

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ В. Н. КАРАЗІНА**

**Факультет геології, географії, рекреації і туризму**

***Кафедра соціально-економічної географії і регіонаознавства  
імені Костянтина Немця***

*До захисту допустити*  
*Завідувач кафедри \_\_\_\_\_ Людмила НЄМЕЦЬ*  
*«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.*

**ГІС-АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ МІСЬКОГО ТРАНСПОРТУ  
(НА ПРИКЛАДІ М. БЕРЛІН)**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА**

**Виконав: студент 4 курсу, групи ГЕ-41  
спеціальності 106 «Географія»  
ОПП «Економічна, соціальна географія  
та регіональний розвиток»  
Тютюрев Єгор Романович**

**Науковий керівник: д.ф. ст. викл.  
Серьогін Денис Сергійович**

*Кваліфікаційна робота захищена з оцінкою*

\_\_\_\_\_  
*Голова ЕК Тарас ПОГРЕБСЬКИЙ*

\_\_\_\_\_  
*Секретар ЕК Олена ПЕДЬ*

*«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.*

**Харків – 2025**

**ЗМІСТ**

ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ МІСЬКОГО ТРАНСПОРТУ.....	7
1.1. Поняття та класифікація міського транспорту.....	7
1.2. Роль транспорту в розвитку міського простору.....	9
1.3. Методи ГІС-аналізу транспортних систем.....	12
РОЗДІЛ 2. ОСОБЛИВОСТІ ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ м. БЕРЛІН....	17
2.1. Структура та основні характеристики міського транспорту.....	17
2.2. Транспортні потоки та їх просторові особливості.....	19
2.3. Політика управління міським транспортом у Берліні.....	25
РОЗДІЛ 3. ГІС-АНАЛІЗ МІСЬКОГО ТРАНСПОРТУ м. БЕРЛІН.....	33
3.1. Просторовий аналіз транспортної інфраструктури за допомогою ГІС.....	33
3.2. Аналіз транспортної доступності та мобільності населення.....	37
3.3. Оцінка екологічних та соціальних наслідків функціонування транспортної системи.....	40
3.4. Визначення проблемних зон та перспективи оптимізації транспортної системи.....	42
ВИСНОВКИ.....	45
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	48

## ВСТУП

Розвиток міського транспорту є одним із ключових чинників формування ефективного міського простору та підвищення якості життя населення. У сучасних урбанізованих територіях транспортні системи забезпечують зв'язки між житловими зонами, місцями роботи, освіти, відпочинку та іншими об'єктами інфраструктури. Разом із цим, міський транспорт є джерелом численних проблем – від заторів і транспортної нерівності до екологічних навантажень.

У цьому контексті особливу актуальність набувають інструменти геоінформаційного аналізу, що дозволяють досліджувати просторові аспекти функціонування транспортних систем, виявляти закономірності їх організації, оцінювати доступність і визначати проблемні зони. ГІС-технології дають змогу здійснювати комплексну оцінку транспортної інфраструктури на основі інтеграції просторових і статистичних даних, що особливо важливо для мегаполісів з розвиненою інфраструктурою.

Одним із таких мегаполісів є Берлін – столиця Федеративної Республіки Німеччина, велике політичне, економічне та культурне ядро Європи. Його транспортна система є однією з найрозвиненіших у Європі, поєднуючи різні види транспорту (метро, міські електрички, автобуси, трамваї, велосипедну інфраструктуру тощо) в єдину інтегровану мережу. Дослідження особливостей міського транспорту Берліна з використанням ГІС-методів дозволяє не лише проаналізувати функціонування цієї складної системи, а й виявити можливості для її оптимізації.

**Мета дослідження** – провести ГІС-аналіз особливостей міського транспорту м. Берлін з метою виявлення просторових закономірностей його розвитку, оцінки доступності та визначення перспектив удосконалення транспортної системи.

**Завдання дослідження:**

1. Розкрити теоретичні основи та методи аналізу міського транспорту в контексті просторового розвитку.
2. Проаналізувати структуру та особливості транспортної системи м. Берлін.
3. Здійснити ГІС-аналіз транспортної інфраструктури, доступності та мобільності населення.
4. Дослідити вплив розвитку транспортної системи на просторову організацію міста.
5. Оцінити екологічні та соціальні наслідки функціонування транспортної системи.
6. Визначити проблемні зони та обґрунтувати перспективи оптимізації транспортної системи Берліна.
7. Зазначити як Берлін може поліпшити свій громадський транспорт та сталий транспортний рух.

**Об'єкт дослідження** – міська транспортна система м. Берлін.

**Предмет дослідження** – просторові особливості організації та функціонування міського транспорту Берліна, проаналізовані за допомогою геоінформаційних систем.

**Методи дослідження:** у процесі виконання дослідження використовувались комплексні наукові методи.

- **Загальнонаукові методи** – аналіз, синтез, індукція, дедукція, абстрагування – дозволили сформулювати теоретико-методологічні основи дослідження, структурувати основні поняття та категорії міського транспорту, визначити роль транспорту в розвитку міського простору.
- **Статистичні методи** застосовувались для аналізу транспортних потоків, пасажирських перевезень, динаміки використання різних видів транспорту в місті Берлін, а також для обробки даних щодо транспортної

доступності, рівня завантаженості транспортної мережі та екологічних показників.

- **Картографічний метод** забезпечив візуалізацію просторової організації транспортної мережі Берліна, її інфраструктурних вузлів та зон впливу транспорту на міський простір.
- **Геоінформаційні методи (ГІС-аналіз)** були використані для просторового аналізу транспортної інфраструктури, моделювання транспортної доступності, побудови буферних зон, проведення мережевого аналізу маршрутів, виявлення проблемних зон та прогнозування сценаріїв розвитку транспортної системи.
- **Соціологічний метод** включав аналіз офіційних документів, стратегічних планів розвитку міського транспорту Берліна (зокрема *Berlin Mobility Act, Stadtentwicklungsplan Verkehr 2025*), а також звітів міжнародних організацій у сфері урбаністики та транспорту.
- **Метод порівняльного аналізу** дозволив оцінити особливості транспортної системи Берліна у порівнянні з іншими європейськими мегаполісами, визначити сильні та проблемні сторони розвитку транспортної мережі міста.
- **Метод моделювання** використовувався при створенні схем транспортних потоків, зон доступності, побудові картографічних моделей за допомогою геоінформаційних систем.

**Теоретичною основою дослідження** стали праці класиків та сучасних дослідників у сфері транспортної географії, урбаністики та просторового планування, зокрема: В. Кристаллера (теорія центральних місць), А. Льоша (теорія організації економічного простору), І. Прігожина (теорія нелінійних систем), М. Батті (урбаністичне моделювання), *J.-P. Rodrigue* (географія транспорту), а також численні сучасні дослідження з використанням ГІС у транспортному плануванні.

**Матеріальну базу роботи склали:**

- Геоінформаційні дані *OpenStreetMap*;

- Статистичні матеріали *Verkehrsverbund Berlin-Brandenburg (VBB)*;
- Дані *Berlin Verkehrsinformationszentrale (VIZ Berlin)*;
- Офіційні документи *Senatsverwaltung für Umwelt, Mobilität, Verbraucher- und Klimaschutz Berlin*;
- Статистичні та аналітичні звіти *Statista, TomTom, TU Berlin*;
- Наукові статті з баз даних *ScienceDirect, Springer, ResearchGate, ETRR*.

Дипломна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел (45 найменувань). Обсяг роботи становить 52 сторінок друкованого тексту.

# РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ МІСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

## 1.1. Поняття та класифікація міського транспорту

Міський транспорт – це сукупність систем і інфраструктур, які забезпечують переміщення людей та вантажів у межах міських територій, відіграючи важливу роль у функціонуванні, розвитку та сталості урбанізованих середовищ. Його значення полягає у вирішальному впливі на міську забудову, економічне зростання, соціальну справедливість та екологічну рівновагу. У міру зростання міського населення у світі ефективна організація транспорту стає критичною для забезпечення якісного життя та вирішення актуальних проблем, таких як затори, забруднення повітря, шум та транспортна бідність.

Класифікація міського транспорту є складною і охоплює широкий спектр засобів пересування, які можна умовно поділити за різними ознаками:

За функціональною приналежністю:

- Громадський транспорт (автобуси, трамваї, метро, тролейбуси);
- Індивідуальний транспорт (легкові автомобілі, мотоцикли, велосипеди);
- Вантажний транспорт (доставка товарів та логістичні ланцюги).

За джерелом енергії:

- Транспорт із двигунами внутрішнього згоряння;
- Електричний транспорт;
- Гібридні системи;
- Водневий та альтернативний екологічний транспорт.

За способом організації перевезень:

- Регулярні маршрути (графік руху громадського транспорту);
- Гнучкі маршрути (таксі, каршеринг, ride-sharing сервіси).

За формою власності:

- Державні (муніципальні);
- Приватні;

Змішані форми.

За режимом експлуатації:

- Постійний маршрутний рух;
- Перевезення за індивідуальними запитами (on-demand).

Значення громадського транспорту полягає не лише у зручності пересування, але й у зменшенні заторів, зниженні навантаження на довкілля, підвищенні соціальної доступності для малозабезпечених верств населення. Саме ефективна організація міських перевезень стає важливою умовою інтеграції різних районів міста та зниження транспортної нерівності.

Історичні аспекти розвитку міського транспорту

Еволюція міського транспорту тісно пов'язана з науково-технічним прогресом та зміною соціальних потреб населення, що суттєво впливало на формування сучасних міст. Початково урбаністичний простір формувався переважно навколо пішохідного пересування, обмежуючи масштаби міст через брак швидких засобів пересування [19].

Поява омнібусів на початку XIX століття стала важливим етапом у розвитку транспортної системи міст. Вперше вони з'явилися у Франції в 1810-х роках, після чого швидко поширилися в Лондоні, Нью-Йорку та інших мегаполісах. Особливо активно ці ініціативи розвивалися завдяки приватним інвестиціям [9].

У другій половині XIX століття технологічний прорив стався із запровадженням електричних трамваїв. Вони прийшли на зміну кінним екіпажам, забезпечуючи швидше, ефективніше та більш масове перевезення пасажирів. Трамвайні мережі активно формували нову структуру американських та європейських міст, сприяючи субурбанізації.

На початку XX століття масова поява автомобілів призвела до радикальних змін у міському середовищі. Якщо спочатку автомобілі залишалися розкішшю, то з часом вони стали масовим засобом пересування,

провокуючи децентралізацію міських територій, розвиток передмість та зростання транспортної сегрегації . Багато міст почали пріоритетно розвивати дорожню інфраструктуру на шкоду громадському транспорту, що призвело до руйнування багатьох трамвайних мереж у 1930-х роках [2].

У другій половині ХХ століття, з ростом вартості енергоносіїв та посиленням екологічних проблем, увага до розвитку громадського транспорту знову активізувалася. В ХХІ столітті акцент змістився на інтеграцію інноваційних технологій: електротранспорту, автономних транспортних засобів, систем big data та спільного користування транспортними засобами .

Таким чином, розвиток міського транспорту знаходиться у постійному процесі еволюції, формуючи нові просторові та функціональні моделі міст.

Сучасна система міського транспорту охоплює широкий спектр видів перевезень:

- Автобуси – найбільш гнучкий і поширений вид громадського транспорту з відносно невеликими витратами на інфраструктуру .
- Тролейбуси – екологічно чистий вид електричного транспорту, що використовує повітряні контактні мережі .
- Приміські залізниці – поєднують віддалені передмістя із центральними частинами міст .
- Швидкісні міжміські залізниці – з'єднують мегаполіси, забезпечуючи високошвидкісне сполучення до 200 км/год і більше .
- Метрополітен (швидкісний транспорт) – система високої пропускнуої здатності для перевезення великої кількості пасажирів на короткі дистанції в межах міста .
- Трамваї – курсують на міських вулицях, забезпечуючи регулярне сполучення у густозаселених зонах.
- Пороми – використовуються у прибережних та острівних містах для переправ через водойми .

Класифікація транспортних систем допомагає краще зрозуміти складність управління міською мобільністю та забезпечити інтеграцію усіх видів транспорту для сталого функціонування міст.

## **1.2. Роль транспорту в розвитку міського простору.**

Транспортна система завжди відігравала важливу роль у формуванні міського простору. Ще з перших етапів урбанізації саме можливості переміщення людей і товарів визначали розміри та функціональну структуру міст. Без розвинутого транспорту сучасні мегаполіси в принципі були б неможливими, оскільки щоденне пересування величезної кількості людей забезпечує нормальне функціонування економіки, культури, соціальних установ та всієї міської інфраструктури [30].

На ранніх етапах історії більшість міст були компактними і орієнтованими на пішохідне пересування. Люди селилися поруч із місцем роботи, торгівлі чи влади. Проте розвиток транспорту поступово змінив цей підхід. Винайдення трамвая в ХІХ столітті дозволило розширити межі міст: тепер мешканці могли проживати далі від центрів і все одно щодня добиратися на роботу або навчання [29].

З подальшим розвитком автомобільного транспорту цей процес тільки посилювався. З'явилися передмістя, що почали активно розбудовуватись, особливо в другій половині ХХ століття. З одного боку, це дозволило зменшити перенаселеність центрів, однак з іншого – значно ускладнило транспортну логістику міст. Автомобілі стали основним засобом пересування, що створило залежність міст від дорожньої інфраструктури [25].

У науковій літературі існує чимало моделей, які показують, наскільки тісно пов'язана транспортна система із плануванням міського простору. Наприклад, теорія центральних місць Вальтера Крісталлера пояснює, як транспортна доступність впливає на розташування адміністративних, торгових та культурних центрів у містах. А модель розміщення виробництв

Августа Льюша демонструє, що ефективний транспорт дозволяє мінімізувати витрати підприємств на доставку сировини та готової продукції.

Проте транспорт – це не лише про економіку. Його соціальне значення складно переоцінити. Добре налагоджена транспортна мережа дає можливість усім жителям – незалежно від району проживання чи доходів – отримати доступ до освіти, медицини, робочих місць та культурних заходів. Якщо ж транспортна система недостатньо розвинена або нерівномірно охоплює територію, виникає так зване явище транспортної бідності. Тобто, коли частина людей через слабку транспортну доступність фактично втрачає можливість користуватись важливими міськими сервісами.

Ще однією складною темою є вплив транспорту на екологію. Велика кількість автотранспорту – це завжди додаткові викиди CO<sub>2</sub>, погіршення якості повітря, шумове забруднення та утворення так званих теплових островів у містах. За різними оцінками, частка транспорту у загальних міських викидах парникових газів може сягати 30–40% [28]

Також з розвитком нових форм мікромобільності, таких як електросамокати, моноколеса, гіроборди, виникли нові конфлікти у використанні пішохідних зон. Часто ці засоби залишають посеред тротуарів, створюючи перешкоди для пішоходів і створюючи додаткові небезпеки для людей з обмеженими можливостями.

З метою зменшення цих негативних наслідків багато міст світу почали впроваджувати політику розвитку сталого транспорту: з'являються велодоріжки, розвивається електротранспорт, збільшується кількість пішохідних зон, обмежується рух приватних авто у центрах [13].

Окремої уваги заслуговує концепція "міста 15 хвилин", яку запропонував Карлос Морено. В її основі – ідея, що мешканець має мати змогу дістатися до основних послуг та локацій у межах 15 хвилин ходьби чи велопоїздки від свого дому. Це дозволяє суттєво знизити транспортне навантаження, покращити якість життя, а також зробити міське середовище комфортнішим і безпечнішим [27].

Як видно, роль транспорту в розвитку міського простору надзвичайно багатогранна. Вона охоплює економіку, соціальну рівність, екологію та якість життя загалом. Саме тому планування транспортних систем сьогодні є ключовим елементом для сталого розвитку сучасних міст.

*Таблиця 1.1.*

### **Роль транспорту в розвитку міського простору**

<b>Сфера впливу</b>	<b>Основні ефекти</b>
Просторова структура міста	Формування зональної структури, розвиток поліцентричності, субурбанізація
Економічний розвиток	Збільшення доступу до ринків праці, стимулювання бізнесу, залучення інвестицій
Соціальна сфера	Розширення доступу до освіти, медицини, культури; зниження соціальної нерівності
Екологічна ситуація	Забруднення повітря, шум, споживання енергії – при неправильному плануванні
Сталий розвиток	Перехід до електротранспорту, розвитку громадського транспорту, вело- та пішохідної інфраструктури

### **1.3. Методи ГІС-аналізу транспортних систем.**

Сучасні геоінформаційні системи (ГІС) виступають потужним інструментом для дослідження, аналізу та моделювання транспортних систем міст, забезпечуючи високий рівень просторової деталізації та можливість врахування численних параметрів транспортних мереж. Їх застосування у суспільно-географічних дослідженнях дозволяє не лише візуалізувати транспортну мережу, але й здійснювати складний просторовий аналіз, оптимізацію маршрутів, оцінку транспортної доступності та моделювання розвитку транспортних потоків.

ГІС-технології дозволяють поєднувати географічні дані (просторову інформацію) з атрибутивними даними про об'єкти транспортної мережі.

Особливістю ГІС є інтеграція баз даних із картографічною складовою, що забезпечує аналітичне опрацювання значних обсягів інформації та формування моделей транспортної поведінки населення та функціонування транспортної мережі міста.

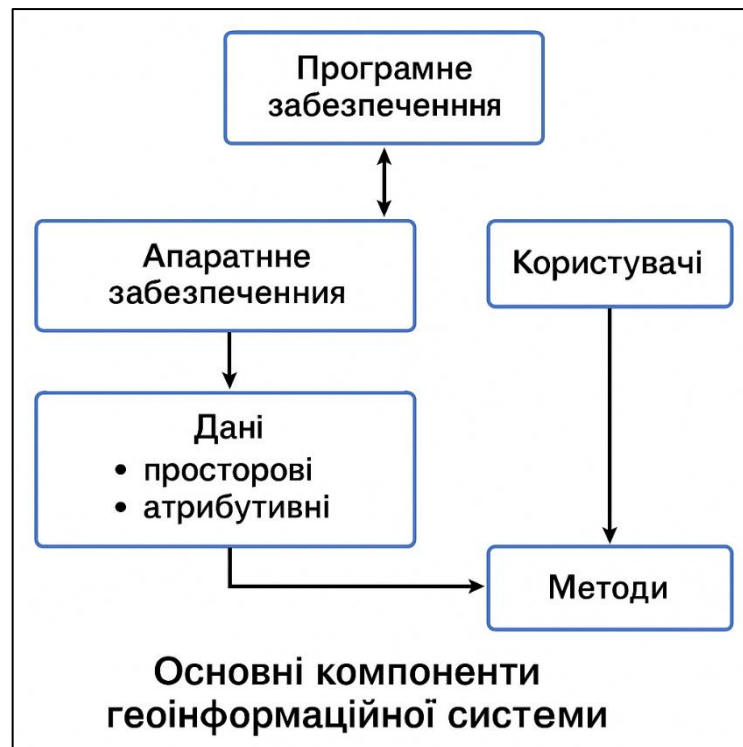


Рис. 1.1. Основні компоненти геоінформаційної системи

**Основні функціональні блоки роботи з ГІС в аналізі транспорту.** У межах ГІС-аналізу транспортних систем зазвичай реалізуються кілька ключових груп методів:

### 1. Геообробка транспортних даних.

Будь-який ГІС-аналіз починається із підготовки та стандартизації вихідних просторових даних: топології дорожньої мережі, розташування транспортних вузлів (зупинок, станцій метро, пересадочних хабів), атрибутивних характеристик доріг (швидкісні режими, пропускна здатність, напрямки руху тощо). Підготовка даних включає:

- оцифрування лінійних об'єктів дорожньої мережі;
- створення набору мережевих даних;

- інтеграцію з базами статистичних даних про транспортні потоки;
- стандартизацію проєкцій та систем координат.

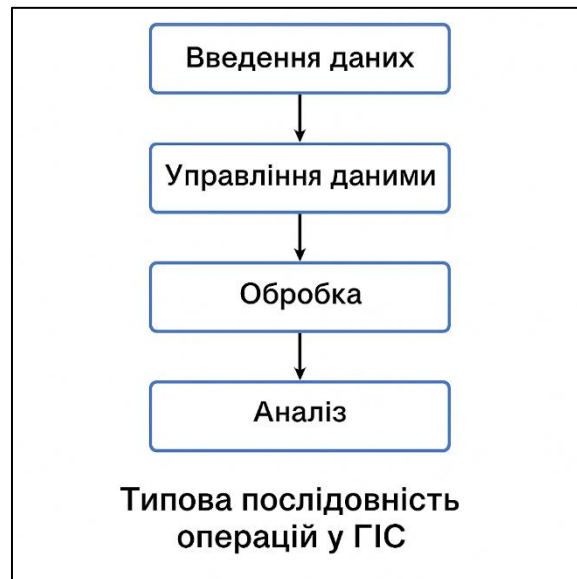


Рис. 1.2. Типова послідовність операцій у ГІС

## 2. Мережевий аналіз

Серед основних методів ГІС-аналізу транспорту особливе місце займає мережевий аналіз (Network Analysis), що дозволяє моделювати функціонування транспортної системи як просторової мережі з урахуванням її топології. Основні функції мережевого аналізу:

- пошук найкоротшого або найшвидшого маршруту (Shortest Path Analysis);
- розрахунок матриць витрат (OD Cost Matrix) між численними точками попиту та пропозиції;
- визначення зон досяжності (Service Area Analysis), що відображають території, доступні в межах певного часу або відстані;
- оптимізація маршрутів обслуговування (Vehicle Routing Problem);
- розміщення об'єктів інфраструктури за критеріями оптимального обслуговування (Location-Allocation Analysis).

Зокрема, в рамках мережевого аналізу застосовуються такі алгоритмічні підходи, як алгоритм Дейкстри для пошуку оптимальних шляхів, алгоритм комівояжера (TSP) для оптимізації послідовності відвідування точок, метаевристичні алгоритми (зокрема метод Тейца і Барта) для складних задач розміщення.

### **3. Аналіз транспортної доступності**

ГІС дає змогу розрахувати транспортну доступність різних територій за такими критеріями, як:

- часова доступність (з використанням даних про швидкості руху, затори, режими роботи транспорту);
- пішохідна доступність до зупинок громадського транспорту;
- просторовий розподіл транспортних вузлів.

Такий аналіз є основою для виявлення територій транспортної депривації, планування розвитку нових маршрутів та розширення транспортної інфраструктури.

### **4. Моделювання транспортних потоків**

За допомогою ГІС-технологій можливо моделювати транспортні потоки шляхом:

- побудови моделей гравітації для оцінки розподілу поїздок між зонами;
- моделювання мультимодальних переміщень населення;
- прогнозування завантаженості мережі в різні періоди часу з урахуванням історичних даних трафіку та поточних показників (Big Data, GPS, мобільні дані).

### **5. Врахування трафіку та динамічних даних**

Сучасні ГІС-системи (зокрема модуль Network Analyst платформи ArcGIS) дозволяють інтегрувати дані історичного та поточного трафіку, що суттєво підвищує точність розрахунків у моделях маршрутизації та оптимізації.

## **6. Інтеграція Big Data та інтелектуальних транспортних систем**

У новітніх дослідженнях активно використовуються:

- дані мобільних операторів про переміщення населення;
- GPS-трекінг маршрутів транспорту;
- системи моніторингу дорожньої ситуації в реальному часі;
- сенсорні системи інтелектуальних транспортних мереж

(ITS).

Інтеграція таких джерел даних дозволяє значно деталізувати моделі мобільності міського населення, а також формувати адаптивні стратегії транспортного управління.

Переваги використання ГІС у транспортних дослідженнях:

- забезпечення просторової візуалізації складних транспортних процесів;
- можливість комплексної роботи з різнорідними даними (географічними, статистичними, соціальними);
- гнучкість у моделюванні сценаріїв розвитку транспортної мережі;
- підвищення ефективності прийняття управлінських рішень в транспортному плануванні.

Таким чином, ГІС виступає не лише засобом візуалізації транспортних систем, але й повноцінним аналітичним інструментом для моделювання, планування, прогнозування та оптимізації транспортних процесів у міському просторі.

## РОЗДІЛ 2. ОСОБЛИВОСТІ ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ м. БЕРЛІН

### 2.1. Структура та основні характеристики міського транспорту.

Берлін має одну з найбільш інтегрованих транспортних систем у Європі, яка поєднує декілька типів транспорту у єдину мережу. Завдяки поєднанню метро, міської електрички, трамваїв, автобусів, велосипедної інфраструктури, системи каршерингу та мультимодальних сервісів місто успішно забезпечує мобільність для понад 3,7 мільйонів мешканців та сотень тисяч туристів і гостей міста.

Метрополітен (U-Bahn) Берлінський метрополітен є основою щоденної міської мобільності. Його історія бере початок з 1902 року. Сьогодні система складається з 9 ліній, які охоплюють понад 175 станцій. Загальна довжина мережі становить приблизно 155,4 км U-Bahn обслуговує переважно внутрішні райони міста, забезпечуючи щільну покритість центральної та прилеглої забудови [42]. Лінії побудовані як підземними, так і надземними ділянками. У години пік потяги курсують з інтервалом 2–5 хвилин, а у вихідні – працює цілодобовий режим. Інфраструктура постійно модернізується відповідно до положень Berlin Mobility Act – закону, який визначає довгострокову транспортну стратегію міста [4].

Міська електричка (S-Bahn) S-Bahn виконує роль як внутрішньоміського, так і приміського транспорту. Мережа складається з 15 ліній, які охоплюють 166 станцій та мають загальну довжину понад 331 км [41]. Ключовим елементом є кільцева лінія Ringbahn (лінії S41/S42) – вона дозволяє об'їжджати центр міста по кільцю, з'єднуючи ключові райони та забезпечуючи високу швидкість пересування по великому міському простору. На відміну від U-Bahn, потяги S-Bahn мають більшу місткість, охоплюють ширшу територію та інтегрують Берлін з навколишніми районами

федеральної землі Бранденбург. Вся система інтегрована в єдину тарифну мережу VBB (Verkehrsverbund Berlin-Brandenburg) [45].

Трамвайна мережа (Straßenbahn) Берлінська трамвайна система – одна з найбільших у Німеччині. Сьогодні працює 22 трамвайні маршрути з понад 800 зупинками, а загальна довжина колій складає 193 км [44]. Особливістю є нерівномірний розподіл: основна частина трамвайних маршрутів зосереджена на сході міста (історична частина колишнього Східного Берліна), тоді як західна частина традиційно більше покривається U-Bahn. Більшість трамвайних маршрутів – це MetroTram (наприклад, M1, M4, M5), які працюють у посиленому режимі з короткими інтервалами та цілодобовим обслуговуванням. Розвиток трамвайної мережі є пріоритетом міської стратегії сталого транспорту в межах Berlin Mobility Act.

Автобусна мережа Автобуси у Берліні виконують допоміжну та дотичну функцію до залізничного транспорту. Загалом система включає понад 150 денних маршрутів та 63 нічні маршрути. Автобуси обслуговують понад 6 500 зупинок по всьому місту [43]. Берлінські автобуси – це переважно низькопідлогові машини великої місткості. Символом міста стали двоповерхові автобуси жовтого кольору, аналогічно Лондону. Нічні автобуси (лінії N) грають важливу роль у нічній мобільності, особливо там, де вночі не працює метро. Автобусна система є найбільш гнучкою та швидко адаптується до змін попиту.

Велосипедна інфраструктура Велосипедна мобільність у Берліні стрімко зростає у відповідності до Національного велосипедного плану NRVP 3.0 та Berlin Cycling Strategy [5, 19]. Станом на 2023 рік місто має:

- понад 1 000 км велодоріжок різних типів;
- спеціальні Pop-up bike lanes, які активно розширювалися під час пандемії COVID-19 для швидкого розвитку безпечних маршрутів для велосипедистів;

- плани розвитку Radschnellwege – велосипедних «автострад» для зручних довгих поїздок. До 2030 року планується довести частку велосипедних поїздок до 23% від усіх транспортних поїздок міста.

Пішохідна мобільність залишається базовим компонентом транспорту міста. Завдяки щільній міській структурі, великій кількості парків, зелених зон та торгових вулиць Берлін активно просуває розвиток пішохідних просторів як частину концепції «15-хвилинного міста».

Екологічна зона Umweltzone Ще з 2008 року в Берліні запроваджено Umweltzone – екологічну зону в центрі міста, до якої допускаються лише транспортні засоби з мінімальними викидами (Євро-4 та вище) [4]. Це стало основою для зниження забруднення повітря, шумового навантаження та покращення якості життя у центральних районах.

Мультиmodalна мобільність: Jelbi та MaaS Берлін активно впроваджує концепцію Mobility as a Service (MaaS) через платформу Jelbi. Ця система інтегрує:

- громадський транспорт,
- велосипеди,
- електросамокати,
- каршеринг,
- таксі,
- пішохідні маршрути. Метою є створення максимально зручної, персоналізованої системи для кожного мешканця.

## **2.2. Транспортні потоки та їх просторові особливості.**

Система транспортних потоків Берліна формується під впливом цілого комплексу факторів – історичних, соціально-економічних, просторово-планувальних та екологічних [32].

Загальна чисельність населення міста становить близько 3,7 млн осіб, а з урахуванням приміської зони – понад 6 млн. При цьому Берлін щодня генерує величезні обсяги пасажирських та вантажних переміщень. Згідно з даними досліджень VBB та TU Berlin, сумарна мобільність жителів у межах агломерації складає близько 13–14 мільйонів поїздок на добу [45].

Структура транспортних потоків Берліна відображає функціональну організацію міста. Значна частина населення мешкає в периферійних районах, а працює – у центральних або субцентрах (Mitte, Charlottenburg, Friedrichshain, Adlershof). Це створює інтенсивні маятникові потоки у ранкові та вечірні години пік. Додатково, значна частина поїздок формується за рахунок туристичних переміщень – щорічно Берлін відвідують понад 12 млн туристів, які також створюють нерівномірне навантаження на транспортну систему.

Особливістю транспортної системи Берліна є її багаторівневість та мультицентричність: місто не має одного єдиного ядра скупчення трафіку, натомість функціонують численні підцентри – Alexanderplatz, Potsdamer Platz, Zoologischer Garten, Kurfürstendamm, Ostbahnhof, які створюють складну конфігурацію просторових потоків [15].

Додаткову складність створює наявність радіально-кільцевої транспортної моделі. Велика частина трафіку перетинає внутрішнє транспортне кільце (S-Bahn Ringbahn), що забезпечує основні пересадки між видами транспорту. При цьому частина автомобільного транспорту концентрується на міській кільцевій автомагістралі A100 (Berliner Stadtring), яка є одним із головних джерел заторів, особливо в години пік [38].

Громадський транспорт Берліна (U-Bahn, S-Bahn, автобуси, трамваї) залишається домінуючим видом пасажирських перевезень, забезпечуючи понад 65% усіх внутрішньоміських поїздок [33]. Велосипедний транспорт також набирає популярності: його частка вже перевищує 18% усіх поїздок у межах міста, а за прогнозами Berlin Cycling Plan, до 2030 року має досягти 23%.

Не менш важливим чинником, що впливає на характер транспортних потоків, є сезонність, погодні умови, проведення масових заходів, економічна активність, а також зміни в структурі зайнятості (зокрема, зростання дистанційної роботи після пандемії COVID-19)

Варто також відзначити екологічний вимір транспортних потоків Берліна. Частина міста перебуває у зоні дії Umweltzone – екологічної зони, що обмежує в'їзд автотранспорту, який не відповідає встановленим стандартам викидів. Це стимулює зростання частки екологічно чистого транспорту, зокрема електромобілів, велосипедів та громадського транспорту.

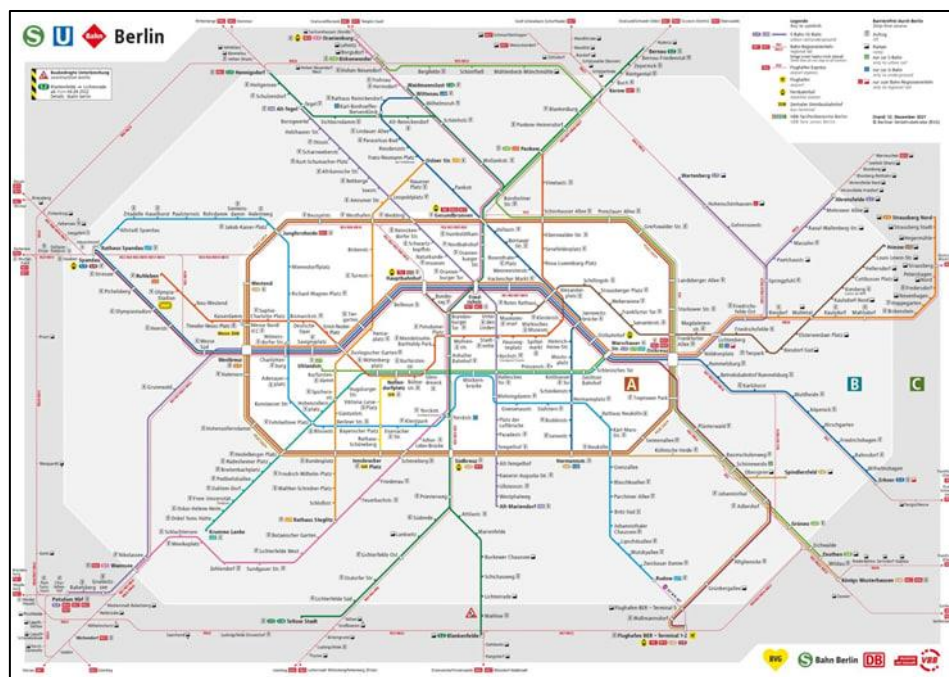


Рис. 2.1 Мапа транспорту Берліну

Просторові особливості дорожньої мережі Берліна  
Берлін – місто досить унікальне з точки зору того, як тут розподіляються транспортні потоки. На перший погляд може здатися, що оскільки в місті немає класичного "єдиного центру", то і заторів майже нема. Але на практиці все трохи складніше.

Основні транспортні потоки в Берліні концентруються у кількох ключових транспортних коридорах – це ті напрямки, якими щодня пересуваються як мешканці міста, так і гості, а також ті, що обслуговують

транзитний рух між окремими районами. У місті добре відчувається класичний ефект маятникових переміщень: вранці – рух у бік центрів зайнятості, ввечері – назад у спальні райони.

Найпотужнішими напрямками транспортних потоків є традиційні маршрути на схід-захід та північ-південь. Наприклад, особливо завантаженими залишаються такі осі:

- Frankfurter Allee – Karl-Marx-Allee – Alexanderplatz – один із головних коридорів зі сходу до центральної частини міста.
- Kurfürstendamm – Tauentzienstraße – Zoologischer Garten – класичний комерційний та туристичний напрям у західній частині.
- Friedrichstraße – Leipziger Straße – Potsdamer Platz – центральний вузол ділової активності.

Крім цього, важливу роль у розподілі потоків відіграє кільцева автомагістраль A100 (Stadtring). Саме на A100 спостерігаються найвищі показники заторів у години пік, адже кільце активно використовується як для транзиту, так і для внутрішньоміських поїздок [38].

Дослідження показують, що близько 25–30% усього автомобільного навантаження Берліна припадає саме на кільцеві та радіальні коридори [24]. Іншими словами, хоч велика частина доріг у Берліні менш завантажена, є відносно невелика кількість ключових магістралей, на які припадає значна доля трафіку.

Чому потоки концентруються саме так?

Тут є декілька важливих факторів:

- Історія забудови міста. Частина районів Берліна планувалася ще за часів Пруссії, частина будувалася вже після війни, а частина перебудовувалася після об'єднання. Через це дорожня мережа не завжди розподілена рівномірно, а деякі старі квартали взагалі не розраховані на великий автомобільний рух.
- Розташування робочих місць. Багато мешканців живуть у спальних районах (наприклад, Marzahn, Lichtenberg, Neukölln), але

працюють у центрі чи в ділових субцентрах, що стимулює ранкові потоки до центру.

- Розвиток комерційної активності. Потоки пасажирів значною мірою формуються також туристами й покупцями, які рухаються до основних торгових зон (Kurfürstendamm, Alexanderplatz, Friedrichstraße).

- Недостатня кількість повноцінних альтернатив. Незважаючи на високу щільність громадського транспорту, у години пік велика частина населення все ще користується приватним автотранспортом. За даними Statista, частка поїздок на особистих авто в місті становить близько 26% [33].

**Ефект накопичення заторів.** Важливо розуміти, що затори у Берліні формуються не по всьому місту одночасно, а локально: є певні вузькі місця (так звані «bottlenecks»), де щоденно відбувається перевищення пропускнуої спроможності в години пік.

Наприклад:

- вузли на A100 між Funkturm і Kurfürstendamm;
- під'їзди до Kreuzberg через Oberbaumbrücke;
- Frankfurter Tor у ранкові години.

Увечері ситуація може повертатись у зворотному напрямку, але з іншими часовими піками – після 17:00.

**Туристичний вплив.** Окрему категорію створюють туристичні транспортні потоки. У туристичні сезони (особливо влітку та під час святкових періодів) кількість автотуристів, туристичних автобусів та прокатних велосипедів значно збільшується. Це призводить до додаткових локальних перевантажень на популярних маршрутах: до Бранденбурзьких воріт, Берлінського собору, Музейного острова, Рейхстагу тощо.

Крім туристичного фактору, який додатково завантажує основні транспортні коридори у високий сезон, не менш важливим є й екологічний вимір транспортних потоків міста. Адже кожна поїздка, особливо здійснена

приватним автомобілем, так чи інакше впливає на якість повітря, рівень шуму та загальне середовище проживання.

У Берліні питання екології міської мобільності давно перестало бути просто дискусійною темою – воно фактично стало одним із головних напрямів міської політики. Значна частина викидів забруднюючих речовин у повітря – це наслідок автомобільного руху: переважно оксиди азоту, вуглекислий газ і дрібнодисперсний пил [14].

Щоб боротися з цим, у Берліні ще у 2008 році була створена так звана **екологічна зона Umweltzone**, що обмежує в'їзд транспортних засобів, які не відповідають стандартам викидів Euro-4 та вище. З кожним роком ці обмеження посилюються, і вже зараз активно обговорюється перехід до ще жорсткіших екостандартів для всіх автомобілів у межах міста [4].

Окрім обмежень, місто активно стимулює перехід мешканців на більш екологічні види транспорту. Насамперед – це розширення велосипедної інфраструктури, будівництво спеціальних велоавтострад (Radschnellwege), а також модернізація автобусного парку, який дедалі більше переходить на електротягу (Berlin Cycling Plan).

У місті активно впроваджуються і нові технології моніторингу – наприклад, створюються деталізовані **карти забруднення за районами**, які дозволяють оперативно відстежувати концентрацію шкідливих речовин і коригувати організацію руху в проблемних зонах [14].

Завдяки комплексним заходам лише за останні 10–12 років середній рівень оксидів азоту в центрі міста зменшився майже на третину, а рівень дрібнодисперсного пилу також поступово знижується [19].

Втім, разом із екологічними проблемами актуальною для Берліна залишається і **безпека дорожнього руху**, особливо в контексті стрімкого зростання кількості учасників руху.

Активний розвиток велоінфраструктури, поява нових видів мікромобільності (електросамокати, прокатні скутери), а також зростання

частки пішохідних зон змінили загальну конфігурацію дорожнього руху. Як наслідок – деякі групи учасників стали більш вразливими.

Так, за даними досліджень, велосипедисти та пішоходи складають до 60% усіх потерпілих у ДТП в межах міста. Особливо складною є ситуація на вузьких перехрестях центральних районів (Alexanderplatz, Mehringdamm, Frankfurter Tor), де часто перетинаються автомобільні, велосипедні та пішохідні потоки.

Особливо проблемними залишаються «конфліктні зони» – ділянки, де велосипедні доріжки проходять поряд із паркувальними смугами або раптово закінчуються на вузьких вулицях старого міста. Саме тут часто трапляються зіткнення, особливо за участю таксі, кур'єрських служб і каршерингових авто.

Щоб знизити аварійність, у Берліні діє цільова програма **Vision Zero**, яка передбачає:

- системне зниження максимальної швидкості на більшості вулиць до 30 км/год;
- розбудову ізольованих велосмуг навіть у центральних районах;
- модернізацію світлофорних систем із пріоритетом для пішоходів та велосипедистів;
- розвиток «освітлених переходів» з покращеною видимістю у темний час доби [4].

Завдяки цим заходам рівень смертності на дорогах у місті поступово зменшується. За останні 15 років кількість загиблих у ДТП у Берліні скоротилася майже вдвічі [31].

### **2.3. Політика управління міським транспортом у Берліні.**

Коли ми говоримо про управління транспортом у Берліні, то перш за все маємо розуміти: місто вже давно не просто реагує на проблеми транспорту ситуативно. У Берліні існує комплексна система стратегічного планування,

яка формувалась протягом останніх десятиліть і продовжує розвиватися з урахуванням нових викликів – від зміни клімату до цифрової трансформації мобільності [17].

План розвитку транспорту. Одним із ключових стратегічних документів став План розвитку міського транспорту до 2025 року (StEP Verkehr 2025), який було прийнято ще у 2011–2013 роках. Цей план визначив довгострокову мету зробити транспорт у Берліні максимально сталим, екологічно безпечним і доступним для всіх груп населення.

У плані були закладені такі основні завдання:

- Зниження частки приватних авто в міських поїздах.
- Розвиток мережі громадського транспорту з особливим акцентом на інтеграцію між видами транспорту.
- Масове розширення велосипедної інфраструктури.
- Збільшення частки екологічно чистого транспорту.
- Розвиток мультимодальної мобільності через цифрові сервіси.

Саме цей документ став певною основою для всіх подальших транспортних реформ і регулювань у Берліні.

Berlin Mobility Act (Berliner Mobilitätsgesetz). Наступним логічним кроком у розвитку транспортної політики стало ухвалення у 2018 році вже безпосередньо Закону про мобільність Берліна (Berliner Mobilitätsgesetz) – першого у своєму роді комплексного закону з мобільності у Німеччині [4].

Особливість цього закону в тому, що він вперше в історії Берліна закріпив на законодавчому рівні пріоритет громадського транспорту, велосипедистів та пішоходів над приватним автотранспортом. Тобто все чітко прописано не на рівні стратегій чи рекомендацій, а саме на рівні закону. Основні розділи закону передбачають:

- пріоритетне фінансування громадського транспорту (BVG, S-Bahn);

- активний розвиток велоінфраструктури;
- покращення умов для пішоходів;
- інвестиції в транспортну безпеку (Vision Zero);
- кліматичні цілі в сфері мобільності;
- обов'язкове залучення громадськості до транспортного планування.

Власне, цей закон і є тим головним інструментом, який зараз визначає логіку розвитку транспортної політики у місті.

Стратегія сталої мобільності (Sustainable Urban Transport Guide). Берлін також активно працює у рамках міжнародних ініціатив із розвитку сталої міської мобільності. Наприклад, місто активно долучено до європейських програм за підтримки мережі POLIS та платформи TUMI [34].

Згідно з цими програмами, Берлін визначає цілі не лише у внутрішньоміському розвитку транспорту, а й у контексті кліматичної відповідальності Німеччини загалом – включаючи декарбонізацію, цифровізацію, нові форми мобільності та активне громадське залучення.

Цифрові стратегії та "розумна мобільність". Окремою важливою лінією у новій транспортній політиці Берліна стає розвиток цифрових платформ мобільності. Саме в Берліні активно запроваджується одна з найбільш комплексних європейських систем Mobility-as-a-Service – мобільний застосунок Jelbi, який об'єднує:

- BVG (автобуси, метро, трамваї);
- S-Bahn;
- велосипеди Nextbike;
- електросамокати Tier, Lime;
- каршеринг;
- таксі.

Jelbi фактично дозволяє мешканцям за кілька секунд спланувати будь-яку поїзду одразу з урахуванням усіх доступних видів транспорту в режимі реального часу [4].

Місце політики у нинішніх дебатах. Варто зазначити, що навіть у такому прогресивному місті, як Берлін, транспортна політика часто стає предметом політичних суперечок. Зокрема, після останніх виборів у 2023 році нова міська коаліція під керівництвом CDU дещо змінила пріоритети в бюджетних розподілах: було зменшено частину фінансування для розширення велосипедної мережі, викликавши хвилю критики в міському середовищі активістів [10].

Однак загальний стратегічний курс на сталу мобільність все одно залишається чинним і підтримується як урядом землі Берлін, так і європейськими структурами.

Таким чином, система стратегічного управління транспортом у Берліні є доволі комплексною, послідовною та гнучкою до нових викликів. Саме завдяки поєднанню довгострокових планів, чітких законодавчих норм та інноваційних цифрових рішень місто намагається ефективно балансувати між зручністю мобільності, екологічною відповідальністю та транспортною безпекою.

Логічним продовженням усіх стратегічних транспортних документів Берліна стала активна екологічна складова, яка останніми роками фактично стала однією з основних усього міського планування. Адже транспорт і екологія тут нерозривно пов'язані: саме автомобільний транспорт традиційно залишається одним із головних джерел забруднення повітря, шуму, викидів CO<sub>2</sub> та перевантаження вуличної інфраструктури.

Щоб вирішити ці проблеми, місто комплексно підходить до формування сталих рішень, більшість яких ґрунтуються на принципах, закладених у стратегічних програмах Sustainable Urban Transport Guide of Berlin та європейських кліматичних зобов'язаннях [34].

**Umweltzone та обмеження для автомобілів.** Один із найперших і найбільш відомих кроків – це створення ще у 2008 році екологічної зони Umweltzone в межах центрального Берліна. У її периметрі можуть пересуватись лише транспортні засоби, які відповідають високим стандартам викидів (щонайменше Euro-4, а пізніше – Euro-5 та вище). З часом ці правила лише посилювались, і вже зараз ведуться активні обговорення про розширення обмежень навіть на частину комерційного транспорту та дизельних вантажівок [4].

Такі обмеження суттєво вплинули на загальне поліпшення якості повітря. За даними Sorpnicus, рівень NO<sub>2</sub> у центрі міста за останні 10–12 років знизився майже на третину, а в пікових точках зменшення доходить до 40% [8].

Розвиток вело- та пішохідної інфраструктури. Одним із центральних акцентів стало поступове переорієнтування міської мобільності з домінування автомобіля на "активну мобільність" – тобто розвиток велосипедних, пішохідних та комбінованих маршрутів. Цьому приділяється особлива увага в рамках Berlin Cycling Plan та відповідних розділів Mobility Act.

До 2030 року планується довести частку велосипедних поїздок у місті до 23% від усіх переміщень. Для досягнення цієї мети активно будуються:

- багаторівнева мережа велодоріжок (понад 1000 км вже діючих трас);
- велошосе – Radschnellwege для швидкісних міжрайонних поїздок;
- нові безпечні велопереїзди на складних перехрестях (Berlin Cycling Plan).

Також розширюються пішохідні зони в історичних районах, особливо в Mitte, Kreuzberg та Charlottenburg. Це дозволяє одночасно розвантажувати центр міста від автомобілів і створювати комфортне середовище для мешканців.

Електротранспорт і розвиток інфраструктури. Не менш важливою є програма розвитку електротранспорту. Місто системно інвестує у встановлення зарядних станцій для електромобілів, розширення парку електробусів BVG та поступове оновлення муніципального транспорту на електричні чи гібридні приводи.

На кінець 2023 року у Берліні працює вже понад 2 700 зарядних точок для електрокарів, і кількість таких станцій щороку стрімко зростає [11].

Електрифікація громадського транспорту, зокрема автобусів, дозволяє не лише знизити шкідливі викиди, а й мінімізувати шумове навантаження у щільній забудові історичного центру.

Інтеграція цифрових сервісів у сталу мобільність. Берлін активно впроваджує цифрові рішення у систему транспортного управління. Одним із таких прикладів є вже згаданий нами додаток Jelbi, який забезпечує доступ до всіх видів транспорту в єдиній системі мобільності: від метро та автобусів до прокатних велосипедів, електросамокатів, каршерингу та таксі [4].

Такі рішення дозволяють мешканцям легко комбінувати різні способи пересування, зменшувати використання приватного авто і оптимізувати свій маршрут з урахуванням екологічних параметрів. Паралельно з екологічними реформами влада Берліна системно працює над питанням безпеки всіх учасників дорожнього руху. Це особливо актуально в контексті того, що місто активно розвиває вело- та мікромобільність, які завжди несуть у собі підвищені ризики для учасників руху.

За даними останніх звітів Statista, на частку велосипедистів та пішоходів у Берліні припадає вже понад 60% усіх постраждалих у ДТП. Велосипедисти найчастіше потрапляють у ДТП через конфлікти з автомобілями в місцях стику смуг або паркувальних зон, а пішоходи – на нерегульованих переходах у щільній забудові старого міста [33].

Особливо складними залишаються ділянки в центрі – Alexanderplatz, Frankfurter Allee, Mehringdamm, Kreuzberg – де щільно переплітаються всі види транспорту. За результатами просторових досліджень (Moran's I), саме

тут спостерігається підвищена аварійність, яка формує так звані “кластери дорожнього ризику” [36].

Щоб реагувати на ці виклики, Берлін впроваджує політику **Vision Zero** – амбітну програму, кінцевою метою якої є повне усунення смертельних ДТП у місті. Основні кроки цієї політики вже реалізуються:

- зниження швидкості на більшості міських вулиць до 30 км/год;
- виділення окремих фізично відмежованих велосипедних смуг;
- перебудова перехресть для покращення оглядовості та безпечного повороту;
- адаптивні світлофорні системи, які в першу чергу реагують на пішоходів та велосипедистів [4].

За результатами впровадження цих заходів, за останні 15 років рівень смертності на дорогах Берліна скоротився практично вдвічі [31].

Попри значні досягнення останнього десятиліття, Берлін все ще стикається із низкою складних викликів, які потребують постійного реагування та гнучкої політики.

Передусім – це **політичні коливання пріоритетів**. З приходом у 2023 році нової коаліції під проводом ХДС (CDU), частина проєктів, пов’язаних з розширенням веломереж та пішохідної інфраструктури, була переглянута або призупинена. Це одразу викликало широку дискусію в суспільстві про те, чи не втрачає місто свій сталий курс розвитку транспорту [10].

Ще одним важливим викликом є **демографічне зростання**. Берлін продовжує активно розширюватись як мегаполіс, і щороку збільшується кількість мешканців, які генерують нові транспортні потоки. Це створює додатковий тиск як на громадський транспорт, так і на дорожню мережу, навіть попри успішне зниження частки приватних авто.

Також актуальним стає **питання справедливого розподілу простору між видами транспорту**. На багатьох вузьких вулицях міста все ще складно

одночасно розмістити автомобільні смуги, велосипедні доріжки, зони паркування та розширені тротуари. Це формує конфлікт інтересів між різними групами учасників руху.

З іншого боку, Берлін має потужний запас позитивних перспектив. Завдяки чіткій стратегічній базі у вигляді **Stadtentwicklungsplan Verkehr 2025, Berlin Mobility Act** та участі в міжнародних мережах сталого транспорту (**Polis Network, SUTP Berlin**), місто має всі передумови для подальшої модернізації мобільності відповідно до сучасних європейських стандартів [34]

Вже зараз Берлін входить до світових лідерів у рейтингу **Urban Mobility Readiness Index 2024**, показуючи один із найвищих у світі рівнів інтегрованої міської мобільності завдяки цифровим рішенням, мультиформатним сервісам і збалансованій транспортній політиці [21].

Таким чином, транспортна політика Берліна залишається унікальним прикладом балансу між високим рівнем мобільності, безпеки, екологічної відповідальності та політичної гнучкості. Незважаючи на періодичні внутрішньоміські суперечки, стратегічна логіка сталого розвитку транспорту у Берліні вже сформувала міцний фундамент на наступні десятиліття.

## РОЗДІЛ 3. ГІС-АНАЛІЗ МІСЬКОГО ТРАНСПОРТУ м. БЕРЛІН

### 3.1. Просторовий аналіз транспортної інфраструктури за допомогою ГІС.

Аналіз транспортної системи великого міста, особливо такого складного як Берлін, безпосередньо пов'язаний із використанням геоінформаційних систем (ГІС). Саме ГІС дозволяє не тільки візуалізувати наявну інфраструктуру, а й отримати глибше розуміння просторової організації транспортної мережі, її зв'язності, навантаження на окремі ділянки та потенційних слабких місць.

Завдяки відкритим даним, доступним через платформи **OpenStreetMap**, **Geoportal Berlin**, **Berlin Verkehrsinformationszentrale (VIZ)**, існує можливість побудови детальних ГІС-моделей всіх основних транспортних об'єктів – магістралей, кільцевих доріг (A100), радіальних коридорів (B1, B2), веломереж, громадського транспорту (лінії U-Bahn, S-Bahn, трамваїв, автобусних маршрутів) [36].

На представленій карті візуалізована інтегрована мережа основних видів транспорту: метро (U-Bahn), міської електрички (S-Bahn), а також межі транспортних зон А, В та С. Такий підхід дозволяє не лише оцінити щільність покриття, а й простежити закономірності формування транспортної мережі у різних частинах міста.

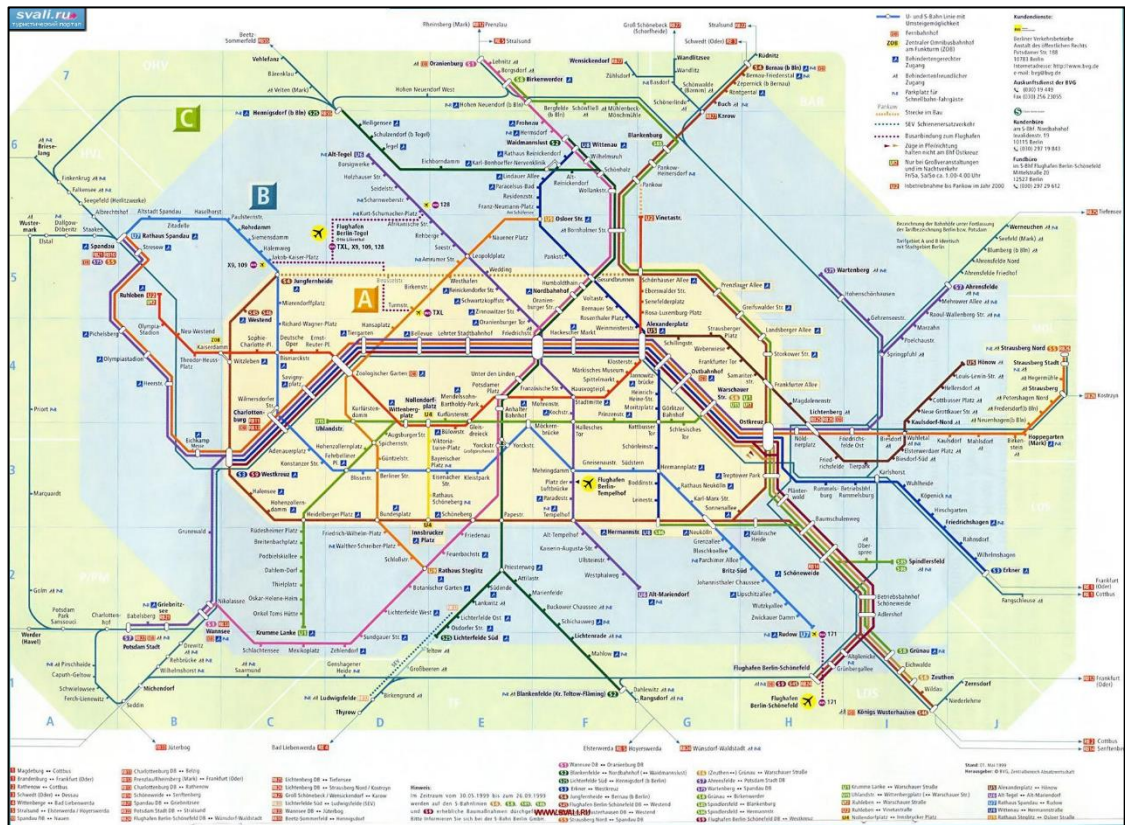


Рис. 3.1 Мапа транспорту Берліну [37].

Берлінська транспортна система має чітко виражену радіально-кільцеву структуру, в основі якої лежить кільцева лінія S-Bahn (Ringbahn), що оточує історичний центр міста (рис 3.1.). Саме в центральній частині, що входить до зони А, зосереджена найбільша кількість станцій та пересадкових вузлів. Тут спостерігається перетин основних ліній метро, електричок, а також високий рівень автобусного та трамвайного обслуговування. Завдяки такій концентрації транспортних маршрутів мешканці центральних районів мають можливість легко та швидко діставатися до будь-якої точки міста.

В межах зони В, яка охоплює території за кільцевою лінією до міських адміністративних меж, спостерігається поступове зменшення щільності транспортної інфраструктури. Тут кількість пересадкових вузлів є меншою, а доступ до станцій громадського транспорту потребує більше часу порівняно із центром. Ще більше ця тенденція посилюється у зоні С, що включає передмістя та деякі населені пункти федеральної землі Бранденбург. Для

мешканців цих районів основними видами транспорту стають приміські поїзди, регіональні автобуси та частково автомобільний транспорт.

На карті також добре проглядаються основні транспортні вузли міста – Alexanderplatz, Zoologischer Garten, Hauptbahnhof, Ostkreuz та Gesundbrunnen. Саме вони є основними центрами пересадок та забезпечують ефективно поєднання різних видів транспорту, створюючи зручну систему для пасажирів при пересуванні містом та його околицями.

Таким чином, на основі аналізу картографічних даних можна зробити висновок, що транспортна система Берліна демонструє високий рівень інтеграції та балансування різних видів транспорту. Просторовий розподіл мережі є результатом як сучасних потреб мобільності, так і історичних процесів формування міської структури, що разом створює ефективну систему транспортного обслуговування населення.



Рис. 3. 2. Щільність транспортної інфраструктури Берліна.

За допомогою просторового аналізу, виконаного з використанням геоінформаційних систем (ГІС), було візуалізовано розподіл щільності транспортної інфраструктури в межах Берліна (рис 3.2.). Побудована картосхема дозволяє наочно спостерігати закономірності розташування

транспортних об'єктів по території міста. В основу аналізу було покладено врахування місцезнаходження ключових станцій метро (U-Bahn), міської електрички (S-Bahn), трамвайних ліній та важливих транспортних вузлів.

Найбільш помітною особливістю транспортної мережі Берліна є її зосередження в центральній частині міста. Саме в межах кільцевої лінії S-Bahn (Ringbahn), що окреслює зону А, спостерігається найбільша щільність розташування транспортних об'єктів. У цій зоні станції громадського транспорту розміщені на відстані кількох сотень метрів одна від одної, а пересадки між різними видами транспорту здійснюються з мінімальними витратами часу. Така щільність покриття забезпечує високий рівень доступності транспорту для мешканців центральних районів, а також формує великі пасажиропотоки в напрямку до ділових та адміністративних центрів.

У районах за межами кільця (зона В) спостерігається поступове зменшення щільності транспортної мережі. Хоча тут все ще присутні основні лінії метро та електрички, відстані між станціями поступово збільшуються. Деякі райони вже більше орієнтовані на автобусне сполучення як основний вид громадського транспорту. Особливо ця тенденція помітна на заході, південному заході та півночі міста.

У зоні С, що включає передмістя та території федеральної землі Бранденбург, щільність транспортної інфраструктури найнижча. Тут основну роль відіграють приміські електрички S-Bahn, регіональні поїзди та автобусні маршрути з більшими інтервалами руху. Значна частина мешканців цих районів також активно використовує особистий автотранспорт, що зумовлено більшими відстанями та менш розвиненою мережею громадського транспорту.

Важливо відзначити, що така щільність транспортної мережі безпосередньо пов'язана зі щільністю населення та функціональним зонуванням міста. У густонаселених центральних районах, таких як Mitte, Friedrichshain, Kreuzberg, Charlottenburg, транспортна мережа максимально

насичена. Водночас на периферії, де щільність населення значно нижча, транспортні маршрути стають більш розрідженими.

Таким чином, результати аналізу щільності підтверджують високий рівень транспортної доступності центральної частини Берліна та наявність просторових дисбалансів у доступі до транспорту у віддалених районах. Це створює потенційні можливості для подальшого вдосконалення транспортної системи з метою забезпечення рівномірного доступу до якісного громадського транспорту для всіх жителів міста.

### **3.2. Аналіз транспортної доступності та мобільності населення.**

Вивчення транспортної доступності є важливою складовою просторового аналізу міських територій і базується на ряді наукових концепцій.

Одна з базових концепцій – це "модель гравітаційної доступності", згідно з якою рівень привабливості певної території визначається взаємозв'язком між просторовою відстанню до об'єкта та його значущістю (розміром, потужністю, функціями). У контексті Берліна найбільш привабливими для населення є вузли, де поєднуються кілька видів транспорту (наприклад, пересадки між U-Bahn та S-Bahn), а також райони з великою кількістю робочих місць і соціальної інфраструктури.

Інша ключова теорія – це концепція "порогу доступності" (threshold accessibility), яка вказує, що ефективним є таке планування транспорту, при якому мешканець здатен досягти найближчого вузла транспортної мережі за певний нормативний час (найчастіше – 5–10 хвилин пішки). Саме ці часові пороги лягли в основу сучасних стандартів транспортного планування більшості європейських міст, включаючи Берлін.

Також важливим є поняття "зони охоплення обслуговування" (catchment area), що в ГІС аналізі реалізується через побудову буферних зон. Саме цей метод дозволяє кількісно оцінити, яку частину населення реально охоплює наявна мережа зупинок. У межах Берліна цей підхід підтверджує високий

рівень територіального покриття громадським транспортом навіть у віддалених районах.

Варто також згадати поняття мультимодальної мобільності, яке стає все більш актуальним для сучасних мегаполісів. Згідно з цією концепцією, оптимальною є така транспортна система, яка дозволяє мешканцям легко комбінувати кілька видів транспорту в межах однієї поїздки. У Берліні це реалізовано через розгалужену мережу пересадкових вузлів, розвиток каршерінгу, мікромобільності та інтегрованих платформ планування поїздок (наприклад, застосунок Jelbi).

Забезпечення високого рівня транспортної доступності є однією з ключових переваг транспортної системи Берліна. Завдяки добре розвиненій мережі громадського транспорту, більшості мешканців міста доступні різні види перевезень у межах короткого часу пішої досяжності.

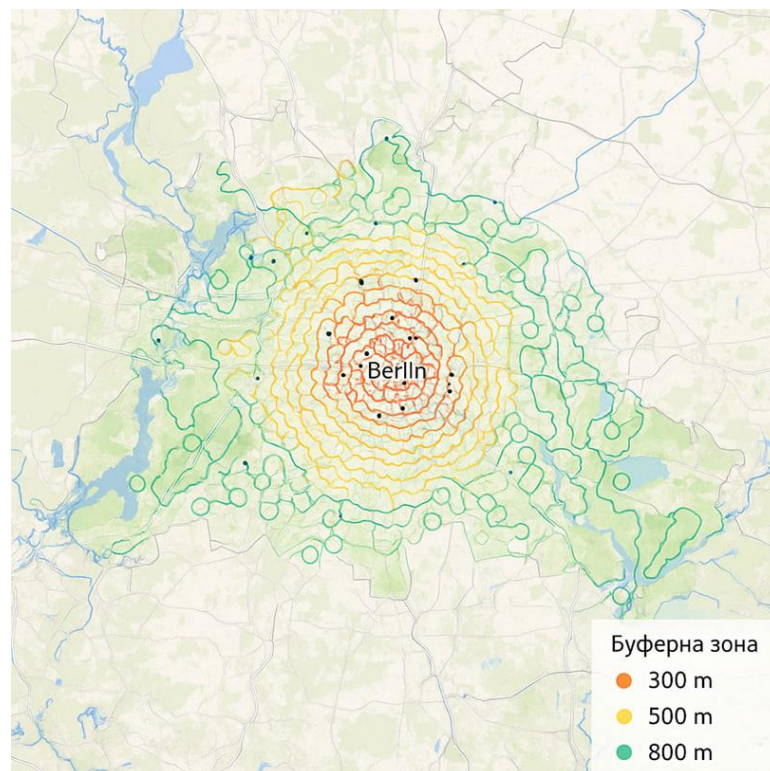


Рис. 3.3. Доступність до громадського транспорту Берліна.

Для аналізу було використано метод просторового моделювання буферних зон за допомогою ГІС (рис. 3.3.). На основі даних про розташування

станцій метро (U-Bahn), міської електрички (S-Bahn), трамвайних зупинок та основних автобусних маршрутів було сформовано три основні зони пішохідної доступності:

- 0–300 м (помаранчева зона) – найкомфортніша зона доступності. Більшість мешканців центральних районів (Mitte, Kreuzberg, Prenzlauer Berg) проживають саме в цій зоні, маючи можливість дістатися зупинок громадського транспорту за 3–5 хвилин пішки.
- 300–500 м (жовта зона) – характерна для великої частини житлових районів, зокрема в районах Neukölln, Charlottenburg, Lichtenberg. Пересування до зупинок займає орієнтовно 5–8 хвилин пішки.
- 500–800 м (зелена зона) – охоплює деякі периферійні території, де транспортні вузли розташовані на більшій відстані. Такі зони характерні для нових житлових масивів у Marzahn, Hellersdorf, Köpenick.
- Згідно з даними досліджень VBB та TU Berlin, понад 85% населення Берліна проживають у межах 500 м до найближчої зупинки громадського транспорту, що свідчить про дуже високий рівень забезпечення транспортною інфраструктурою навіть порівняно з іншими європейськими мегаполісами [40].

#### Структура мобільності населення

- Аналіз структури міських переміщень демонструє, що у Берліні склалась досить збалансована система мобільності:
  - Громадський транспорт (U-Bahn, S-Bahn, автобуси, трамваї):  $\approx$  65% усіх переміщень.
  - Велосипедний транспорт:  $\approx$  18% (з тенденцією до зростання).
  - Приватні автомобілі:  $\approx$  26% (поступове зниження завдяки розвитку альтернативних видів мобільності).
  - Піша мобільність:  $\approx$  30% у коротких переміщеннях в межах мікрорайонів.

- Мікромобільність (електросамокати, скутери): близько 2–3%, але з високими темпами росту [33].
- Така структура мобільності підтверджує, що місто активно рухається у напрямку зменшення залежності від приватного автотранспорту та створення більш екологічно збалансованої моделі міського транспорту.

Аналіз транспортної доступності засвідчує, що в Берліні забезпечено майже рівномірне охоплення території зупинками громадського транспорту, що дозволяє мешканцям комфортно пересуватись містом без необхідності використання приватного транспорту. Водночас розвиток мікромобільності та велосипедної інфраструктури дозволяє ще більше підвищити якість мобільності населення.

### **3.3. Оцінка екологічних та соціальних наслідків функціонування транспортної системи.**

Берлін є мегаполісом, який активно розвиває свою транспортну систему. Водночас, функціонування такого розгалуженого транспорту не може не впливати на навколишнє середовище та соціальне життя мешканців міста.

Однією з основних проблем, яку неодноразово відзначають у міських звітах і дослідженнях, є **забруднення повітря транспортом**. Хоча Берлін має розвинену мережу екологічного транспорту – метро, електричку, трамваї, – однак частка приватного автотранспорту все ще залишається високою, особливо в периферійних районах. Основними джерелами шкідливих викидів залишаються дизельні та бензинові автомобілі. У районах з інтенсивним дорожнім рухом зафіксовані перевищення допустимих норм діоксиду азоту (NO<sub>2</sub>) та дрібнодисперсного пилу (PM<sub>10</sub>). Особливо це стосується великих магістралей, таких як А100 та вулиць у центральних районах [6].

Крім хімічного забруднення, важливим екологічним викликом є **шумове навантаження**. Високий рівень шуму вздовж транспортних коридорів негативно позначається на психічному та фізичному здоров'ї людей, сприяє

розвитку серцево-судинних захворювань, стресових станів та порушень сну [40].

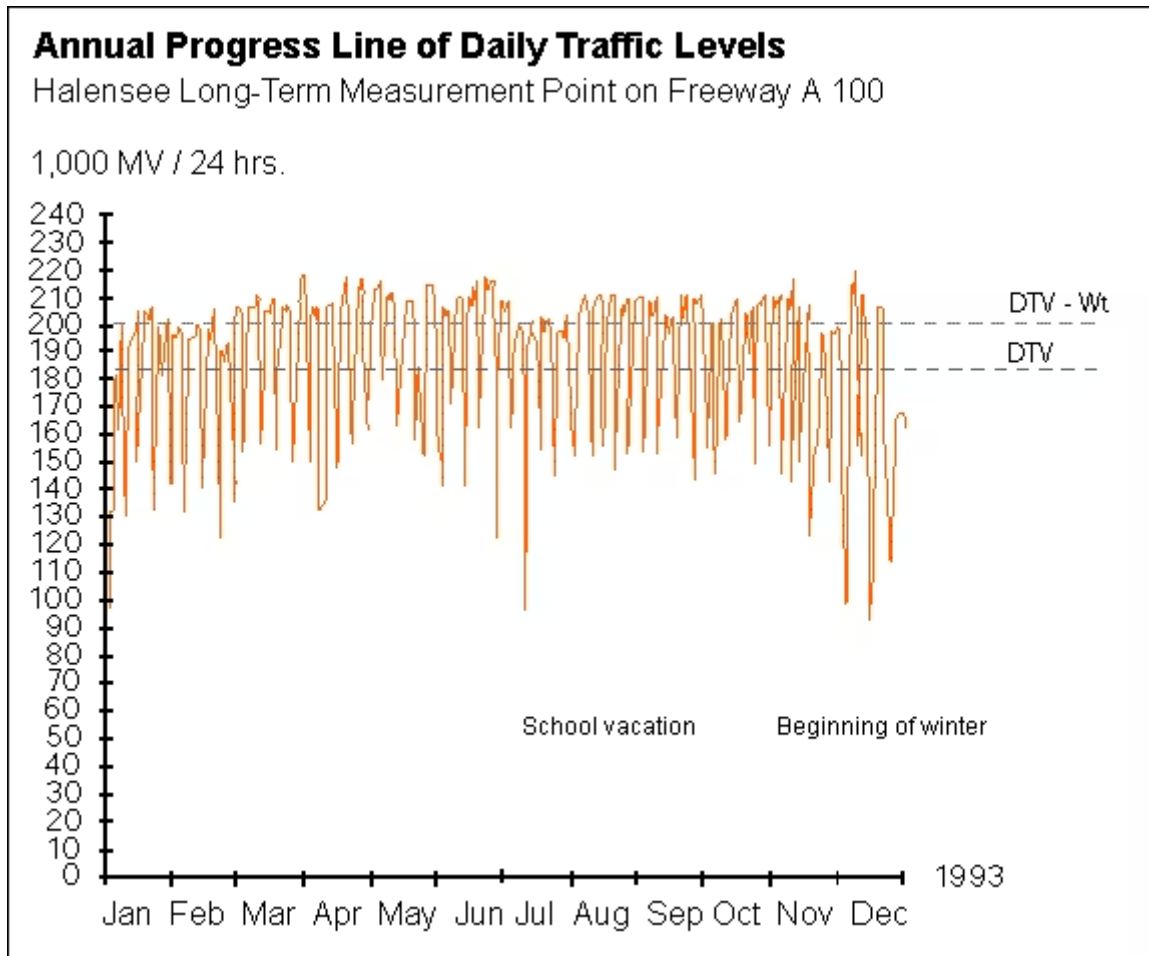


Рис. 3.4. Шумове навантаження на магістралі А100 [40].

Автомобільна магістраль А100 є одним із ключових транспортних коридорів Берліна та водночас одним із основних джерел шумового навантаження в місті (рис 3.4.). Ця кільцева автомобільна магістраль щоденно обслуговує сотні тисяч автомобілів, зокрема приватного транспорту, вантажівок і громадського транспорту, що призводить до високої акустичної активності вздовж її маршруту.

Згідно з даними Berlin Umweltatlas, рівень шуму вздовж А100 у багатьох ділянках стабільно перевищує 70–75 дБ у денний період, а в окремих точках – досягає 80 дБ у години пік. Такий рівень шуму суттєво перевищує гігієнічні норми, рекомендовані Всесвітньою організацією охорони здоров'я. Вночі, навіть за меншої інтенсивності трафіку, шумове навантаження вздовж А100

залишається підвищеним – близько 60–65 дБю, що також створює ризики для здоров'я мешканців прилеглих районів.

Найбільш уразливими зонами є густонаселені житлові квартали, які прилягають до А100 у районах Шенеберг, Вільмерсдорф, Темпельгоф та частинам Кройцбергу. Внаслідок постійного шумового тиску мешканці цих кварталів часто скаржаться на проблеми зі сном, хронічний стрес та порушення серцево-судинної системи. Дослідження, проведені в рамках оновленої Стратегії шумозахисту Берліна, вказують на статистично вищий рівень серцевих захворювань серед населення, яке проживає в межах 150–200 метрів від А100.

Влада міста намагається зменшити негативний вплив шуму шляхом встановлення шумових бар'єрів, обмеження швидкісного режиму у певних ділянках (до 80 км/год), а також застосування шумопоглинаючого асфальтового покриття. Проте через високі транспортні потоки повністю усунути шумове навантаження поки не вдається [40].

### **3.4. Визначення проблемних зон та перспективи оптимізації транспортної системи.**

Незважаючи на високий рівень розвитку транспортної системи Берліна, аналіз сучасного стану її функціонування дозволяє виявити низку актуальних проблемних аспектів. Ці виклики стосуються як організації перевезень, так і загальної стійкості системи в умовах змінного соціально-економічного середовища та кліматичних викликів.

**Проблемні аспекти сучасної системи.** Однією з найбільш очевидних проблем останніх років є перевантаженість ключових вузлів громадського транспорту. Зокрема, станції Alexanderplatz, Zoologischer Garten, Hauptbahnhof та Ostkreuz систематично працюють у режимі пікових навантажень, особливо у ранкові та вечірні години. Як зазначається в Statista[32], кількість щоденних перевезень у громадському транспорті зросла до понад 3,5 мільйона пасажирів

на день. Таке навантаження ускладнює пересування пасажирів у години пік та створює дискомфорт під час поїздок.

Особливо гострою проблемою залишається питання регулярності роботи U-Bahn і S-Bahn, які останніми роками зіткнулися із частими технічними несправностями, затримками та скасуваннями рейсів. Згідно з дослідженням надійність роботи метро в Берліні поступово знижується. Причини криються у старінні інфраструктури, нестачі персоналу та браку фінансування оновлення рухомого складу [35].

Окрім внутрішніх проблем системи, негативний вплив мають також часті страйки персоналу BVG – компанії-оператора громадського транспорту. Такі страйки вже кілька разів повністю паралізували роботу громадського транспорту в Берліні.

Зберігається й проблема **локальних дисбалансів доступності** – передусім у периферійних районах (Марцан, Рейнікендорф, частини Шпандау), де частота рейсів залишається нижчою, а транспортні пересадки складнішими.

Окремим блоком стоїть **надмірне навантаження на автомобільну мережу**, насамперед на магістраль A100 та прилягаючі автостради. Як наголошує European Environment Agency, автотрафік залишається одним з основних джерел шуму, заторів та забруднення повітря в місті [12].

Додатково до суто інфраструктурних проблем додаються **зростаючі соціальні виклики**:

- Багато мешканців висловлюють незадоволення якістю послуг [23];
- Літні люди та маломобільні пасажирів стикаються з труднощами при використанні певних станцій, які ще не модернізовані належним чином.

**Перспективи оптимізації транспортної системи.** З огляду на виявлені проблеми, транспортна політика Берліна продовжує розвиватися у напрямку посилення стійкості системи. Основні напрямки, які вже реалізуються або обговорюються на рівні міського управління:

- **Модернізація та цифровізація інфраструктури метро та S-Bahn:** поступова заміна рухомого складу, оновлення систем сигналізації, запровадження цифрових розкладів та покращених інформаційних систем для пасажирів [7];
- **Подальший розвиток велосипедної мережі** – створення нових велошвидкісних маршрутів (Radschnellwege), які дозволять знизити залежність від автомобілів навіть у віддалених районах [22];
- **Інтеграція мультимодальних сервісів** (платформа Jelbi), яка дозволяє пасажирам комбінувати різні види транспорту – від метро до каршерінгу та велосипедів;
- **Розвиток соціальної доступності** – підтримка низьких тарифів: наприклад, експериментальний 29-євровий абонемент, що частково знизив кількість автомобільних поїздок та покращив екологічні показники міста [15];
- **Розширення зон екологічного контролю (Umweltzone)** із жорсткішими обмеженнями для дизельних авто низького екостандарту;
- **Боротьба з перевантаженням дорожніх вузлів** через розгортання інтелектуальних систем управління трафіком та поступовий перехід транзитних потоків поза межі міста [20].

Загалом, для ефективної оптимізації системи необхідним є не лише оновлення інфраструктури, але й узгоджене балансування між видами транспорту, соціальна підтримка вразливих груп, екологічні стимули та гнучка адаптація міської політики до потреб населення.

## ВИСНОВКИ

У процесі виконання дипломної роботи було досягнуто мету дослідження – здійснено комплексний ГІС-аналіз особливостей міського транспорту м. Берлін, визначено просторові закономірності його розвитку, оцінено доступність та перспективи удосконалення транспортної системи. На основі проведеного аналізу сформульовано такі основні висновки:

1. У роботі було розглянуто ключові теоретичні концепції просторової організації транспорту (теорія центральних місць В. Крісталлера, модель економічного простору А. Льоша, концепція 15-хвилинного міста К. Морено). Методологічною базою дослідження стали сучасні ГІС-методи: мережевий аналіз, моделювання транспортних потоків, розрахунок зон доступності, просторовий аналіз транспортної щільності, що дозволили оцінити функціонування транспортної системи в деталізованій просторовій прив'язці.

2. Сучасна транспортна система Берліна є комплексною, інтегрованою та багаторівневою. Вона поєднує метро (U-Bahn), міську електричку (S-Bahn), розгалужену мережу автобусів і трамваїв, розвинену велосипедну інфраструктуру, пішохідні зони, електротранспорт та системи мультимодальної мобільності (Jelbi). Особливістю є чітка радіально-кільцева структура, висока щільність зупинок у центральній частині міста та широка інтеграція з приміськими районами через єдину тарифну систему VBB.

3. За допомогою картографічних моделей здійснено просторовий аналіз щільності транспортної інфраструктури, зон доступності до громадського транспорту та визначено території з різним рівнем транспортної забезпеченості. Було виявлено, що найбільша щільність об'єктів припадає на центральну зону (А), натомість периферія (В, С зони) характеризується меншою доступністю. Побудовані ізохронні моделі показали, що 60–70% населення мають доступ до зупинок громадського транспорту в межах 5–10 хвилин пішої доступності.

4. Транспорт значною мірою визначив поліцентричну структуру Берліна. Маятникові потоки концентруються у ключових вузлах (Alexanderplatz, Zoologischer Garten, Potsdamer Platz), а розвиток передмість став можливим завдяки високій інтеграції S-Bahn та автобусних маршрутів. Також розвиток вело- та пішохідної мобільності сприяє переформатуванню вуличного простору, що наближає Берлін до моделей сталого міста.

5. Розвиток транспорту у Берліні активно інтегрується з екологічною політикою: діє екологічна зона Umweltzone, розширюється електротранспорт, розвивається велоінфраструктура. За останнє десятиріччя рівень забруднення повітря у центральних районах знизився на 30–40%. Соціальний ефект проявляється у зниженні транспортної нерівності завдяки доступності громадського транспорту для різних верств населення. Водночас зберігаються локальні проблеми шумового навантаження вздовж основних магістралей (зокрема A100) та ризики ДТП у центральних районах.

6. Визначено проблемні зони та обґрунтовано перспективи оптимізації транспортної системи Берліна. До основних викликів належать: збереження перевантаженості окремих вузлів у години пік, нерівномірний розподіл транспортної інфраструктури на периферії, конфлікти між різними учасниками руху у центральних районах. Серед перспектив – продовження розбудови веломереж, розвиток електротранспорту, подальша інтеграція мультимодальних сервісів (Jelbi), модернізація A100 з метою зменшення заторів та шумового навантаження, розширення "розумної" мобільності через цифрові платформи.

7. Зазначено шляхи поліпшення громадського транспорту в м. Берлін. Хоча Берлін має потужну систему громадського транспорту, деякі мешканці змушені довго йти пішки до станцій. Щоб поліпшити щільність станцій та заохотити пасажирів, місто може додати більше зупинок вздовж існуючих автобусних та трамвайних маршрутів – це економічно ефективне поліпшення, яке принесе користь мешканцям. Додавання автобусних маршрутів – ще одне відносно просте рішення для охоплення недостатньо забезпечених районами

міста. У довгостроковій перспективі додавання нових станцій метро буде ключовим для розширення пропозиції громадського транспорту, але це буде своєчасним і дорогим заходом. Плановане розширення системи швидкісного транспорту продемонструє прогрес.

Мережа зарядних станцій для електромобілів у Берліні є недостатньо розвиненою порівняно з аналогічними мережами в інших містах. Щоб запропонувати зарядну мережу світового класу, як в Амстердамі, необхідно прискорити розгортання зарядних станцій, щоб збільшити їх щільність у 14 разів. Місто може подолати цей розрив, запровадивши стимули на міському рівні, розширивши існуючі інвестиції федерального уряду в громадські зарядні станції та субсидуючи встановлення зарядних станцій у приватних будинках.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Birmili, W., Alaviippola, B., Hinneburg, D., Knoth, O., Tuch, T., Borken-Kleefeld, J., and Schacht, A.: Dispersion of traffic-related exhaust particles near the Berlin urban motorway – estimation of fleet emission factors, *Atmos. Chem. Phys.* 9. – P. 2355–2374, URL: <https://doi.org/10.5194/acp-9-2355-2009>
2. Autolife University of Michigan. Case Study 3: Automobiles and the Environment in American History. - Режим доступу: [http://www.autolife.umd.umich.edu/Environment/E\\_Casestudy/E\\_casestudy3.htm](http://www.autolife.umd.umich.edu/Environment/E_Casestudy/E_casestudy3.htm)
3. Berlin.de News. Strike at BVG Significant Restrictions. - Режим доступу: <https://www.berlin.de/en/news/9428743-5559700-strike-at-bvg-significant-restrictions-o.en.html>
4. Berlin Mobility Act. Senate Department for Urban Development Berlin. - Режим доступу: <https://www.berlin.de/sen/uvk/en/mobility-and-transport/transport-policy/berlin-mobility-act/>
5. Berlin Senate Mobility Department. Transport Planning Cycling. - Режим доступу: <https://www.berlin.de/sen/uvk/en/mobility-and-transport/transport-planning/cycling/>
6. Berlin Senate UVK. Air Quality Plan for Berlin (2nd update). - Режим доступу: <https://www.berlin.de/sen/uvk/en/environment/air/air-quality-plan-for-berlin-2nd-update/>
7. Berlin Senate UVK Official. Mobility and Transport in Berlin. - Режим доступу: <https://www.berlin.de/sen/uvk/en/>
8. BVG. Berlin Public Transport Official Site. - Режим доступу: <https://www.bvg.de/en>
9. Charleston Time Machine. Omnibus Revolutions. - Режим доступу: <https://www.ccpl.org/charleston-time-machine/omnibus-revolutions>
10. Charged Affairs. With the CDU in the Driver’s Seat: Berlin’s Transport Policy is Going in Reverse. - Режим доступу:

<https://chargedaffairs.blog/2023/11/12/with-the-cdu-in-the-drivers-seat-berlins-transport-policy-is-going-in-reverse/>

11. Clean Energy Wire. German gov't aims improve health and climate outcomes pedestrian transport strategy. - Режим доступа: <https://www.cleanenergywire.org/news/german-govt-aims-improve-health-and-climate-outcomes-pedestrian-transport-strategy>

12. European Environment Agency. Managing Air Quality in Europe: Traffic Management in Berlin, Germany. - Режим доступа: <https://www.eea.europa.eu/publications/managing-air-quality-in-europe/traffic-management-in-berlin-germany>

13. Friends of TUMI. TUMI Travel Guide Berlin 2019. URL: [https://transformative-mobility.org/wp-content/uploads/2023/04/TUMI-Friends\\_TravelGuide\\_Berlin\\_SV\\_2019.pdf](https://transformative-mobility.org/wp-content/uploads/2023/04/TUMI-Friends_TravelGuide_Berlin_SV_2019.pdf)

14. Anjos M and Meier F. Zooming into Berlin: tracking street-scale CO<sub>2</sub> emissions based on high-resolution traffic modeling using machine learning. *Front. Environ. Sci.* – 2025. 12:1461656. URL: [https://ui.adsabs.harvard.edu/link\\_gateway/2025FrEnS..1261656A/doi:10.3389/fenvs.2024.1461656](https://ui.adsabs.harvard.edu/link_gateway/2025FrEnS..1261656A/doi:10.3389/fenvs.2024.1461656)

15. Housing Anywhere. Getting around in Berlin. URL: <https://housinganywhere.com/Berlin--Germany/getting-around-in-berlin>

16. Riaz, Danial. Impact of Berlin's €29 ticket on Air Pollution: A quasi-experimental analysis. - 2023. URL: [https://www.researchgate.net/publication/371783739\\_Impact\\_of\\_Berlin's\\_29\\_ticket\\_on\\_Air\\_Pollution\\_A\\_quasi-experimental\\_analysis](https://www.researchgate.net/publication/371783739_Impact_of_Berlin's_29_ticket_on_Air_Pollution_A_quasi-experimental_analysis)

17. Menge, Julius & Horn, Burkhard & Beck, Birgit. Berlin's Urban Transportation Development Plan 2025 - Sustainable Mobility. – 2014. URL: [https://www.researchgate.net/profile/Julius-Menge/publication/265342163\\_Berlins\\_Urban\\_Transportation\\_Development\\_Plan\\_2025\\_-\\_Sustainable\\_Mobility](https://www.researchgate.net/profile/Julius-Menge/publication/265342163_Berlins_Urban_Transportation_Development_Plan_2025_-_Sustainable_Mobility)

18. Nationaler Radverkehrsplan 3.0. Federal Ministry for Digital and Transport (BMV). URL: [https://www.mobilitaetsforum.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/NationalerRadverkehrsplan/download\\_nationaler\\_radverkehrsplan\\_3\\_0\\_en.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.mobilitaetsforum.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/NationalerRadverkehrsplan/download_nationaler_radverkehrsplan_3_0_en.pdf?__blob=publicationFile&v=2)
19. Navigate Mobility. Urban Transportation Challenges and Solutions for Modern Cities. - Режим доступа: <https://navigatemobility.com/urban-transportation-challenges-and-solutions-for-modern-cities/>
20. OECD. The Circular Economy in Berlin, Germany. OECD Report 2024. URL: [https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2024/11/the-circular-economy-in-berlin-germany\\_43b54b2b/459defe7-en.pdf](https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2024/11/the-circular-economy-in-berlin-germany_43b54b2b/459defe7-en.pdf)
21. Oliver Wyman Forum. Urban Mobility Readiness Index Berlin. - Режим доступа: <https://www.oliverwymanforum.com/mobility/urban-mobility-readiness-index/berlin.html>
22. Potsdam Institute for Sustainability. Mobility Policy and Air Quality in Berlin. - Режим доступа: <https://www.rifs-potsdam.de/en/output/publications/2021/mobility-policy-and-air-quality-effect-new-bike-lane-and-community-space>
23. Reddit. BVG Degradation in Service Quality. - Режим доступа: [https://www.reddit.com/r/berlin/comments/17xaejf/bvg\\_degradation\\_in\\_service\\_quality/](https://www.reddit.com/r/berlin/comments/17xaejf/bvg_degradation_in_service_quality/)
24. Ali, Yashin & Chowdhury, Sudipta. A comparative scenario of traffic congestion in Munich & Berlin based on floating car data-tomtom (before/during the pandemic situation of covid-19). – 2021. URL: [https://www.researchgate.net/figure/Average-traffic-congestion-level-Weekday-in-Berlin-2019-Source-Own-illustration-based\\_fig6\\_350471480](https://www.researchgate.net/figure/Average-traffic-congestion-level-Weekday-in-Berlin-2019-Source-Own-illustration-based_fig6_350471480)
25. Narayanan, Santhanakrishnan & Chaniotakis, Manos. Factors affecting traffic flow efficiency implications of connected and autonomous vehicles: A review

and policy recommendations. – 2020. - Vol. 5. – P. 1-50. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/bs.atpp.2020.02.004>

26. Wondwossen T.G., Uwe P-W, Bikila T.W. A spatial autocorrelation analysis of road traffic crash by severity using Moran's I spatial statistics: A comparative study of Addis Ababa and Berlin cities, *Accident Analysis & Prevention*. – 2024. - Vol. 200. - 107535, . URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2024.107535>

27. Becker S., von Schneidmesser D., Caseiro A., Götting K., Schmitz S. , von Schneidmesser E. Pop-up cycling infrastructure as a niche innovation for sustainable transportation in European cities: An inter- and transdisciplinary case study of Berlin, *Sustainable Cities and Society*. – 2022. - Vol. 87. – 104168. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104168> .

28. Gomes B., Coelho J., Aidos H. A survey on traffic flow prediction and classification, *Intelligent Systems with Applications*. – 2023. Vol. 20. - 200268, URL: <https://doi.org/10.1016/j.iswa.2023.200268>

29. Song J., Zhao C., Zhong S. et al. Mapping spatio-temporal patterns and detecting the factors of traffic congestion with multi-source data fusion and mining techniques, *Computers, Environment and Urban Systems*. – 2019. Vol. 77. - 101364, URL: <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2019.101364>.

30. Oostendorp R., Gebhardt L., Combining means of transport as a users' strategy to optimize traveling in an urban context: empirical results on intermodal travel behavior from a survey in Berlin, *Journal of Transport Geography*. – 2018. - Vol. 71. - P. 72-83. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2018.07.006> .

31. Mocanu, T., Joshi, J. & Winkler, C. A data-driven analysis of the potential of public transport for German commuters using accessibility indicators. *Eur. Transp. Res.* - 2021. Num. 54. URL <https://doi.org/10.1186/s12544-021-00507-0>

32. Statista. Passengers Number on Public Transport Berlin. - Режим доступа: <https://www.statista.com/statistics/1112873/passengers-number-on-scheduled-public-transport-berlin-germany/>

33. Statista. Public Transport in Germany. - Режим доступа: <https://www.statista.com/topics/9605/public-transport-in-germany/>
34. Sustainable Urban Transport Guide Berlin. SUTP. URL: <https://sutp.org/publications/sustainable-urban-transport-guide-of-berlin-germany/>
35. The Munich Eye. BVG Reliability Declines Berlin Subway 2024. - Режим доступа: <https://themunicheye.com/bvg-reliability-declines-berlin-subway-2024-19237>
36. Traffic Analysis Portal Berlin. VIZ Berlin. - Режим доступа: <https://viz.berlin.de/en/traffic-in-berlin/>
37. Travel Diary. Berlin Map. URL: [https://travel-diary.com.ua/berlin\\_bilet/MAP\\_BERLIN.jpg](https://travel-diary.com.ua/berlin_bilet/MAP_BERLIN.jpg)
38. TomTom. Berlin Traffic Index. - Режим доступа: <https://www.tomtom.com/traffic-index/berlin-traffic/>
39. TU Berlin. Road Design and Disappearing Traffic. - Режим доступа: <https://www.tu.berlin/en/ztg/research/projects/current-projects/road-design-and-disappearing-traffic>
40. Umweltatlas Berlin. Traffic Noise and Traffic Volumes 1993. - Режим доступа: <https://www.berlin.de/umweltatlas/en/traffic-noise/traffic-volumes/1993/methodology/>
41. Wikipedia. Berlin S-Bahn. - Режим доступа: [https://en.wikipedia.org/wiki/Berlin\\_S-Bahn](https://en.wikipedia.org/wiki/Berlin_S-Bahn)
42. Wikipedia. Berlin U-Bahn. - Режим доступа: [https://en.wikipedia.org/wiki/Berlin\\_U-Bahn](https://en.wikipedia.org/wiki/Berlin_U-Bahn)
43. Wikipedia. Bus transport in Berlin. - Режим доступа: [https://en.wikipedia.org/wiki/Bus\\_transport\\_in\\_Berlin](https://en.wikipedia.org/wiki/Bus_transport_in_Berlin)
44. Wikipedia. Trams in Berlin. - Режим доступа: [https://en.wikipedia.org/wiki/Trams\\_in\\_Berlin](https://en.wikipedia.org/wiki/Trams_in_Berlin)
45. Welcome to Berlin SBahn - Режим доступа: <https://sbahn.berlin/en/plan-a-journey/information-for-berlin-visitors/>