂ від транспорту в межах вулиці Тараса Шевченка та суміжних вулиць при сценарії 1 (до реконструкції) та сценарії 2 (проектний), г/км за добу (ЛКП «Львівавтодор»).

По вулиці Тараса Шевченка в напрямку від центру показник викидів CO₂ зменшується на 25,51 млн г/км, а в напрямку до центру – на 17,19 млн г/км. Дещо менше зменшення спостерігається по вулицях Осипа Турянського, Михайла Яцкова та Ярослава Мудрого. Незначне збільшення рівня викидів CO₂ можна спостерігати по вулиці Василя Єрошенка, оскільки до проведення реконструкції ця вулиця була односторонньою. По вул. Луцького та вулиці Дмитра Бортнянського, це пов'язано з заборонаю маневру лівого повороту з вулиці Василя Єрошенка на вулицю Тараса Шевченка, і деякі транспортні засоби обирають такий маршрут для виїзду на вулицю Городоцьку. Якщо оцінювати результати реконструкції вулиці Шевченка та суміжних ділянок, то значення показника викидів CO₂ від усіх видів транспорту зменшилось з 285,27 млн г/км до 242,55 млн г/км. Різниця викидів CO₂ після проєкту реконструкції вулиці зменшується на 42,72 млн г/км, що безсумнівно позитивно буде впливати на навколишнє середовище та трансформації в межах ділянки. Такого результату досягнуто за допомогою зміни організації дорожнього руху, а саме: зміною та вдосконаленням світлофорного регулювання, що дозволяє транспортним засобам швидше проїжджати ділянку вулично-дорожньої мережі, запровадження окремих смуг для руху приватного транспорту, яка впливає на збільшення пасажиропотоку та зменшення інтенсивності руху.

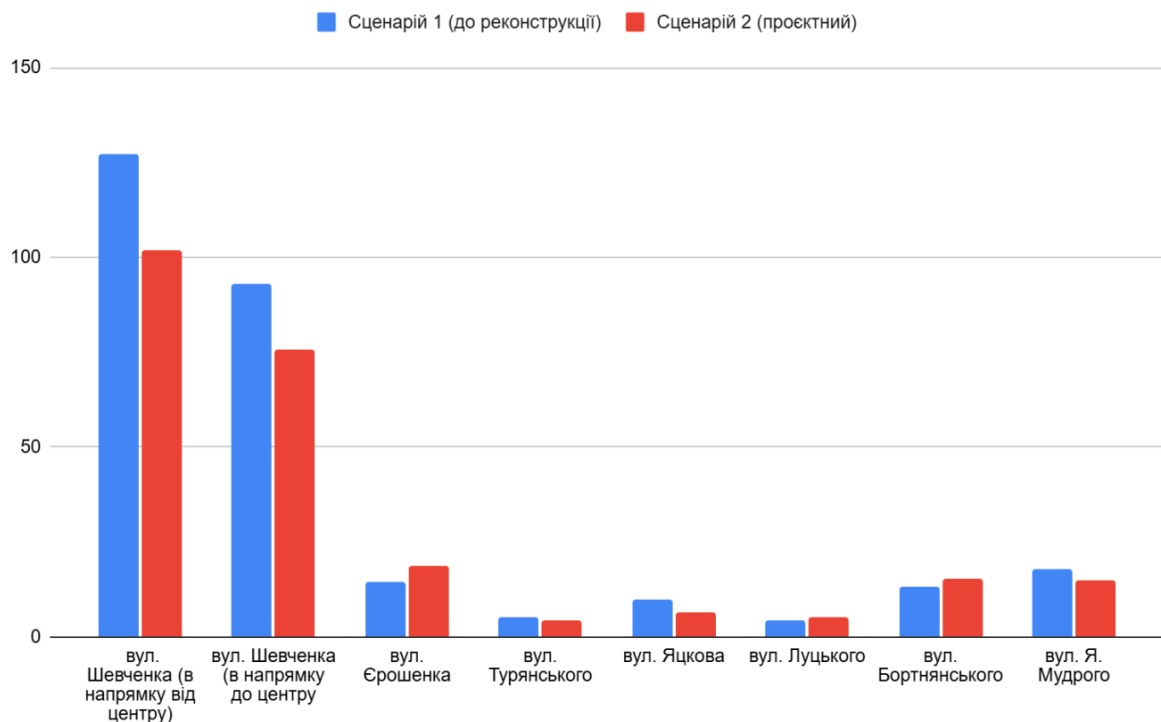


Рисунок 3. Графічне відображення порівняння результатів викидів CO₂ від транспорту в межах вулиці Тараса Шевченка та суміжних ділянок (млн г/км за добу): сценарій 1 (до реконструкції) та сценарій 2 (проєктний).

Після проведення аналізу результатів транспортного макроскопічного моделювання можна стверджувати, що проєкт реконструкції вулиці Тараса Шевченка позитивно вплинув на екологічну ситуацію, так як кількість викидів CO₂ від транспорту зменшується на 42,72 млн г/км (рис. 3). За умови побудови перехоплюючого паркінгу на вулиці Тараса Шевченка (на в'їзді у місто) передбачаємо подальше зменшення кількості викидів шкідливих речовин від транспорту на досліджуваній ділянці. В межах вулиці Івана Миколайчука та суміжних вулиць кількість викидів CO₂ після реконструкції вулиці також зменшується, але загальні показники зменшення є меншими, ніж в межах ділянки на вулиці Тараса Шевченка. Згідно з результатами моделювання, перерозподіл потоків руху по вулиці Івана Миколайчука призводить до зменшення рівня викидів CO₂ у більшості її ділянок, зокрема у напрямку до центру міста викиди CO₂ знижуються на 4,27 мільйонів г/км. Оскільки вулиця Віри, Надії, Любові стала односторонньою після реконструкції, рівень викидів також зменшується. Зменшення викидів спостерігається також і на вулиці Миколи Хвильового, але в меншій мірі. Заборона лівого повороту з вулиці Івана Миколайчука на вулицю Полтвяну сприяє незначному зниженню викидів на вулицях Полтвяній та Чигиринській, тоді як спостерігається їхній приріст на вулиці В'ячеслава Липинського, оскільки деякі автомобілі обирають цей маршрут для виїзду на вулицю Богдана Хмельницького. На вулиці Івана Миколайчука (з напрямком від центру міста) викиди CO₂ збільшуються на 0,61 мільйонів г/км. Зростання викидів на ділянці вулиці Івана Миколайчука (від вулиці Пилипа Орлика до вулиці Віри, Надії, Любові) та на вулиці Пилипа Орлика пояснюється організацією одностороннього руху на вулиці Віри Надії Любові. Також спостерігається збільшення викидів на вулицях Гетьмана Івана Мазепи та Авраама Лінкольна. При оцінюванні результатів реконструкції вулиці Івана Миколайчука та прилеглих вулиць, кількість викидів CO₂ з усіх видів транспорту зменшилася з 929,92 мільйонів г/км до 923,71 мільйонів г/км. Різниця у викидах CO₂ після реалізації проєкту реконструкції вулиці зменшилась на 6,21 мільйонів г/км, що, безсумнівно, показує позитивний вплив процесів реконструкції на навколишнє середовище. Це досягнуто шляхом зміни організації дорожнього руху, зокрема — шляхом вдосконалення та зміни керування світлофорами, що дозволяє транспортним засобам проходити ділянку дорожньої мережі швидше, а також введенням спеціальних смуг руху маршрутних транспортних засобів вздовж вулиці Івана Миколайчука, що збільшує пасажиропотік і зменшує інтенсивність руху. Після аналізу результатів макроскопічного моделювання транспорту можна вважати реконструкцію вулиці Івана Миколайчука успішною в контексті зменшення викидів CO₂ від транспорту, оскільки частка викидів CO₂ від транспорту зменшилася на 6,21 мільйонів г/км.

Висновки

Стаття демонструє можливості цілісного підходу до аналізу трансформацій міського простору у контексті розрахунку викидів CO₂ від транспорту з акцентом на практичні умови міського планування та сталого розвитку. Впровадження сучасної моделі з використанням модуля розрахунку емісій у PTV Visum/Vissim дозволило не лише оцінити поточні рівні викидів CO₂ від транспорту у Львові, але й здійснити порівняльний аналіз сценаріїв розвитку міської інфраструктури та регуляторних заходів. Аналіз на базі моделювання підтвердив, що різна за характером інфраструктура та регуляторні вузли (наприклад, реконструкція вулиць, вузли перетину потоків) мають суттєвий вплив на розподіл викидів як у районному розрізі, так і на рівні окремих ділянок. Це підкреслює потребу у поєднанні регуляторних заходів з інфраструктурними змінами для досягнення суттєвого зменшення CO₂. Загальний аналіз в межах районів міста виявив ключові «критичні» ділянки, такі як проспекти Свободи, Чорновола та вулиця Городоцька, де зосереджені пікові викиди. Такі висновки можуть бути результатом для подальших дій міських служб, комунальних підприємств та департаментів в контексті пріоритетних інтервенцій (регуляція світлофорів, оптимізація маршрутів громадського транспорту, поліпшення інфраструктури пішохідно-велосипедного руху, тощо). Очікувані трансформації після реконструкцій окремих вулиць (Тараса Шевченка та Івана Миколайчука) демонструють потенціал зниження викидів за рахунок змін у поточних режимах руху та більш прозорій інтеграції заходів стишення руху та перепланування простору. Для подальшого аналізу ситуації важливо, щоб дані і в подальшому калькулювались в межах комунальних підприємств міста для можливості проведення порівняльної характеристики в майбутньому. В загальному дослідження підтверджує цінність інтеграції сучасних моделювальних інструментів в містобудівних процесах для формування більш екологічно стійкого міського простору. Подальші розвинуті дослідження можуть розширити набір сценаріїв, деталізувати регуляторні та інфраструктурні зміни, а також посилити механізми моніторингу та репродукції результатів з метою довгострокового зменшення CO₂ та підвищення якості життя мешканців Львова.

Funding

No funding has been reported by the authors.

Фінансування

Автори не повідомляли про джерела фінансування.

Conflict of interest

No potential conflict of interest was reported by the authors.

Конфлікт інтересів

Автори не повідомляли про потенційний конфлікт інтересів.

References | Список використаних джерел

- Badreddine, A., & Larbi Cherif, H. (2024). Public health improvement by reducing air pollution: A strategy for the transition to renewable energy. *Health Economics and Management Review*, 5(1), 1-14. DOI: <https://doi.org/10.61093/hem.2024.1-01>
- Barcelo, J. (2010). Fundamentals of traffic simulation. In Barth, M. (Ed.), *Traffic Simulation: A Practical Approach* (pp. 1-36). Springer. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6142-6>
- Büttner, L & Rink, D (2019). Urban transition of the heat sector in Leipzig toward a post-fossil city? *Sustainability*, 11(21), 6065. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11216065>
- Ferrer, A. L. C., & Thomé, A. M. T. Carbon emissions in transportation: A synthesis framework. *Sustainability*, 15, 8475. DOI: <https://doi.org/10.3390/su15118475>
- Hamidova, L., Alikhanova, L., Kasumova, L., Karimova, T., & Mirzayeva, F. (2024). The impact of CO₂ emissions from different types of transporton countries' logistics efficiency: Case of ITF member countries. *Environmental Economics*, 15(2), 215-231. DOI: [https://doi.org/10.21511/ee.15\(2\).2024.15](https://doi.org/10.21511/ee.15(2).2024.15)
- Helbing, D. (2001). Traffic and related self-driven many-particle systems. *Reviews of Modern Physics*, 73(4), 1067-1141. DOI: <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.73.1067>
- M. P. Bazhan Ukrainian Encyclopaedia. (1999). Rio de Janeiro Declaration on Environment and Development, 1992. [In Ukrainian]. [Українська Енциклопедія імені М. П. Бажана. (1999). Декларація Ріо-де-Жанейро про навколишнє середовище і розвиток 1992 року.]
- Magazzino, C., Alola, A. A., & Schneider, N. (2021). Thetriangle of innovation, logistics performance, and environmental quality in 25 topmost logistics countries: A quantileregression evidence. *Journal of Cleaner Production*, 322, Article 129050. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.129050>
- Papageorgiou, M., Diakaki, C., Dinopoulou, V., Kotsialos, A., & Wang, Y. (2003). Review of road traffic control theories. *Proceedings of the IEEE*, 91(12), 2030–2041. DOI: <https://doi.org/10.1109/JPROC.2003.819610>
- Treiber, M., & Kesting, A. (2013). *Traffic Flow Dynamics: Data, Models and Simulation*. Springer. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-32460-4>
- Waddell, P., & Ulfarsson, G. F. (2004). Introduction to urban simulation: Design and development of operational models. In D. A. Hensher, K. J. Button, K. E. Haynes, P. R. Stopher (Eds.), *Handbook of Transport Geography and Spatial Systems* (Chapter 13). DOI: <https://doi.org/10.1108/9781615832538-013>
- Waisman, H., Guivarch, C., & Lecocq, F. The transportation sector and low-carbon growth pathways: modeling urban, infrastructure and spatial determinants of mobility. *Climate Policy*, 13, 106-129. DOI: <https://doi.org/10.1080/14693062.2012.735916>
-
-