

Міністерство освіти і науки України
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
ННІ «Інститут геології»
Кафедра геоінформатики

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА
спеціальність 193 – Геодезія та землеустрій
освітня програма «Геоінформаційні системи та технології»

ТЕМА: «ГЕОІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЕКТУВАННЯ ВЕЛОДОРОЖОК М.
БІЛА ЦЕРКВА»

Виконав студент 4-го курсу

групи ГІС _____ Тихоненко Б.М.

(підпис)

Науковий керівник _____ доцент, доктор географічних наук

Ляшенко Д.О.

(підпис)

Робота рекомендується до захисту (протокол № 14 _____ засідання

кафедри геоінформатики від 13.06.23р.)

Завідувач кафедри _____ доктор технічних наук, професор

(підпис)

Зацерковний В.І.

Київ – 2023

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МОДЕЛЮВАННЯ ВЕЛОДОРІЖОК.....	6
1.1 Аналіз літератури з моделювання велосипедної інфраструктури.....	6
1.2 Огляд території дослідження.....	18
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МОДЕЛЮВАННЯ ВЕЛОДОРІЖОК.....	22
2.1 Методика проведення дослідження.....	22
2.2 Огляд джерел просторових даних для моделювання велосипедних маршрутів.....	33
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ З МОДЕЛЮВАННЯ ВЕЛОДОРІЖОК М. БІЛА ЦЕРКВА.....	37
ВИСНОВКИ.....	57
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	59
ДОДАТКИ.....	64

ВСТУП

В умовах стрімкого зростання світового населення, також збільшуються й міста. Все більш гостро постає проблема пересування містами. Збільшення частки пересування автомобільним транспортом призводить до великої кількості економічних, екологічних, логістичних проблем. Щоб вирішити ці проблеми муніципалітети дедалі більше зважають увагу на інші види транспорту. Один з таких - велосипедний транспорт. велосипедної інфраструктури дозволяє виконати ряд завдань транспортного, економічного та екологічного характеру. Так, підвищується міська мобільність, шляхом додавання велосипедного транспорту в транспортну систему. Знижується навантаження на міську дорожню систему, збільшується загальна рухливість транспорту у межах міста. Безпечність пересувань, як для велосипедистів, так і для інших учасників руху підвищується, якщо наявна комфортна велоінфраструктура. Однією з основних економічних переваг є скорочення витрат на дорожньо-транспортну інфраструктуру. Також велосипедний транспорт сприяє покращенню екологічного стану міста, шляхом зменшення забруднення повітря, та – шумового забруднення. Особливо корисним такий вид транспорту є для дітей, та людей похилого віку, бо запобігає виникненню серцево-судинних захворювань, хвороб пов'язаних із проблемами опорно-рухового апарату, та навіть психологічних (*Шукляр та ін., 2017*). Велосипедний транспорт автономний, що дозволяє пересуватися в будь-якому напрямку, на відміну від автомобільного, та навіть деяких видів моторизованого транспорту. Важливим фактором розвитку міського туризму є комфортна велосипедна інфраструктура, що є особливо актуальним для такого міста, як Біла Церква. Проект планування стратегії розвитку м. Біла Церква до 2025 року, визначає розбудову мережі велосипедних доріжок, одним з основних заходів у рамках проекту, що говорить про актуальність обраної теми (*Білоцерківська міська рада, 2016*).

На сьогодні більшість обласних центрів України запровадили концепції розвитку велосипедної інфраструктури. Більшість з них мають на меті підвищити

рівень використання велосипедів для звичайних поїздок у містах. Для цього, в рамках концепцій, планується розвивати велосипедну інфраструктуру, підвищувати привабливість велосипеда, досягнути рівноправності для всіх учасників руху. Про актуальність вибраної теми говорить те, що нині не існує нормативних документів, які б запроваджували єдину систему розвитку велоінфраструктури населених пунктів. Це призводить до ситуації, в якій велоінфраструктура розвивається безсистемно, а за її реалізацію відповідають муніципалітети. Таким чином, проведене дослідження може послугувати для ефективнішого прийняття рішень на місцевому рівні.

Метою роботи є моделювання мережі велосипедних маршрутів методами ГІС для міста Біла Церква.

Об'єктом дослідження є територія м. Біла Церква.

Предмет дослідження: геоінформаційне моделювання та проектування характеристик велосипедних маршрутів.

Завдання дипломної роботи:

1. Аналіз і узагальнення літератури у якій викладено досвід геоінформаційного моделювання велоінфраструктури міст;
2. Розроблення методики проектування мережі велосипедних маршрутів засобами ГІС;
3. Геоінформаційне моделювання мережі велосипедних маршрутів на прикладі м. Біла Церква.

Методи дослідження: в ході дослідження використано методи: абстрагування (вибір певних критеріїв для аналізу пропозиції); спостереження (збір даних для проведення аналізу); аналізу; синтезу; порівняння (вибір найкращої з альтернатив модельованих велосипедних маршрутів); дослідження літератури, документів та результатів діяльності (вибір оптимальної методики для проведення дослідження); моделювання (створення моделі велосипедних маршрутів для м. Біла Церква); просторовий аналіз (побудова буферних зон навколо велосипедних маршрутів);

системний аналіз (метод аналізу ієрархій для визначення вагових коефіцієнтів критеріїв).

Новизна роботи полягає в проектуванні велосипедних маршрутів м. Біла Церква.

Основними вимогами до мережі велосипедних маршрутів є зв'язність, прямолінійність, безпека, комфорт велосипедистів.

Практичне значення роботи обумовлено покращенням велоінфраструктури міста Біла Церква. Отримані результати можуть бути використані в ході прийняття рішень розвитку велосипедної інфраструктури в м. Біла Церква. Також, робота може послугувати основою дослідження велосипедної інфраструктури інших міст.

Структура та обсяг роботи: дипломна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Обсяг основного тексту дипломної роботи становить 63 сторінки, складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатку.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МОДЕЛЮВАННЯ ВЕЛОДОРІЖОК

1.1 Аналіз літератури з моделювання велосипедної інфраструктури

На сьогоднішній день Україні немає загальнонаціонального плану розвитку інфраструктури. Розвиток велоінфраструктури проводиться на міському рівні, переважно, цим займаються муніципалітети. Першими українськими містами, що розробляли рекомендації розвитку велотранспорту стали Київ та Львів.

Фактично, документом що хоч якось регулює велосипедну інфраструктуру є ДСТУ 8906:2019 «Планування та проектування велосипедної інфраструктури» (ДСТУ 8906:2019,2020). Документ носить рекомендаційний характер, тобто його дотримання не контролюється ніякими органами влади. Вимогами до планування та проектування велоінфраструктури відповідно до цього документу є зміни довжини маршрутів не більше, ніж на 20%, в порівнянні з найкоротшим, або ж на 10%, для магістральних. Також, велосипедна інфраструктура повинна стати частиною загальної транспортної мережі міста, на рівні з іншими видами транспорту, з можливістю їх зміни в процесі руху містом. Документом рекомендовано проводити активну популяризація пересування велосипедним транспортом для містян. Документ передбачає наступні етапи планування велосипедної мережі:

- 1) Попередній аналіз із визначенням району планування, категорії велосипедної мережі, її призначення;
- 2) Встановлення вимог до велосипедної мережі шляхом визначення точок генерації та поглинання поїздок і прямих маршрутів між ними у форматі мережі;
- 3) Аналіз поточної ситуації (польове обстеження доріг і покриттів, мереж, вулиць, моделювання, опитування, аналіз наявних містобудівних документів);
- 4) Розробка концепцій велосипедного руху;

5) Аналіз концепції, виділення її сильних і слабких сторін, потенційних можливостей і загроз;

(6) Управління якістю та ефективністю під час реалізації та впровадження концепції (ДСТУ 8906:2019,2020).

В загальному документ описує вимоги до проектування велоінфраструктури, проектування велосипедної інфраструктури на вулицях і дорогах населених пунктів, на перехрестях вулиць і доріг населених пунктів, на автомобільних дорогах загального користування та велосипедних доріжок, прокладених за межами автомобільних доріг, інженерне облаштування велосипедної інфраструктури, конструктивні вимоги до влаштування велосипедної інфраструктури (ДСТУ 8906:2019,2020).

Також при створенні інфраструктури під час будівництва передбачено використання нормативних документів ДБН В.2.3-5:2018 «ВУЛИЦІ ТА ДОРОГИ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТИВ», в якому комплексно описано характеристики доріжок та смуг (ширина, покриття, форма організації велоруку) (ДБН В. 2.3-5:2018, 2022). Вимоги доповнено у стандарті ДБН Б.1.1-14:2021 «СКЛАД ТА ЗМІСТ МІСТОБУДІВНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ НА МІСЦЕВОМУ РІВНІ» (ДБН Б.1.1-14:2021, 2022).

В цілому, аналізуючи нормативні документи, можна дійти висновку, що вони використовують норми для проектування велосипедних доріжок, не пропонуючи комплексних методів їх побудови.

Основними елементами велосипедної інфраструктури є велосипедні маршрути та паркувальні місця для велосипедів. Будувати велосипедну інфраструктуру рекомендується так, щоб велосипедисти могли безперешкодно рухатися зі швидкістю 15 – 25 км/год, а зупинки на шляху (переїзди, світлофори) становили не більше 1 хвилини, у найкращому випадку 30 секунд.

За рекомендаціями німецьких фахівців з розвитку велосипедної інфраструктури ERA, можна виділити такі категорії велосипедних маршрутів:

- категорія 1. Магістральні: Основні та першочергові маршрути, по яким мають їздити більшість велосипедистів;
- категорія 2. Другорядні: Маршрути, за допомогою яких велосипедисти будуть під'їждати до основних маршрутів категорії 1;
- під'їзні маршрути: маршрути всередині окремих мікрорайонів, з пріоритетом для пішоходів та велосипедистів, які будуть використані, щоб доїжджати до маршрутів 1 та 2 категорії;
- рекреаційні маршрути: маршрути, що прокладені в зелених зонах, або ж просто використовуються для відпочинку;
- приміські маршрути, тобто маршрути, що знаходяться в годинній доступності від міста при користуванні велосипедом (ERA, 2010).

Основним документом з розвитку велосипедного транспорту Німеччини є Національний велосипедний план. Базовими принципами побудови велоінфраструктури, що рекомендовані документом:

- адекватне та безпечне розміщення інфраструктури;
- потреба у видимості між усіма учасниками руху;
- врахування, а не ігнорування проблемних ділянок мережі;
- врахування інтересів пішоходів;
- дотримання безпеки руху за рахунок дизайну інфраструктури;
- забезпечення поєднання дизайну й функціонального використання велоінфраструктури (Federal Ministry of Transport, 2020).

У Нідерландах акцент робиться на загальнонаціональний розвиток велоінфраструктури, на противагу окремо муніципальним заходам. Використовується така класифікація:

1. Велоподорожі на роботу. Використання велосипеда для поїздок на роботу особливо актуальне в годину пік, бо дозволяє розвантажити автомобільну мережу. Також більшість працівників у Ніделандах живуть в середньому за 7,5 км

від роботи, що спонукає використовувати велосипед замість інших видів транспорту;

2. Велоподорожі до магазину – це пересування містом по особистим справам. Важливим є облаштування спеціалізованих паркувальних місць для велосипедистів, що займають менше місця, дешевші в будівництві та підтримці в порівнянні з автомобільними. Паркувальні місця для велосипедистів спонукають їх вибрати той чи інший магазин;

3. Велоподорожі до школи. Основним принципом в організації пресувань для школярів та студентів є безпека руху. Як зазначається є певна кореляція між використанням велосипеда в дитинстві, а потім і у майбутньому;

4. Велоподорожі для рекреації. Близько 70% жителів країни використовують велосипед для одноразової поїздки з рекреаційними цілями, тому в країні активно розвиваються туристичні маршрути, зелені та паркові зони (*Ministrie van Verkeer en Waterstaat, 2007*).

Основними вимогами до велосипедної мережі є зв'язність, прямолінійність, безпека, комфорт велосипедних маршрутів. Наприклад, PRESTO (PRESTO – це проект, у якому група експертів створили універсальний посібник для розвитку велосипедної інфраструктури) додають до переліку вимог також привабливість. Якість, якої має бути досягнуто на рівні мережі:

- щільність мережі основних сполучень (від 200 до 1000 м) має гарантувати, щоб 90% жителів проживали не далі, ніж 200 м від основного сполучення (категорія II);
- мінімум об'їздів, переїздів та зупинок (світлофори, перетин велосипедних доріжок автодорогами, тощо);
- розчищення від снігу взимку основних сполучень велосипедного руху (принаймні на маршрутах I і II категорій);

- соціальна безпека: оглядовість, видимість і соціальний контроль, або пропозиція відповідних альтернативних сполучень, наприклад, у нічний час (*Urbanczyk, 2010*).

Основними стримуючими факторами при використанні велоінфраструктури є фізичні та психологічні. До фізичних можна віднести наприклад, безпеку, відсутність інфраструктури, неможливість користування велосипедом через стан здоров'я. Психологічні фактори – це фактори, що сформовані у певної групи велосипедистів, або окремого велосипедиста, у відповідності до власного досвіду або культури в якій він знаходиться. До них можуть відноситися, наприклад, статусність велосипеда, або думка, що для користування велосипедом потрібна особлива фізична підготовка. Так, один з найбільш популярних стереотипів, що велосипед не транспорт а – розвага. Для деяких людей проблемами є клімат та рельєф, проте це легко вирішується розбудовою велосипедної інфраструктури (покращення покриття велосмуг). Використовувати велосипед можна і взимку. З такими кліматичними проблемами можна боротися шляхом використання спеціалізованого спортивного одягу. Проте за даними, досліджень, найбільш вагомі стримувальні фактори при використанні велосипедів – безпека та відсутність якісної велосипедної інфраструктури. Небезпеки для велосипедистів:

- автомобілісти (водії авто не розуміють як себе вести з велосипедистами через відсутність однозначних ПДР відносно велосипедів, велосипедисти не знають ПДР, водії авто не помічають велосипедистів);
 - пішоходи (пішоходи ходять по велосипедним доріжкам);
 - інші транспортні засоби (проблеми з самокатами, та іншими електричними транспортними засобами);
 - інфраструктура (пошкодження покриття, відсутність освітлення);
 - неоднозначність регуляторної бази (велосипедом користуються діти, велосипедисти їздять тротуарами або по автодорозі) (*Бондаренко, 2020*).

Також, варто звернути увагу на економічні проблеми при використанні велосипедів, це відсутність чіткої політики в фінансуванні велоінфраструктури. Звісно, не треба виключати групу, що складається з людей, для деяких сучасні велосипеди коштують занадто дорого. Таке відбувається, зокрема через великі податки на імпорт велосипедів. Відсутність збору даних та їх аналіз, перевезення велосипедів в інших видах транспорту (громадський транспорт, поїзди), паркування та зберігання велосипедів – теж проблеми, на які не достатньо звертають увагу. Більшість проблем вирішуються регуляторним шляхом, тобто покращенням нормативної та законодавчої бази (Яшкіна, 2021).

У багатьох концепціях створення велосипедної інфраструктури міст України фігурує метод так званих “повітряних ліній”, або графо-аналітичний метод (Концепція створення велосипедної інфраструктури міста Херсон, 2020). Такий спосіб є не надто складним, що є його перевагою, але при цьому не враховує факторів, що пов’язаних з особистим вибором велосипедиста. Концепція створення мережі починається з того, що вибирається центр кварталу, що є місцем тяжіння, або центром мас, звідки буде побудована пряма лінія до місця призначення (громадський об’єкт, рекреаційний центр, місце роботи, торгівельний центр). Там де є накладання багатьох прямих ліній, прокладається реальний маршрут, який імовірно буде користуватися найбільшою популярністю у містян (категорія 1 – найпопулярніший маршрут; категорія 2 – менш популярний, але все ж часто використовуваний; категорія 3 – проїзди між будинками, або ж під’їзди до маршрутів категорій 1 та 2) (Бондаренко & Загреба, 2017).

У плануванні велосипедної інфраструктури не обійтися без просторового аналізу. Наприклад, буферні зони навколо відрізків велосипедних доріжок, тобто аналіз відстані, яку треба подолати велосипедисту від місця початку руху (наприклад житловий будинок) до найближчої велосипедної доріжки (Macbeth et al., 2007). Також, доцільно застосувати зонування території міста, так, можливо проаналізувати кількість будинків, що обслуговуватимуться певною частиною

велосипедної інфраструктури. Особливу увагу треба звернути на спеціалізовані заклади, місця роботи, навчання, відпочинку та громадські заклади. Необхідно, щоб соціальні об'єкти знаходилися близько до рекомендованих велосипедних маршрутів.

Рельєф є важливим фактором у плануванні велосипедної інфраструктури, тому, доцільно, використовувати топографічні карти для побудови перепадів висот на шляху створених велосипедних маршрутів. Так, значні перепади висот негативно впливають на користування маршрутом, постійне підвищення, або ж постійне зниження також є негативними факторами. В ідеальних умовах, прокладений маршрут має проходити по рівнинній поверхні, проте зрозуміло, що в реальності, таке стається вкрай рідко. Також важливо відзначити, що спортивні, як і рекреаційні маршрути, навіть в умовах міста, можуть, а іноді й повинні мати ухили та перепади висот для підвищення навантаження на велосипедиста.

Рівні обслуговування велосипеда (англ. Bicycle level of service – BLOS) використовуються для надання об'єктивних оцінок придатності (або якості) велосипедних зв'язків або перехресть у транспортних мережах. Концепція намагається математично виразити відношення велосипедистів до якості доріг чи перехресть, проїжджої частини та умов руху в цілому. Таким чином перевіряється комфортність (безпеки) певної дороги для велосипедистів. Переважна більшість авторів, розуміють під BLOS комплекс схожих методів, що описують різноманітні фактори (тип дороги, швидкість руху інших транспортних засобів, ширина дороги або узбіччя тощо), хоча існують авторські методи під однойменною назвою (*Landis at al., 1997*). Однак, переважно, автори використовують термін BLOS все ж як узагальнюючий, для інших подібних методів, таких як: BCI (Bicycle Compatibility Index), LTS (Level of Traffic Stress), BSL (Bicycle Stress Level). Загалом, таких концепцій від різних авторів є багато, у цій роботі описані лише деякі з них.

Індекс придатності велоруху, або ІПВ (англ. Bicycle Compatibility Index - BCI), можна застосовувати в середовищі змішаного руху. Запропонований метод

показує наскільки ділянки вулично- дорожньої мережі підходять для забезпечення руху велосипедистів спільно з автотранспортом. Індекс визначається формулою, що складається з 8 змінних. Вагові коефіцієнти параметрів були визначені за допомогою фокус – групи, яка обговорювала, на основі фото та відеоматеріалів, прогнозований комфорт від пересування у вказаних умовах (автори зазначають, що отримані результати були перевірені в пілотному дослідженні, і вони відповідають дійсності). Тобто оцінювався, в першу чергу, саме комфорт велосипедистів при русі по визначеним сегментам, так, авторам вдалося отримати достатньо наближені до реальності потреби користувачів велоінфраструктури (*Harkey, Reinfurt at al. 1998*).

Для розрахунку індексу велоруху використовується формула 1.1:

$$BCI = 3.67 - 0.966BL - 0.410BLW - 0.498CLW + 0.002CLV + 0.0004OLV + 0.022SPD + 0.506PKG - 0.264AREA \quad (1.1)$$

де, BL – наявність велосипедної смуги або асфальтованого узбіччя (0 – ні, 1 – так);

BLW – ширина велосипедної смуги або асфальтованого узбіччя, м;

CLW – ширина крайньої правої полоси, м;

CLV – інтенсивність руху по крайній правій полосі в одному напрямку, авт./год.;

OLV – інтенсивність руху по іншим полосам в тому ж напрямку, авт./год.;

PD – швидкість руху 85% потоку, км/год.;

PKG – наявність паркувальної смуги з більш ніж 30% завантаженістю (0 – ні, 1 – так);

AREA – тип землекористування прилеглої території (1 – житлова, 0 – інша);

AF – розраховується за формулою 1.2 (усі коефіцієнти обраховуються за табличними даними від авторів):

$$AF = t_t + t_p + t_{rt} \quad (1.2)$$

де, t_t - корегувальний коефіцієнт інтенсивності вантажного транспортного потоку;

t_p - корегувальний коефіцієнт оберту паркувального місця;

t_{rt} - корегувальний коефіцієнт для інтенсивності правого повороту (Чернишова, 2019).

Чим менший отриманий індекс, тим комфортніше почуватиме себе велосипедист, що користуватиметься такою дорогою. Авторами пропонується використовувати класифікацію латинських літер від А до F, що означають відповідну оцінку процентиля. Межі процентиля наступні: A/B—5-й або ІПВ $\leq 1,50$, B/C—25-й або ІПВ = 1.51 – 2.30, C/D—50-й або ІПВ = 2.31 – 3.40, D/E—75-й або ІПВ = 3.41 – 4.40, E/F— 95-й або ІПВ $> 5,30$ (Harkey, Reinfurt at al., 1998).

Перевагами методу є врахування фактору вибору велосипедиста, та рівень його комфорту. Недоліками – аналіз вже існуючих доріг, без можливості прогнозування нових шляхів на стадії їх планування.

РЗТ (Рівні завантаженості трафіку) (англ. Level of Traffic Stress – LTS) - це метод, що оцінює обмеження швидкості, кількість смуг, середньодобовий трафік та забезпечення окремої ділянки інфраструктури, наприклад велосипедних доріжок та узбіччя. За методикою, було запропоновано поділити всіх велосипедистів на 4 групи: «зацікавлені, але стурбовані» — розділені на дві групи - діти (LTS 1) та дорослі (LTS 2), «захоплені та впевнені» (LTS 3) і «сильні та безстрашні» (LTS 4) тоді як остання група «No Way No How» (укр. - ні в якому разі) не класифікується на жодному з рівнів LTS. «Сильні та безстрашні» велосипедисти їздять незважаючи на дорожні умови. «Захопленим та впевненим» велосипедистам зручно їздити по дорозі на автомобілях, але вони воліють пересуватися велосипедом, і цінують зусилля докладені для покращення велосипедної інфраструктури. «Зацікавлені, але стурбовані» - цікавляться їздою на велосипеді, люблять їздити, але мають певний дискомфорт при пересування, і тому не регулярно їздять а також не будуть користуватися доріжками, що розташовані на автодорогах. Нарешті, «No Way No How» - група, що за будь яких умов не збирається користуватися велосипедом. Таким чином можна охопити все доросле населення. В результаті такого поділу,

визначається потреби та проблеми людей в групі LST 1, як самих перспективних (*Dill & McNeil, 2013*).

Було висунуто припущення, що вирішення проблем цієї групи, може призвести до використання велосипеда, як транспортного засобу на постійній основі. Основними потребами таких користувачів стала наявність відокремлених велосипедних доріжок. Як зазначається, пересування у одному потоці з автомобілістами допускається тільки на дуже низьких швидкостях (*Mekuria et al, 2012*).

Концепція PCB (Рівні стресу при велокористуванні) (Bicycle Stress Level – BSL англ.) - одна з перших концепцій, в якій почали враховувати точку зору велосипедиста в дослідженнях вибору велосипедистами напрямків руху та вибору місця прокладання велосипедного шляху. Вона була застосована для міста Джелонг (Австралія). Таке представлення ґрунтувалося на припущенні, що велосипедисти вибирають не просто найкоротші маршрути, а керуються іншими факторами при прийнятті рішень. Важливим фактором, автори вважають стрес, який отримують користувачі велосипедів при пересування містом по узбіччю, а особливо рухаючись в одному потоці з автомобілями. Змінними, які найбільше впливають на рівень стресу велосипедиста, були ширина узбіччя, швидкість автомобіля та інтенсивність руху. Для різних комбінацій цих трьох змінних члени команди призначили значення від одного до п'яти, щоб відобразити рівень стресу, який вони зазнали під час їзди в таких умовах. Оцінювання відбувалося за п'ятибальною шкалою, де одиниця означала мінімальний стрес, натомість п'ятірка – максимальний. При виборі доріг для аналізу, автори спирались на власний досвід користування велосипедом (*Harkey, Reinfurt et al. 1998*).

Наступними, хто використав концепцію BSL, стали американські спеціалісти. Їх нововведенням було використання думок незалежних велосипедистів різних груп (досвідчених та звичайних). На основі відео та фото матеріалів, вони проводили оцінку різних доріг відносно рівня стресу який би отримали

респонденти, що ними користувалися. Для оцінки стресу так само використовувалася п'ятибальна шкала. В результаті дослідження автори дійшли висновку, що фактори інтенсивності руху, швидкості транспортних засобів і ширини смуги руху найбільш кардинально впливають на комфорт велосипедистів (*Sorton & Walsh, 1994*).

Достатньо часто, для збору інформації про найпопулярніші маршрути у велосипедистів використовується GPS. Одним з перших способів збору GPS даних стали портативні GPS приймаймачі (*Harve and Krizek, 2007*). Сьогодні доступність технології майже для кожного бажаючого, робить збір таких даних легшим. На сьогодні, існує велика кількість додатків, що відслідковують пересування користувача, записуючи його маршрут. Використання таких додатків запустило хвилю досліджень велосипедного транспорту за допомогою GPS в смартфонах (*Hood et al., 2011; Griffin and Jiao, 2015*). Зазвичай такі додатки використовують спортсмени, тому дані про вподобання велосипедних маршрутів можуть мати похибки, бо спортсмени частіше вибирають маршрути зі складною топографією. Таким чином, найкращим варіантом є використання даних, що отримані від звичайних велосипедистів, якщо є така можливість. Наприклад, Нідерланди – країна з гарно розвиненою інфраструктурою велосипедного транспорту, використовує GPS для збору емпіричних даних про маршрути громадян (проте, оголошення про збір даних може впливати на точність даних, знаючи що їх записують, користувачі можуть показувати нетипову поведінку (*Libner et al., 2020*)). Для таких цілей навіть проводять національні ініціативи, наприклад, “Bicycle Counting Week” або BCW (Тиждень велосипедних підрахунків), які дозволяють зібрати дані про маршрути, швидкість їзди, місця, де можуть з'являтися затори (*Danique et al., 2017*). Такі дані зберігаються у вигляді лінійних або точкових об'єктів, з якими далі можна працювати в ГІС – системах. Також, для них використовують фільтрування, щоб не залишати помилкових даних, наприклад, різкі стрибки на значні відстані, яких не може бути в дійсності, скоріше за все пов'язані із втратою

мережі при записуванні. Важливим є віднесення кожного окремого користувача, що записував дані, до окремої групи. При проведенні аналізу, це допоможе зрозуміти потреби груп велосипедистів, які використовують велосипед для різних цілей (робочі поїздки, або поїзди для відпочинку). Тому, потрібно використовувати фільтрування даних, наприклад за критеріями: вік, стать та мета поїздки користувача велосипедної інфраструктури (*Libner et al., 2020*).

Поширеним способом для аналізу велосипедних маршрутів є теплові карти. У випадку велосипедної інфраструктури, теплові карти, за допомогою насиченості або різних кольорів, вказують на рівень використання тих чи інших велосипедних шляхів. Найкращим ресурсом, що надає такі послуги є сервіс Strava, що за допомогою даних GPS, отриманих від користувачів створив теплову карту використання тих чи інших маршрутів велосипедистами (*Чернишова, 2019*).

Важливо дослухатися до думки постійних користувачів вело –інфраструктури – звичайних містян. Постійні користувачі добре знають слабкі місця міської велосипедної інфраструктури. У багатьох дослідженнях використовуються результати опитувань звичайних велосипедистів, та велосипедистів спортсменів. Також можуть проводитися опитування усіх без виключення містян для збору статистичних даних про відношення людей до велосипедної інфраструктури, її недоліки та переваги. Наприклад, в Німеччині було проведено загальнонаціональне онлайн – опитування, охоплюючи всі відповідні аспекти, такі як: соціальні фактори; вплив навколишнього середовища, індивідуального вибору, фактори маршруту, а також мотиви користування велосипедом (*Anke et al., 2018*). Зазвичай саме звичайні велосипедисти можуть вказати на недоліки прокладеного маршруту, або ж запропонувати розташування нового. Важливим є кількість опитаних, бо при збільшенні їх числа, відповідно підвищується точність отриманих даних. Також, поширена практика, при плануванні велосипедної дорожньої мережі, консультування з представниками різноманітних велосипедних асоціацій.

Узагальнення досвіду проектування велосипедних маршрутів засвідчило рекомендації розвитку велоінфраструктури стандартами та нормативними документами. Також проаналізовано рекомендації розвитку велоінфраструктури від іноземних спеціалістів. В ході аналізу літератури виявлено доцільність використання таких методів для моделювання велосипедних маршрутів:

- Графо-аналітичний метод;
- Просторовий аналіз;
- Використання даних про рельєф;
- Індекси придатності(BLOS, BCI, LTS, BSL);
- Використання GPS даних;
- Опитування містян(використання статистичних даних).

1.2 Огляд території дослідження

В якості об'єкта експериментальних досліджень обрано м. Біла Церква. Місто є адміністративним центром Білоцерківського району, в якому проживає близько двохсот тисяч містян. Місто розташоване за 80 км від Києва, на річці Рось.

Розвиток велосипедної інфраструктури міста знаходиться на досить низькому рівні користування велосипедом для поїздок. У місті існують комерційні станції велопрокату, яких буде недостатньо за умови постійного використання містянами велосипедів. Більшість регулярних велосипедів мають власний велосипед, та не користуються прокатом. На території міста вже створено деяку кількість велодоріжок, що поки не пов'язані в загальну мережу. Велосипедні доріжки розміщені:

№1. Вул. Гайок – Сквирське шосе (рис. 1.1);



Рис. 1.1 – Велосипедний маршрут №1(фото автора)

№2. Алея вздовж бульвару Олександрійський (рис. 1.2) ;



Рис. 1.2 – Велосипедний маршрут №2(фото автора)

№3. Білоцерківська міська лікарня №1 – Соборна площа (рис. 1.3).

Ситуація з паркувальними місцями для велосипедистів, теж потребує розгляду. Більшість паркувальних місць створені підприємцями на територіях, що знаходяться у їхньому розпорядженні. Це можуть бути території поблизу магазинів, ресторанів, кафе, зон відпочинку, спортивних комплексів тощо. Наявність паркувальних місць для велосипедистів безсумнівно є перевагою, проте відсутність систематичності ускладнює їх використання на постійній основі. Створенням велопарковок повинна займатися міська адміністрація в умовах розвитку

велоінфраструктури. Велопарковки повинні бути рівномірно розподілені територією всього міста, а розміщення велопарковок повинно визначатися відповідно до попиту на певних територіях, й може підвищити якість велосипедної інфраструктури. На сьогодні, для покращення ситуації з розвитку велосипедної інфраструктури, в місті повинні проходити централізовані заходи з її планування. Загальна довжина існуючих велодоріжок міста складає близько 5 км, що є вкрай малим показником, відносно всієї вулично – дорожньої мережі міста.

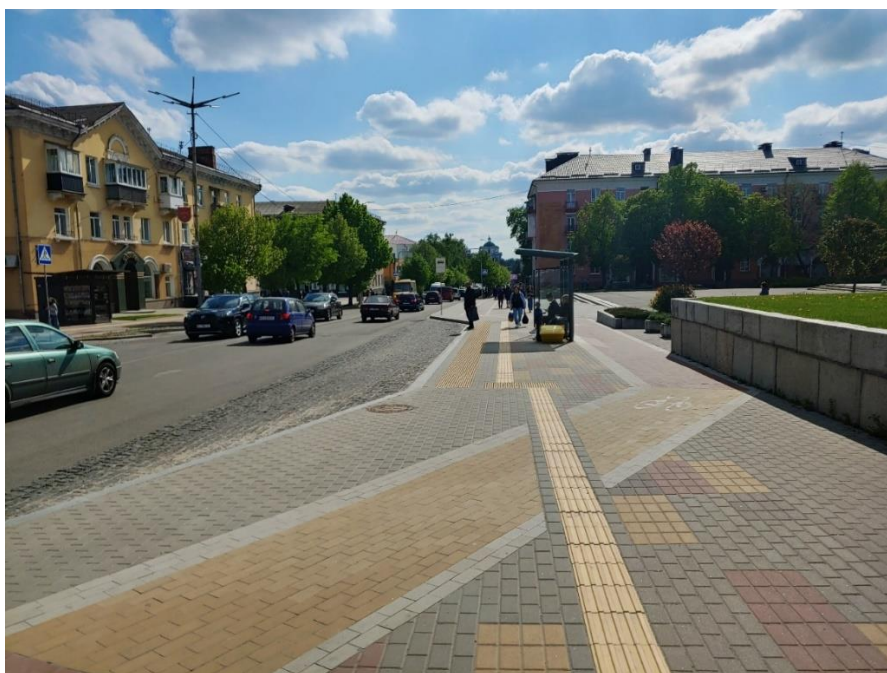


Рис. 1.3 – Велосипедний маршрут №3(фото автора)

Місто Біла Церква добре підходить як об'єкт дослідження, його можна віднести до міст з низьким використанням велосипедного транспорту саме через відсутність розвиненої велосипедної інфраструктури. Основними проблемами міста, при плануванні велоінфраструктури є відсутність комплексних заходів її розвитку, неготовність містян до співжиття з велосипедною інфраструктурою. При використанні нечисленних існуючих доріжок велосипедисти постійно стикаються з проблемою змішаного руху разом із пішоходами. Пішоходи, здебільшого, не звертають увагу на позначення певних маршрутів як велосипедних, пересуваються ними, впливаючи на комфорт велосипедистів. Виправити цю проблему, можна інформуванням містян, поясненням важливості велосипедного транспорту.

Загалом, місто має гарний потенціал розвитку велоінфраструктури, зокрема через розташування туристичних об'єктів.

В результаті проведення аналізу літератури, з'ясовано стандарти та нормативні документи, що можуть бути використані при моделювання велосипедних маршрутів. Проаналізувавши методи індексів пропозиції, визначено критерії, що найкраще підійдуть для території проведення цього дослідження. Проаналізувавши рекомендації розвитку велосипедної інфраструктури, звіти українських та іноземних спеціалістів по темі дослідження, з'ясовано: стимулюючі та стримуючі фактори, проблеми при використанні велосипеда; небезпеки, що можуть загрожувати велосипедисту; пропоновані класифікації велосипедних маршрутів та велопоїздок; основні вимоги (зв'язність, прямолінійність, безпека, комфорт велосипедистів) та елементи велоінфраструктури. Проаналізувавши територію дослідження, було зроблено висновок, що велосипедна інфраструктура міста знаходиться на досить низькому рівні, для покращення ситуації, необхідний комплексний розвиток велосипедної інфраструктури.

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МОДЕЛЮВАННЯ ВЕЛОДОРІЖОК

2.1 Методика проведення дослідження

Методику проектування велосипедної мережі можна умовно поділити на два види: аналіз попиту та аналіз пропозиції. Аналіз попиту визначає основних користувачів велоінфраструктури, їх потреби в умовах її використання. Вид діяльності, стать, вік – все це може бути визначальними факторами при виборі маршруту для цільової поїздки. Так само, поїздки можуть ділитися на робочі, комерційні, рекреаційні. Кожна група має свої особливості, які потрібно розуміти при плануванні велосипедних маршрутів. Наприклад, для робочих поїздок важливим є фактор швидкості, який натомість не грає ключової ролі для рекреаційного пересування. Аналізуючи потреби окремих груп містян, вдається точніше визначити шляхи, яким користується переважна більшість певної групи. Може визначатися як багатокритеріальний індекс, критеріями якого можуть бути центри скупчення містян, наприклад, школи, лікарні, торгівельні центри, об'єкти зайнятості. Таким чином, місця проживання потенційних чи існуючих користувачів, повинні зв'язуватися з об'єктами зацікавленості різних соціальних груп (*Rybarczyk & Wu, 2010*).

Натомість аналіз пропозиції визначає придатність наявних ресурсів для створення велосипедної інфраструктури. Переважно використовується у формі індексу, що визначає певні характеристики можливої ділянки потенційної мережі велошляху. Індекс ґрунтується на моделюванні найважливіших факторів для велосипедиста: комфорту та безпеці руху. Критерії цих факторів можуть бути найрізноманіші. Для моделювання безпеки враховується відгородження від автомобільної дороги, швидкість автотранспорту, його тип, якщо доріжка проходить по автодорозі, освітленість шляху, пряма видимість. Моделюючи комфорт можуть визначати ширину смуги велошляху, якість покриття, схилення

дороги, можливість паркування, необхідність зупинок або поворотів, а в деяких дослідженнях навіть погоди. Це тільки частина можливих критеріїв, які можуть змінюватись через специфічні умови конкретних населених пунктів.

В основному для оцінки як попиту, так і придатності використовується значна кількість критеріїв. Тобто, аналіз з великою кількістю критеріїв може також називатися багатокритеріальний аналіз. Велика кількість критеріїв обумовлена підвищенням точності результатів. Кожен додатковий критерій покращує моделювання потенційного попиту та пропозиції. Таким чином можливо охопити найбільшу кількість потенційних користувачів, бо більшість їх потреб описується оцінювальними критеріями. В дійсності використовують критерії, які можна визначити, у відповідності до наявних даних.

Більшість дослідників намагаються використати якомога більше критеріїв, дані для яких вони мають. Проблема багатьох українських міст, за виключенням столиці та деяких обласних центрів, полягає у зборі даних, тим більше таких, що можуть бути використані для цілей досліджень велосипедної інфраструктури. Така ж проблема притаманна й м. Біла Церква, просторові дані для міста збирають цілеспрямовано, для завдань міського планування, зрозуміло, що навіть такі дані не можуть знаходитися у вільному доступі. Тому, вирішено обрати критерії, дані для яких можна отримати з відкритих джерел всесвітньої мережі інтернет, або отримати шляхом спостережень на місцевості. Саме такі критерії вибрані через їх поширеність та важливість у роботах сторонніх дослідників. У даному дослідженні вибрані такі критерії індексу пропозиції: ухил, якість покриття, ширина можливої смуги дороги або тротуару, яку можна виділити для руху велосипедистів.

Ухилом є крутизна підйомів та спусків деякої ділянки дороги. У цій роботі визначається як середній ухил, у відсотках, кожного сегменту дороги. Важливість критерію схилення при користуванні велосипедом є суперечливим. Деякі автори наводять схилення, як дуже важливий фактор, наприклад, Джозеф Броуч та інші зазначають, що ухил до 2% є гранично допустимим для комфортного руху, у 4%

значно ускладнює рух велосипедиста, ухил в 6% робить дорогу непридатною для руху (*Broach et al., 2011*). Звісно мова йде про маршрути не спортивного використання, для спортсменів маршрути можуть навмисно мати значний ухил для збільшення фізичних навантажень. При значних відстанях, і невеликих значеннях ухилу, більшість велосипедистів наврядчи побачать різниця ухилу окремих ділянок дороги, щоб стверджувати, що це може повпливати на їх вибір маршруту. Тим не менш, це не відмінняє впливу на них факторів навантаження при перепадах висот. Тому критерій ухилу повинен враховуватися незважаючи на слабе підґрунтя фактору, як суттєвого в моделі вибору велосипедистом маршруту, але не може не враховуватися при проектуванні велодоріжок.

Якість покриття вважається одним з найбільш важливих факторів. Такий критерій зустрічається у переважній більшості дослідників велосипедної інфраструктури. Під якістю покриття можуть розумітися різноманітні характеристики пошкоджень або покриття поверхонь тротуарів та доріг. Це може бути характеристика у відношенні наявності вибоїн, вивітрювання, розтріскувань, нерівномірного переїзду через залізничний шлях, дренажні решітки, латки, кожна з яких отримує своє значення вагового коефіцієнту, в залежності від сили впливу на комфорт велосипедиста (*Epperson, 1994*). Інші автори наводять характеристику, в якій оцінюють не тільки наявні пошкодження, а й всю ділянку тротуарів, наприклад, поділяючи їх на 5 категорій. Якість тротуари зменшується в бік зниження категорії, так категорія 5 описує майже нові або нові тротуари з достатньо гладким покриттям без вибоїн, що відноситься до цієї категорії, а категорія 1 - тротуари в надзвичайно зношеному стані (*Landis, 1994; Turner et al, 1997*). У цій роботі використано оцінку критерію в 5 балів, відносно якості покриття тротуарів, або, в рідкісних випадках, автомобільних доріг. Дані для оцінки якості покриття отримані у ході спостережень на місцевості.

Ширина смуги в умовах дослідження означає можливість створення окремої смуги руху велосипедистів в умовах існуючих узбіч або доріг. За оптимальну

ширину виділеної смуги приймаються різноманітні значення, які також залежать від типу велосипедних доріжок – одностороннього руху та двостороннього. При моделюванні велосипедних маршрутів розглядається можливість створення виключно односторонніх велосипедних маршрутів, оскільки більша частина міських тротуарів недостатньо широка для створення двосторонніх маршрутів. Оцінюватися як критерій ширини смуги можуть як тротуари, так дороги. Оцінювати дороги для можливого моделювання велосипедних маршрутів окремою смугою на автодорозі в умовах України не доцільно, бо дороги будуються відповідно до стандартів без орієнтування на додаткову ширину потенційних велосипедних маршрутів. Тому, при проектуванні варто орієнтуватися на тротуари, або дороги з обмеженим автомобільним рухом. Дослідники використовують різні варіанти оцінки тротуарів для проектування ними велосипедного маршруту. Дехто оцінює ширину узбіччя до його центру (*Landis, 1994*). Інші повністю всю ширину тротуару чи узбіччя (*Harkey, 1998*). У даній роботі оцінювалися переважно тротуари, для яких визначалася можливість створення велосипедних доріжок спільно з пішоходами, для яких планувалося виділити окремі смуги пересування. Дані для оцінки ширини смуги отримані у ході спостережень на місцевості.

Для визначення важливості критеріїв доцільно використовувати системний аналіз, а точніше метод аналізу ієрархій. Метод використовується для аналізу експертних оцінок, і є систематичною процедурою ієрархічного представлення елементів, що позначають суть певної проблеми. Метод ґрунтується на розділенні проблеми на простіші складові частини, і може виражати відносний ступінь взаємодії елементів в ієрархії. Включає методи синтезу множини порівнянь, отримання важливості критеріїв, й знаходження альтернативних рішень. Для розв'язання будь-якої проблеми методом аналізу ієрархій, спочатку потрібно визначити вагові коефіцієнти. Ієрархія складається з вершини, або цілі, та рівнів, що містять залежності для підрівнів, й підрівнів, які мають перелік альтернатив.

Візуалізації ієрархії слідує визначення вагових коефіцієнтів альтернатив. Для цього використовується метод створення матриці порівнянь. Матриця порівнянь включає множину елементів із значеннями їх важливості для кінцевої цілі або мети. В методиці, запропонованої Т. Сааті (автора методу) елементи матриці порівнянь визначаються за допомогою шкали відносної важливості. Для оцінки критерії, автором методу запропоновано використовувати шкалу оцінювання критеріїв, від 1 до 9, де 9 – дуже сильна перевага критерію, потужність переваги йде в бік зменшення, тобто 5 буде мати істотну перевагу, 3 – помірну, а 1 – однакову важливість. Детальніше значення шкали важливості описані в таблиці 2.1 (Міца та Лавер, 2021).

Інтенсивність важливості	Пояснення
1	Елементи однаково важливі (пріоритетні) - Рівний внесок двох елементів в досягнення мети
3	Незначна перевага одного над іншим (Є умови, що надають легку перевагу одного над іншим)
5	Істотна перевага (Існують вагомні факти, що один істотно важливіший від іншого)
7	Явна перевага одного над іншим (Є беззаперечні факти переваг одного над іншим)
9	Дуже сильна перевага (Очевидність переваги одного над іншим не викликає сумнівів)
2,4,6,8	Проміжний результат рішення між двома сусідніми міркуваннями (Застосовується в компромісному випадку)

Таблиця 2.1 – Шкала відносної важливості, взято з (Міца та Лавер, 2021)

Для визначення важливості певних критеріїв у дипломній роботі визначено за допомогою матриці попарних порівнянь. Матриця попарних порівнянь є різновидом матриці порівнянь методу аналізу ієрархій. Вона характеризується тим,

що кожен критерій порівнюється з іншим попарно, поки не буде порівняно всі критерії. У результаті отримуються значення важливості для кожного критерію. У оригінальній методиці, вплив критеріїв визначається експертами, групу з яких збирають у форматі обговорення при проведенні процедури побудови матриці попарних порівнянь. Через те, що в умовах написання дипломної роботи важко зібрати групу експертів по напрямку транспортного аналізу, у тому числі і велосипедного, представників велосипедних організацій, представників муніципалітету, експертів зі створення велосипедної інфраструктури, визначити важливість окремих критеріїв доведеться по іншому. Для цього проаналізовано досвід авторів, що проектували веломережу, на предмет їхньої оцінки наведених критеріїв. Тобто, отримані вагові коефіцієнти були визначені суб'єктивно, тому їх не можна вважати до кінця об'єктивними, що можна вважати недоліком проведеного дослідження. Виконання достовірної процедури методу аналізу ієрархій може підвищити якість результатів.

Після проведення оцінки вулично – дорожньої мережі по трьом критеріям, та визначенні їх вагових коефіцієнтів, можна обрахувати індекс пропозиції. Переважно, індекси пропозиції обраховуються шляхом добутку перемножених вагових коефіцієнтів та критеріїв. Зазвичай отриманий індекс лежить на шкалі від 0 до 1, тобто 0% - 100%, проте може позначати й інші межі. У даній роботі індекс як і критерії лежить у межах від 1 до 5, де 5 найкращий індекс пропозиції, 1 – відповідно найгірший.

Основними вимогами, що поставлені для модельованої мережі є зв'язність, її прямолінійність, безпека та комфорт велосипедистів. Під зв'язністю потрібно розуміти, що будь – яка велосипедна доріжка, що буде обрана велосипедистом повинна з'єднуватися з іншою без розривів, за виключенням доріжок, що підходять до меж міста. В майбутньому велодоріжки поблизу межі міста можуть виходити за його межі для створення районної, обласної, а можливо, і загальнонаціональної велосипедної інфраструктури України. Прямолінійність означає мінімальну

кількість поворотів і зупинок, що змушений робити велосипедист при пересуванні. Оптимальним для створення прямолінійних маршрутів є їх проектування в межах вулиць, що зазвичай природнім чином є досить прямолінійними. Зв'язність та прямолінійність визначаються за допомогою візуальних спостережень та суб'єктивного вибору особи, або групи осіб, що проектують веломережу. Безпека та комфорт велосипедистів в умовах проектування буде реалізована шляхом проведення аналізу пропозиції. Усі три критерії індексу пропозиції, є як критеріями комфорту, так і безпеки.

Транспортна мережа представляє із себе графову модель. Графова модель складається з вузлів (початкових та кінцевих точок дуги) та дуги (ділянки, що починаються та закінчуються у вузлах) (*Зацерковний та інші, 2016*). Вся вулично – дорожня мережа може бути описана як граф. Фактично, велосипедисти можуть використовувати шляхи, що не доступні іншим користувачам транспорту. Вони можуть використовувати стежки, проїзди, переїзди, але при проектуванні велодоріжок в масштабі міста такі ділянки не можуть бути враховані при проектуванні. Включення таких факторів у проектування значно ускладнить його, бо збір даних для такого дослідження буде не раціональним використанням часу. Тому, робота ґрунтується в першу чергу на вулично – дорожній мережі міста. В рамках роботи повинна бути створена графова модель вуличних мереж, паралельно яким йдуть тротуари. Саме на її основі і проходить аналіз пропозиції та пошук найкоротших відстаней. Створення графової моделі дозволить визначати найкоротші маршрути між пунктами відправлення та прибуття в умовах місцевої мережі. Найкоротші маршрути, як і ухил, дозволяють вибирати маршрути, що вимагають менше фізичних зусиль від велосипедиста. Як зазначають деякі автори, користувачі можуть додавати до 34% довжини шляху, щоб їхати по безпечнішому, або ж комфортнішому шляху (*Larsen, & El-Genaidy, 2011*). Хоча відсоток і змінювався в залежності від конкретного маршруту, це говорить про те, що пересічний велосипедист скоріше вибере безпечніший і комфортніший маршрут на протипагу

коротшому. Довжина маршруту все ще важливий фактор, бо за інших рівних умов, будь – який велосипедист вибирає найкоротший маршрут. Тому, вибір найкоротшої відстані в роботі використовується як інструмент прийняття рішень. Найкоротші відстані в роботі прийняті за основу вибору певних сегментів на протипагу інших. Але, повпливати на вибір тих чи інших маршрутів можуть більш значущі фактори, такі як індекс пропозиції, або прямолінійність маршруту. Також найкоротші відстані відіграють ключову роль у визначенні однієї з альтернатив велосипедних маршрутів. Тобто при наявності декількох альтернатив маршрутів з високим індексом пропозиції, і достатньою прямолінійністю, вибір буде зроблений на користь коротшого.

Найкоротші відстані мережі в роботі визначаються за допомогою інструменту програмного забезпечення ArcGIS – Network Analyst (укр. – аналітик мережі). Інструмент має потужний функціонал реалізації мережевого аналізу. Зокрема, може використовуватися для вирішення таких завдань: пошук найкоротших відстаней, визначення найближчого пункту обслуговування, знаходження області обслуговування, оцінка доступності, створення матриць типу джерело – призначення. В ході проведення роботи, використовується можливість пошуку найкоротших відстаней. Для пошуку найкоротших відстаней зі збереженням прямолінійності передбачається процедура введення штрафів за поворот. Така можливість передбачена функціоналом інструменту Network Analyst. Тобто, за кожен поворот вводиться штраф, що означає певний час, який користувач втратить при повороті, що змушує інструмент вибирати найбільш прямолінійні маршрути. Фактично, для велосипедистів поворот є значно впливовішим, в порівнянні з автомобілістами, бо часто може включати переїзд через дорогу. Для вулиць з великою кількістю світлофорів, проектування велодоріжок є недоцільним, бо для переходу через дорогу, як пішоходам так і велосипедистам потрібно довше чекати можливості перейти. Отже, інструмент Network Analyst можна використовувати як

для пошуку найкоротших відстаней зі збереженням прямолінійності, так і просто для найкоротших відстаней.

Велодоріжки не планується створити для конкретної групи користувачів. Велодоріжки повинні забезпечувати певний рівень універсальності, тобто гарно підійти більшості користувачів велосипедних маршрутів міста. Теоретично кожна з соціальних груп за різним цільовим призначенням поїздок може мати власні особливості пересування, проте даних про конкретний розподіл велосипедистів міста відсутній, а тому велодоріжки будуть проектуватися без огляду на конкретну групу. Огляд літератури не дає однозначної відповіді про рівень впливу відмінностей певних груп велосипедистів, та їх вплив на рух, та його особливості, тих чи інших груп. Напевно єдина група, що може хоч трохи відчутно відрізнитися від інших, це досвідчені велосипедисти, або велоспортсмени, що можуть мати вищі швидкісні показники руху. Навіть за наявності даних, аналіз користувачів за їх відмінними характеристиками є процедурою з великою кількістю підводних каменів, а в умовах дефіциту або відсутності таких даних тільки зашкодить точності дослідження.

Аналіз попиту проводиться ґрунтуючись на даних про можливі потреби містян, що пересуваються велосипедами. Аналіз попиту описує потенційний попит з пункту відправлення до пункту призначення. Відрізняється від аналізу пропозиції, який проводиться для лінійних об'єктів (сегментів мережі), тим, що може проводиться для площ (територій міста). Може включати різноманітні критерії зацікавленості містян, наприклад школи, зони рекреації, зони підприємств або офісної забудови, враховувати рівень злочинності певної території, тощо. Також може бути представлений у форматі індексу, для кожного фактору якого знаходять його відносну важливість, та нормалізують, привівши таким чином до загальної системи розрахунку. Визначення відносної пріоритетності того чи іншого фактору є вкрай важливим саме для індексу попиту, на відміну від індексу пропозиції. Це обумовлено тим, що для аналізу попиту можуть враховуватися не тільки позитивні

фактори (наявність парків, надання послуг та продаж товарів), а й негативних (наприклад, криміногенні умови території, або наявність підприємств, що можуть створювати викиди шкідливих речовин). Наприклад, зрозуміло, що наявність паркової зони буде мати значно меншу важливість, в порівнянні із забрудненим токсинами повітрям. В результаті аналізу попиту отримуються значення, що означають наскільки та чи інша територія, або сегмент мережі відповідає потребі прокладення велосипедного маршруту (*Rybarczyk & Wu, 2010*).

Відповідно до того, що для м. Біла Церква невідомі точні дані про розселення містян, розташування об'єктів надання товарів та послуг, недоцільно використовувати індекс для розрахунку попиту. Неможливість визначити дані як абсолютно точні не дозволяє опиратися на аналіз попиту у тій же мірі об'єктивно, що і на аналіз пропозиції. Проте попит може розглядатися як фактор підтримки прийняття рішень, наприклад як кінцева ціль при пошуку найкоротших маршрутів, починатися які можуть в будь-якому житловому районі. Також місця привабливості попиту, або атрактори попиту, будуть означати потенційно значне навантаження на велодоріжки, що будуть знаходитися поблизу, або проходити прямо по таким територіям. Таким чином можна висунути гіпотезу, що для територій з прогнозованим високим навантаженням, варто ущільнити мережу велодоріжок додатковими велосипедними маршрутами.

Фінальним етапом створення мережі велосипедних доріжок є їх проектування. На основі отриманих даних проведення аналізу попиту та пропозиції, вибираються оптимальні маршрути, що відповідають вимогам. Ключовим в побудові є індекс пропозиції, що зображає основу альтернативних маршрутів, що можуть бути побудовані. У відповідності до прямолінійності та найкоротшої відстані вибирається найкраща з існуючих альтернатив. У результаті отримується мережа велосипедних доріжок в масштабах всього міста.

Додатковим етапом для побудованої системи велодоріжок, є аналіз її відповідності вимогам. Для побудованої мережі може проводитися просторовий

аналіз, для визначення її зони обслуговування. Зона обслуговування велодоріжки означає відстань до об'єктів, якими можуть користуватися потенційні велосипедисти. Менша потенціна відстань означає зниження потреби велосипедистів пересуватися територіями, що не обладнані велодоріжками. Наприклад, об'єктами зони обслуговування можуть бути житлові будинки. Як вже зазначалося, у відповідності до якісних характеристик мережі, що вимагає PRESTO - щільність мережі основних сполучень має гарантувати, щоб 90% жителів проживали не далі, ніж 200 м від основного сполучення (*Urbanczyk, 2010*). Процедура просторового аналізу змодельованої мережі велосипедних маршрутів дає можливість додатково підтвердити правильність такого моделювання.

Виконання дослідження проводиться в декілька етапів: збір даних, що стосуються предмета та галузі дослідження; визначення та оцінка критеріїв аналізу пропозиції і попиту, аналіз попиту та пропозиції, моделювання мережі велосипедних маршрутів, аналіз пропонованої мережі. Блок – схема, що описує методикку роботи представлена на рис. 2.1

Отже, мережа велосипедних шляхів повинна відповідати умовам зв'язності прямолінійності, безпеки та комфорту велосипедистів. Для проектування мережі велосипедних маршрутів доцільно використовувати: методи аналізу попиту та пропозиції, методу аналізу ієрархій; графову модель; методу пошуку найкоротших відстаней мережі (*Network Analyst*); обґрунтування аналізу попиту; вимоги до модельованої мережі; зони обслуговування модельованих маршрутів.. Використання описаної методики може послугувати основою створення мережі велосипедних маршрутів інших міст, або ж критичного аналізу вже існуючих. Описана методика добре підходить населеним пунктам, для яких збирається мала кількість просторових даних.

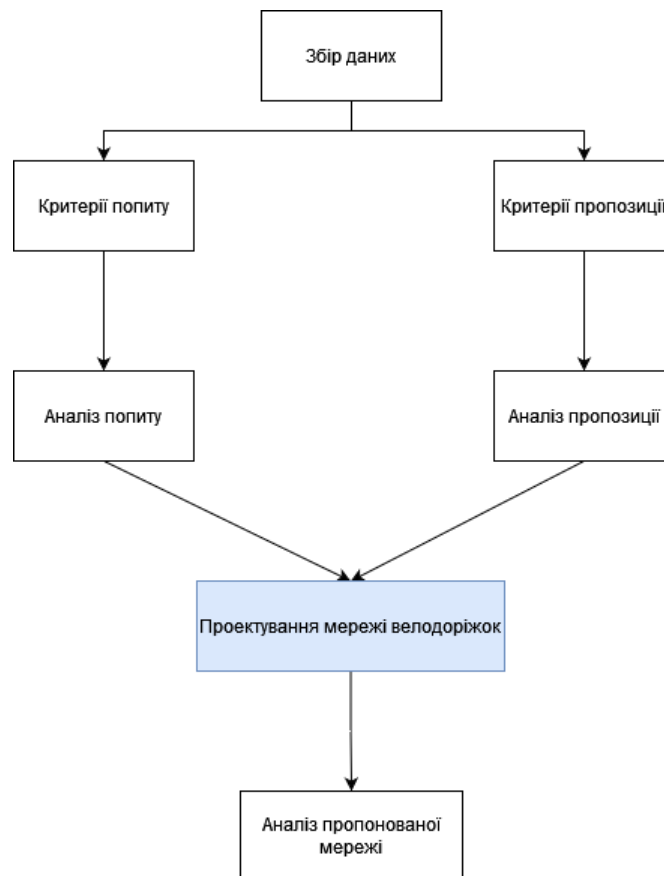


Рис 2.1 – Блок – схема методики дослідження (розроблено автором)

2.2 Огляд джерел просторових даних для моделювання велосипедних маршрутів

Для роботи було використано дані, що знаходяться у відкритому доступі. Зокрема, веб – сервіс геологічної служби США (англ. USGS - United States Geological Survey), для завантаження необхідних файлів. Користувачі сервісу можуть використовувати інтерактивну карту або текстовий пошук, щоб отримати супутникові зображення Landsat, радіолокаційні дані, дані UAS, дані цифрової моделі рельєфу, аерофотознімки, супутникові дані Sentinel, деякі комерційні супутникові зображення, включаючи IKONOS і OrbView3, дані про земний покрив. Більшість даних, які надає сервіс є безкоштовними, проте деякі потребують попередньої обробки, за яку необхідно заплатити. Після того, як хтось із користувачів замовив необхідні файли, вони викладаються у веб – сервіс для безкоштовного завантаження (SRTM, 2023).

Користуючись сервісом геологічної служби США, було завантажено файли SRTM (англ. USGS - Shuttle Radar Topography Mission) - міжнародний науковий проект зі створення цифрової моделі висот Землі. Дані SRTM можна використати для побудови цифрової моделі рельєфу області дослідження (SRTM, 2023).

Використано програмне забезпечення SASPLANET для завантаження картографічних матеріалів у вигляді космічних знімків досліджуваної території. Знімки, що надає програма мають достатнє просторове розрізнення для векторизації певних елементів вулично – дорожньої мережі, або проведення аналізу (SASGIS, 2023).

Дані для визначення критеріїв індексу пропозиції, а саме якості покриття та ширини смуги були визначення за допомогою візуальних спостережень на місцевості. Дані, зібрані за допомогою спостережень були перенесені до програмного забезпечення ArcGIS, для їх подальшого опрацювання.

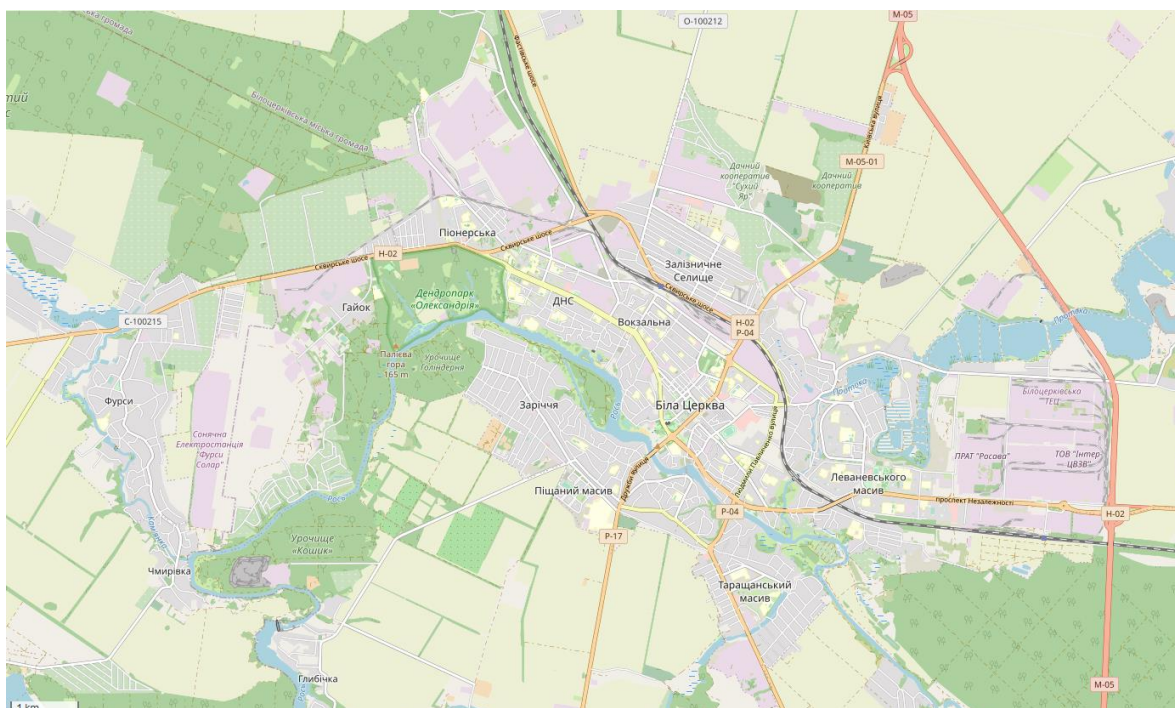


Рис. 2.2 - Місто Біла Церква на карті(використано картооснову OpenStreetMap)

Також було використано інтернет - сервіс OpenStreetMap (рис. 2.1), з якого було завантажено полігональні об'єкти будинків, магазинів, лікарень та шкіл з атрибутивною інформацією, і мережу основних доріг та вулиць міста. OSM - це відкритий волонтерський проект, геопросторові дані якого, можуть

використовувати та змінювати всі охочі. Дані OSM є досить актуальними, бо своєчасно змінюються волонтерами, що добре знають місцевість яку змінюють.

За допомогою програмного забезпечення QGIS, виконувалося завантаження векторних шарів з OSM. Це стає можливим за допомогою потужного функціоналу QGIS, який розвивається небайдужими розробникам, що створюють плагіни, які може використовувати будь - який охочий. Одним з таких плагінів є QuickOSM (рис. 2.2).

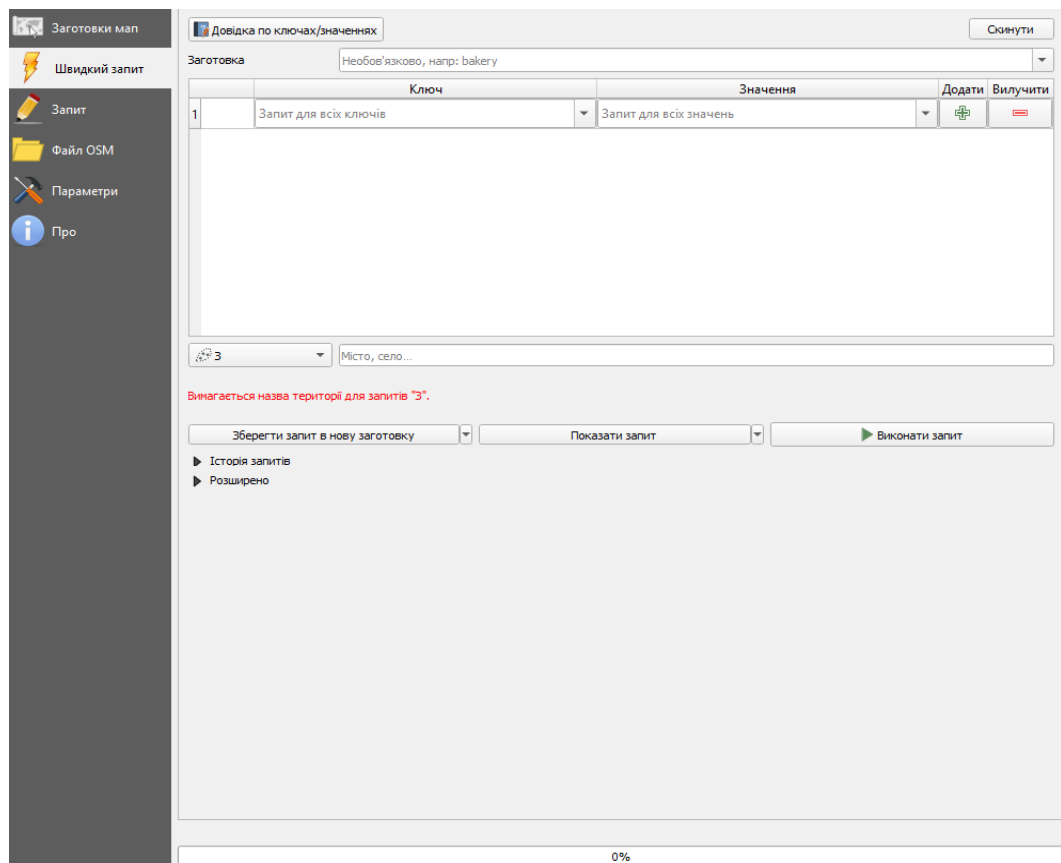


Рис. 2.3 – Інтерфейс плагіну QuickOSM (використано програмне забезпечення QGIS)

Плагін QOSM дозволяє завантажити з серверів пошарово векторні дані щодо вулично – дорожньої мережі житлових будинків. В подальшому, працювати з цими шарами, можна як у самому програмному забезпеченні QGIS, так і зберегти їх, або ж експортувати до ArcGIS. Під час проведення робіт, шари були завантажені за допомогою QGIS, та експортовані до програмного забезпечення ArcGIS. Робота по

створенню карт була проведена за допомогою програмного забезпечення ArcGIS версії 10.4.1 та QGIS версії 3.24.2.

Отже, методика роботи включає два види аналізу: попит та пропозиція. Обґрунтовано використання критеріїв індексу пропозиції. Методикою описано: використання методу аналізу ієрархій, що відноситься до системного аналізу; графової моделі; методу пошуку найкоротших відстаней мережі, за допомогою інструменту Network Analyst спеціального програмного забезпечення ArcGIS; обґрунтування аналізу попиту; вимоги до модельованої мережі; зони обслуговування модельованих маршрутів. Дані для проведення дослідження отримано з відкритих джерел, а саме геологічної служби США (USGS), веб – картографічного сервісу з волонтерськими даними OpenStreetMap, програмного забезпечення SASPLANET.

РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ З МОДЕЛЮВАННЯ ВЕЛОДОРІЖОК М. БІЛА ЦЕРКВА

Результати виконання попередніх етапів дослідження дозволяють перейти до практичних кроків реалізації проектування велодоріжок м. Біла Церква. Для початку необхідно розглянути основу структури проведення роботи – вулично-дорожню мережу міста Біла Церква. Вулично-дорожня мережа міста зображена на рис. 3.1, та є основою проведення аналізу.

Більшість створених карт мають масштаби 1:90000, що дає оглядовість на рівні всього міста. Такий масштаб дозволяє оцінити вулично-дорожню систему м. Біла Церква в цілому, що важливо для побудови зв'язної мережі велосипедних доріжок.

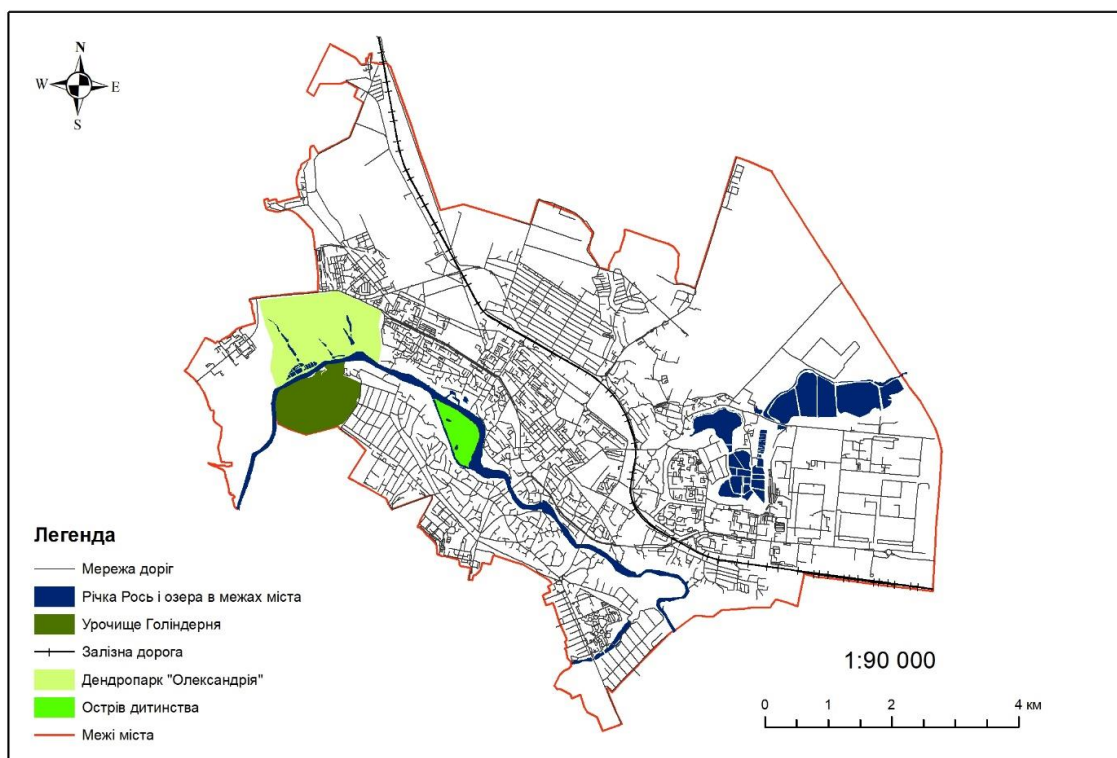


Рис. 3.1 – Вулично – дорожня мережа м. Біла Церква (розроблено автором на основі даних OpenStreetMap)

Одним з основних етапів проведення дослідження є аналіз попиту. Аналіз попиту проводиться у відповідності до орієнтування на прогнозовані потреби

містян. Змоделювати потреби звичайних користувачів велоінфраструктури можна, зобразивши об'єкти продажу товарів та надання послуг. Висока концентрація таких об'єктів, говорить про високий попит на таких ділянках міста. Можна висунути гіпотезу, що потенційні споживачі товарів та послуг захочуть використати велосипед для комерційної поїздки. Але для цього потрібна якісна велосипедна інфраструктура. При наявності такої інфраструктури, навантаження на окремі маршрути може бути значним, особливо на територіях з найвищою концентрацією надання товарів та послуг. Тобто, це означає, що на таких територіях, мережа велосипедного транспорту повинна бути ущільнена - додано додаткові маршрути. Ґрунтуючись на даних OSM про магазини, було створено карту розподілу надання товарів та послуг (рис. 3.2).

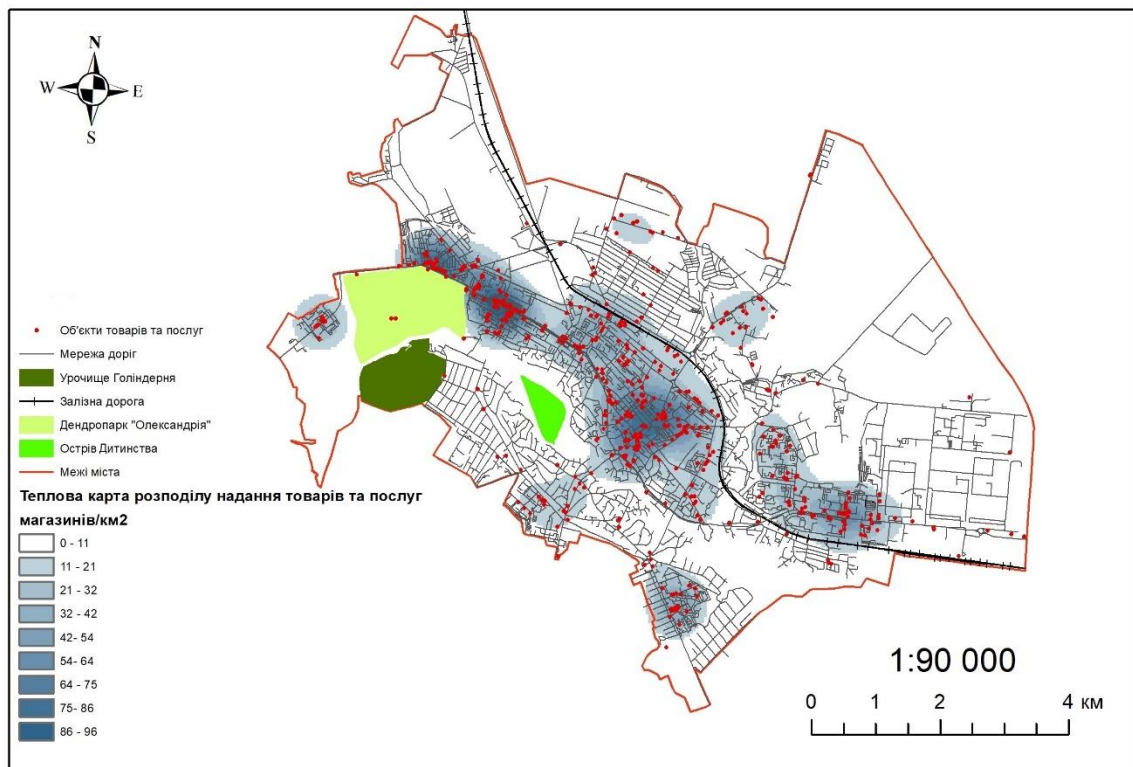


Рис. 3.2 – Розподіл надання товарів та послуг (розроблено автором на основі даних OSM)

Як можна побачити на рис. 3.2 основна частина надання товарів та послуг знаходиться в центральній та західній частині міста. Можна припустити, що саме ці

території будуть цільовими для великої кількості містян, що користуються велосипедом.

Також, надважливим фактором аналізу попиту, є попит на суспільні об'єкти. До них можуть відноситися школи, лікарні, банки, міська адміністрація тощо. Рекомендовано, щоб до таких об'єктів йшли прямі маршрути, або ж вони знаходилися близько до найближчих велосипедних маршрутів. При плануванні велосипедних маршрутів, міська адміністрація повинна бути зацікавлена у покращенні доступності суспільних об'єктів для велосипедистів, бо це, не тільки піднімає рівень життя громадян, а й підвищує привабливість міста в цілому.

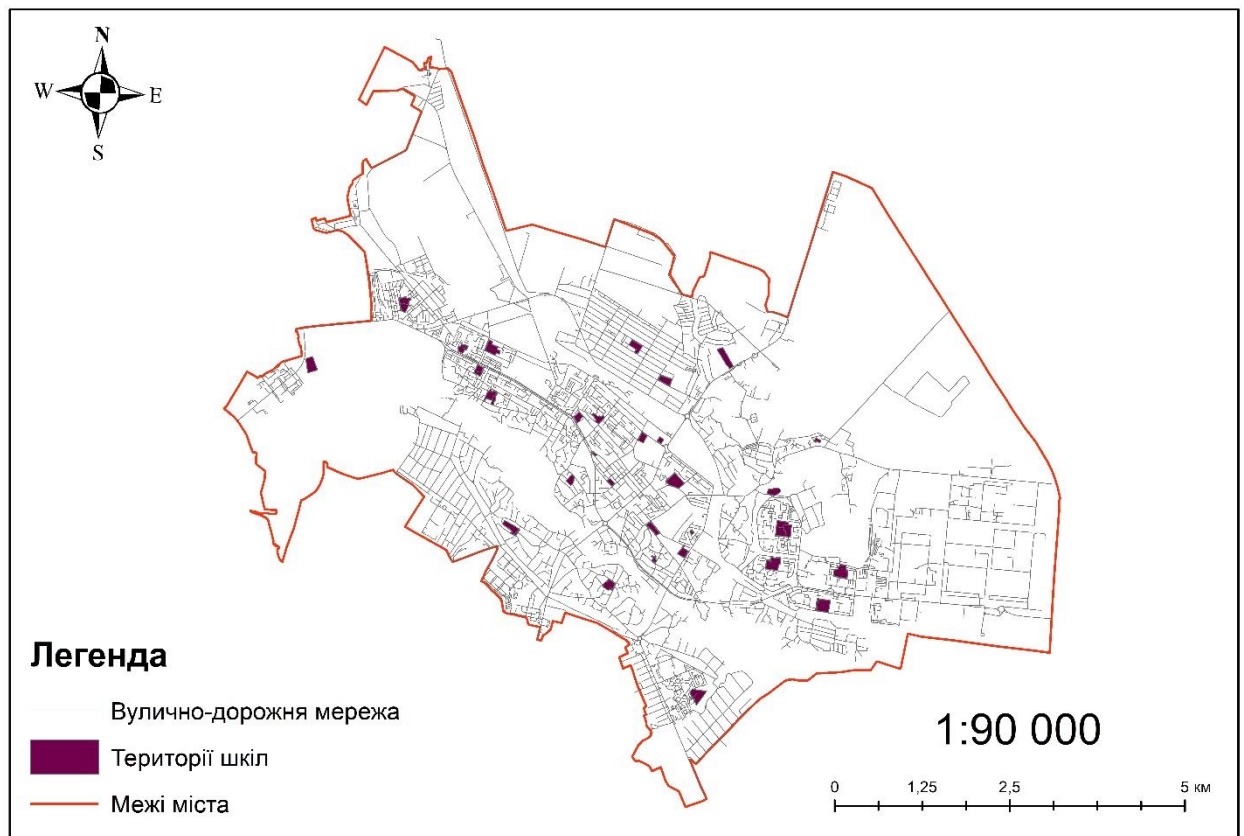


Рис. 3.3 – Території шкіл в межах міста (розроблено автором)

У даній роботі врахований фактор розташування шкіл при проектуванні велосипедних доріжок. Школи, що зображені на рис 3.3, повинні мати прямі маршрути велотранспорту, але без узгодження з міською адміністрацією планувати велосипедні маршрути напряму до якихось об'єктів недоцільно. Як вже

зазначалося вище, робота орієнтується на проектування велосипедних маршрутів для максимально широкого кола користувачів. Тому, вирішено планувати маршрути так, щоб вони проходили поблизу шкіл. В майбутньому, при впровадженні пропонованих велосипедних маршрутів, це дасть можливість муніципалітету з мінімальними витратами зв'язати велосипедні маршрути із школами напряму. Такий попит зображає потребу у велосипедних маршрутах для цільових поїздок в школу.

Варто розглянути загальний попит на велосипедну інфраструктуру в межах міста (рис. 3.4). Загальний попит формується з комплексу цільових території прогнозованих поїздок. У широкому сенсі загальний попит зображає територію міста, яку варто розглядати для моделювання велосипедних маршрутів.

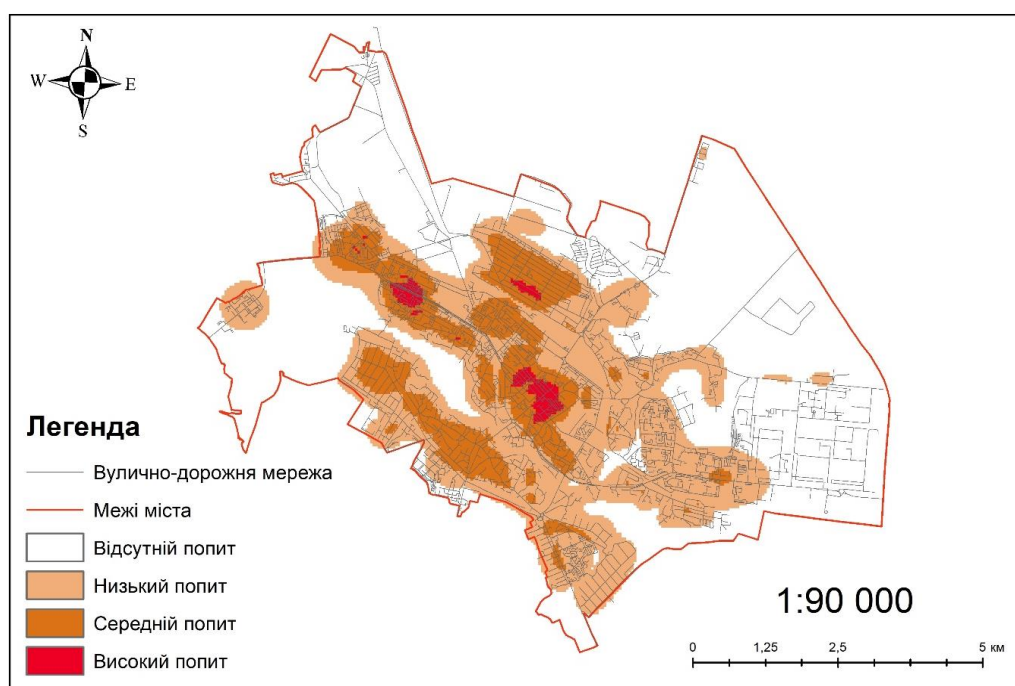


Рис. 3.4 – Загальний попит на велосипедну інфраструктуру (розроблено автором на основі даних OSM)

Більшість територій, для яких відсутній попит є промисловими зонами, тобто фактично вони можуть мати високий попит на велосипедну інфраструктуру, але визначити це досить складно. Зазвичай промислові зони огорожені та мають заїзд через вхід на територію підприємства, що означає, що тільки ці точки входу і варто включати в дослідження. Така ж ситуація і з дендропарком «Олександрія», що має

тільки один основний в'їзд, та декілька додаткових, через які велосипедисти і будуть потрапляти на його територію. Зони, що мають попит, але відокремлені від розподілу загального попиту повинні бути зв'язані з мережею велодоріжок. Загальний попит визначений за допомогою факторів попиту: попит на товари та послуги і щільності житлових будинків. Фактично це території відправлення від житлового будинку та прибуття до магазину, або ж навпаки. Це дозволяє спрогнозувати поведінку звичайних користувачів, які виконують комерційні поїздки. При створення карти використано зважене накладання, що використовує значення відносної важливості для того чи іншого фактору, при накладанні двох растрових зображень. Для цього, використано програмне забезпечення ArcGIS, що має вбудовану функцію для проведення зваженого накладання. У даному випадку важливість обох факторів рівнозначна, вони однаково значущі для потенційних велосипедистів за умови відсутності точніших даних про місцеве населення.

Для дослідження попиту на комерційні поїздки в дослідження включено попит на об'єкти надання товарів та послуг. Також, використано дані про розташування шкіл, що є цільовими об'єктами для поїздок в школу. Імовірно, загальний попит повинен вказувати на попит більшості з можливих користувачів. На практиці, він вказує на попит для комерційних поїздок, а також, можливо, на робочі та рекреаційні поїздки. В дослідження не включено дослідження окремо робочих поїздок, через те, що місцями роботи можуть бути потенційно будь-які території, що розташовані в межах всього міста. Натомість для рекреаційних поїздок можуть використовуватися хоч які ділянки велосипедної мережі, тому розглядати їх варто тільки для територій, що будуть використовуватися виключно для рекреаційних поїздок. До таких територій можуть відноситися паркові зони та зони відпочинку. Отже, попит на велосипедну інфраструктуру зображає потреби користувачів у використанні велосипедних доріжок, що може допомогти у проектуванні велосипедних маршрутів.

Наступним кроком є аналіз придатності шляхів для створення велосипедних маршрутів. Дослідники пропонують достатню кількість варіацій індексів придатності шляхів для проектування мережі велосипедних доріжок. Зазвичай індекси придатності змінюються відносно специфічних умов області дослідження, або наявних даних. Для проектування велосипедних доріжок для міста Біла Церква, вибрано критерії: ухил, якість покриття, ширина смуги.

Постає питання визначення важливості того чи іншого критерію. Так, можна з впевненістю відзначити, що критерій ухилу, є менш важливим за критерій якості покриття, або ж ширини смуги. Для визначення значущості факторів використано системний аналіз. Зокрема напрямок методів аналізу ієрархій, а саме – створення матриці попарних порівнянь. Таким чином кожен критерій отримує свій ваговий коефіцієнт, тобто його важливість відносно інших.

Кожен критерій отримав бали від 1 до 5. Бали отримуються у відношенні якості прояву характеристик певного критерію, і розподіляються у сторону їх збільшення, тобто ділянка мережі з вищим балом більше підходить для проектування велосипедного маршруту. Детальніше про розподіл балів за критерієм, та їх вагові коефіцієнти можна дізнатися з таблиці 3.1.

Критерій	Параметри критерію	Бали	Вага критерію	Відсоток важливості %
Ухил %	0 %	5	0.27	27
	0 - 2.1%	4		
	2.1– 4%	3		
	4.1 – 6%	2		
	6% >	1		
	Гладке, не пошкоджене покриття	5		
		4		

Якість покриття	Рівне покриття, комфортне пересування	3	0.33	33
	Покриття з дефектами	2		
	Покриття більше 50% якого пошкоджено	1		
	Покриття більше 75% якого пошкоджено			
Ширина смуги	Достатня (> 1,6м для одностороннього)	5	0.4	40
	Мінімально можлива (> 1,25м для одностороннього)	4		
	Змішане використання (пішоходи та велосипедисти)	3		
	Недостатня ширина тротуару для виділення смуги	2		
	Неможливо виділити смугу	1		

Таблиця 3.1 – Таблиця параметрів критеріїв та їх вагових коефіцієнтів (розроблено автором)

Ухил визначається як крутизна підйомів та спусків кожного сегменту дороги.

Для його визначення використовується формула 3.1:

$$\text{Slope} = \frac{\text{Max_val_x} - \text{Min_val_x}}{\text{Len_x}} \quad (3.1)$$

де, Slope – значення ухилу у відсотках;

Max_val_x – найбільше значення висоти ділянки мережі x;

Min_val_x – найменше значення висоти ділянки мережі x;

Len_x – довжина ділянки мережі x.

Значення балів, відносно відсотку ухилу можна побачити у таблиці 3.1. Для визначення довжини сегментів використовувалася функція Calculate Geometry у

програмному забезпеченні ArcGIS. Значення висоти отримані з SRTM, що завантажений з веб сервісу геологічної служби США.

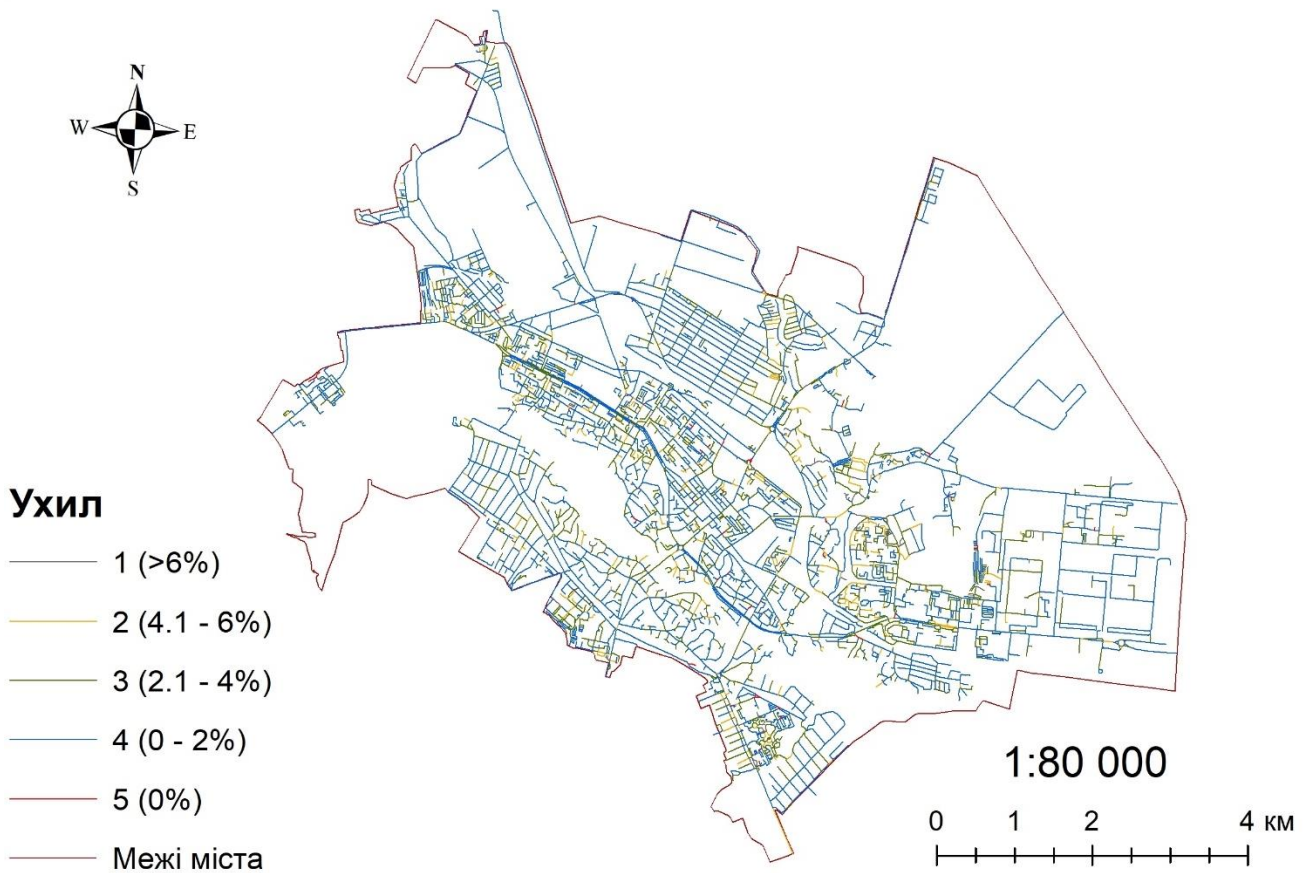


Рис. 3.5 – Бали присвоєні критерію ухилу (розроблено автором на основі даних SRTM)

Якість покриття (рис. 3.6) є характеристикою якості тротуарного, або ж дорожнього покриття. Переважно, паралельно автодорогам йдуть тротуари, якість поверхні яких і оцінювалася. Проте, також у місті є дороги без тротуарів, які до них прилягають, тому оцінці підлягають і такі дороги. Зрозуміло, що при русі велосипедиста спільно з автомобілістами, останні загрожують його безпеці, але, що стосується небезпек від якості покриття, такі дороги можуть отримувати досить хороші бали. У даній роботі небезпеки від автомобілістів враховуються через вищу важливість критерію ширини смуги. Дороги без тротуару одразу отримують найнижчий бал критерію ширини смуги через відсутність тротуару.

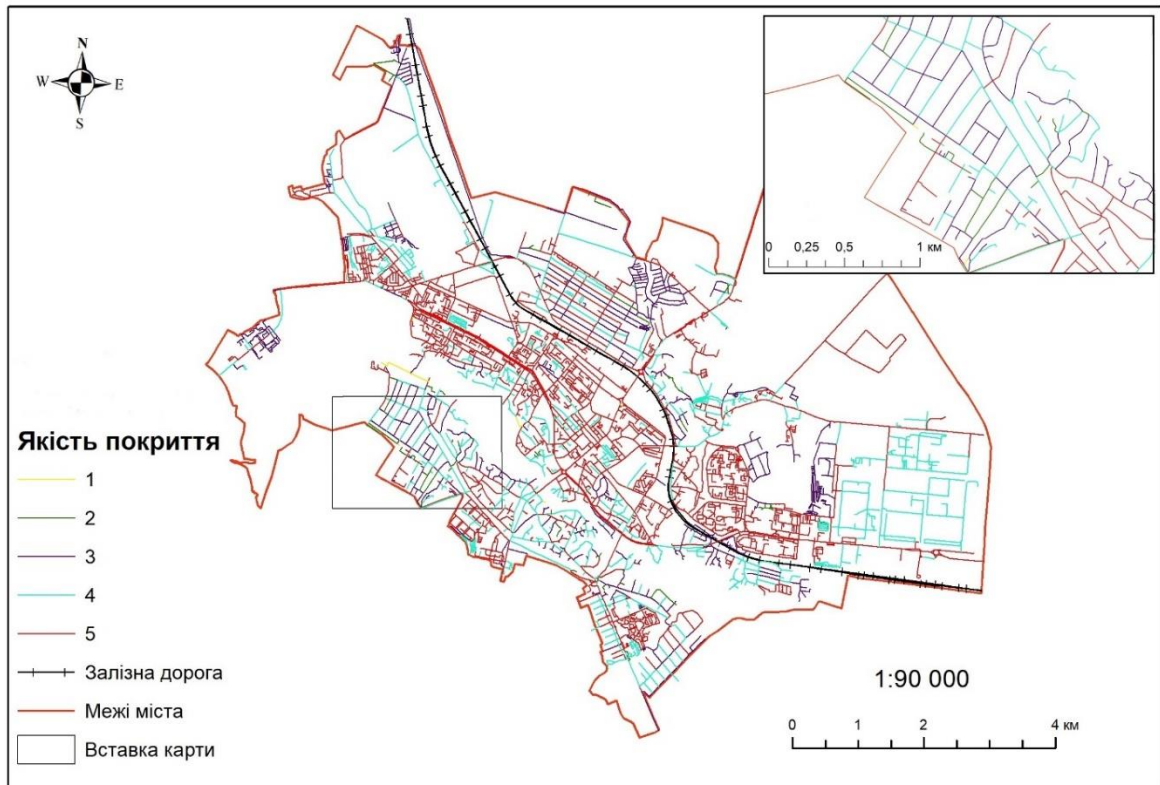


Рис. 3.6 – Бали присвоєні критерію якості покриття (розроблено автором)

Розподіл балів за критерієм якості поверхні буде мати наступний вигляд:

1. Шляхи, що не мають сталого покриття, пересування по яким неможливе, або майже неможливе. Більше 75% усієї поверхні має пошкодження. Дефекти можуть включати вибоїни, тріщини, ями, калюжі;
2. Шляхи, пересування по яким можливе, проте воно вкрай ускладнене фізичними факторами, Більше 50% усієї поверхні має пошкодження. Дефекти можуть включати вибоїни, тріщини, ями, калюжі, латки, шви;
3. Шляхи, по яким можна пересуватися, але для цього витрачається значна кількість сил, також знижена можливість швидкісного пересування. Дефекти можуть включати колійність, тріщини, латки;
4. Шляхи, по яким можна комфортно пересуватись, хоча воно й не ідеально гладке, бо може мати ознаки погіршення поверхні;
5. Шляхи з рівномірним непошкодженим покриттям, що є достатньо гладкими, і по яким можна вільно пересуватися на високій швидкості.

Ширина смуги означає оцінку придатності існуючих шляхів, для можливого виділення окремої смуги руху велосипедистів. Оцінка ширини смуги, переважно, орієнтувалася на тротуари, а вже потім автомобільні дороги. Частіше за все оцінюються тротуари, що зможуть вмістити смугу велосипедистів вказаної ширини й смугу достатньої ширини для пересування тротуаром. Тобто новостворена велосипедна інфраструктура не повинна шкодити пішохідній. Теоретично будь який тротуар можна виділити повністю під рух велотранспорту, але тоді, рух пішоходів значно ускладнюється, або ж взагалі, унеможлиблюється. Міська інфраструктура повинна покращуватися для всіх учасників руху, тому підвищувати якість користування для однієї групи за рахунок іншої неправильно. Компромісний підхід до оцінки ширини смуги є оптимальним за відсутності інформації про кількість ресурсів, що готове виділити місто для створення велоінфраструктури. Отож, при оцінці, орієнтація відбувається на некритичні зміни вуличної мережі, що принесуть покращення. З огляду на проблеми користування велосипедом саме в Україні - проблеми законодавчої бази, а також безпеки при русі по окремій смузі автодороги, небагато велосипедистів згодні на таке сусідство (Яшкіна, 2021). Також, у відповідності до законодавства, пересуватися автодорогами можуть лише особи, що досягли 14 – річного віку, що теж накладає обмеження на певні групи користувачів велосипедної інфраструктури (Про Правила дорожнього руху, 2001). Таким чином, можна зазначити, що найкращим варіантом є оцінювання ширини смуги на основі тротуарів. Вийнятком можуть бути лише дороги у межах мікрорайонів з приватною забудовою, без асфальтованого покриття, де автомобілі рухаються з низькою швидкістю, а самі дороги, переважно, не мають визначеної ширини. Ймовірно, такі дороги можуть містити виділену велосипедну смугу при проектуванні велосипедних шляхів. Можливі похибки при оцінці нівелюються критерієм якості покриття, який для таких доріг має низько – середні бали. За основу класифікації ширини смуги як достатньої, чи не достатньої для руху, взято

концепцію розвитку велосипедної інфраструктури в місті Києві (*Шукляр та ін., 2017*). Розподіл балів критерію наступний:

1. Ділянки мережі для яких неможливе виділення окремої смуги велосипедного руху, зокрема більшість доріг без тротуару отримали такий бал, через вкрай низьку безпеку пересування велосипедистів в умовах змішаного велосипедного та автомобільного транспорту. В умовах дорожньої системи складно виділити окрему велосипедну смугу прямо на автомобільній дорозі, через те, що дороги, зазвичай, будуються з огляду на державні будівельні норми, що орієнтовані на проектування доріг, з шириною, достатньою для пересування лише автомобілем.
2. Ділянки мережі, що отримали такий бал, проходять переважно тротуарами з невеликою шириною, тобто пішоходи та велосипедисти постійно конфліктують за рух у смузі. Через те що велосипедистів менше ніж пішоходів, велосипедисти постійно вимушені поступатися дорогою, або ж оминати перепони руху. Зрозуміло, що за таких умов, безпека та комфорт пересування залишається на низькому рівні;
3. Ділянки мережі, що мають змішане використання з пішоходами і достатню ширину для відносно вільного їх оминання при русі велосипедиста. Зрозуміло, що при цьому говорити про безпеку як пішоходів, так і велосипедистів досить складно. Так само, швидкість руху при такому використанні постійно змінюється, що відповідно негативно впливає як на якість, так і на комфорт руху;
4. Ділянки мережі, що отримали такий бал мають високий потенціал проектування на них велосипедних доріжок. Такі сегменти можуть забезпечити відокремлену смугу для одностороннього руху велосипедиста у 1,25 метра. Теоретично, такі ділянки вже можуть використовуватися для комфортного пересування зі сталою швидкістю без зупинок;

5. Найвищий бал критерію отримали шляхи, що можуть забезпечити ширину смуги для окремого пересування велосипедистів в 1,6 м для одностороннього руху. Також включає існуючі велодоріжки в межах міста.

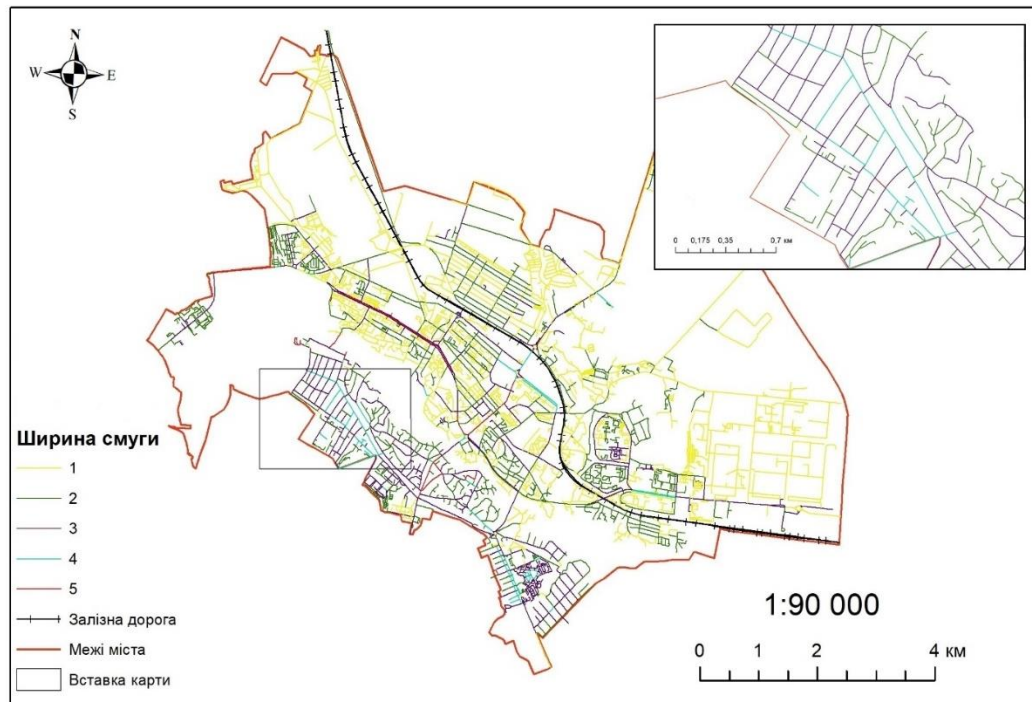


Рис. 3.7 – Бали присвоєні критерію ширини смуги (розроблено автором)

Зібравши дані критеріїв індексування, обраховано індекс пропозиції. Індекс пропозиції формується з трьох критеріїв, і має розподіл балів від 1 до 5. Відповідно, чим кращий бал, тим краще певний сегмент дороги підходить для проектування велодоріжки. Для розрахунку індексу придатності використовується формула 3.2:

$$\text{Supply_index} = \text{Slope} \cdot \text{weight} + \text{coating_quality} \cdot \text{weight} + \text{band_width} \cdot \text{weight} \quad (3.2)$$

де, Supply_index – індекс пропозиції кожної ділянки мережі;

Slope – схилення ділянки мережі;

weight – ваговий коефіцієнт;

coating_quality – рівень пошкоджень конкретної ділянки мережі;

band_width – придатність ділянки мережі для виділення окремої смуги велосипедистів.

Вагові коефіцієнти грають важливу роль у відповідності створеної моделі до реальної ситуації. Використання більшої кількості критеріїв може дати кращу

відповідність оцінки окремого сегменту мережі вулично – дорожньої системи міста. Найважливішим критерієм визначено ширину смуги, з важливістю в 40%. Важливість якості покриття 33%, а ухилу, відповідно, 27%. Отримуємо індекс придатності на основі даних про який побудовано карту (рис. 3.8), що показує отримані індекси пропозиції вулично – дорожньої мережі м. Біла Церква для проектування велосипедних маршрутів на її основі. Кожен отриманий бал індексу пропозиції вказує на придатність ділянок мережі для проектування велодоріжок (таблиця 3.2).

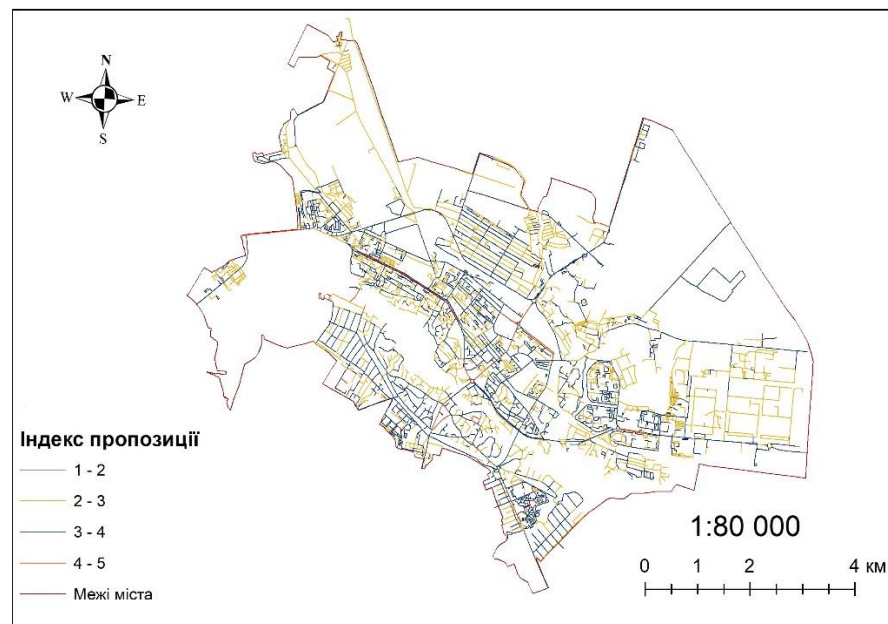


Рис. 3.8 – Загальний індекс пропозиції (розроблено автором)

Значення індексу	Придатність
4-5	Найбільш придатні ділянки для проектування велосипедних доріжок (Найкраще підходять для створення маршрутів 1 та 2 класу, але можуть включати будь які маршрути)
3-4	Висока придатність ділянки для проектування велосипедних доріжок (найбільше підходять для створення маршрутів 2 класу, й нижчих класів)

2-3	Середня придатність ділянки для проектування велосипедних доріжок (Підходять для створення під'їздних маршрутів, або ж в окремих випадках другорядних)
1-2	Низька придатність ділянки для проектування велосипедних доріжок (Слабко підходять для створення під'їздних маршрутів)
0-1	Найменш придатні ділянки для проектування велосипедних доріжок (Взагалі або майже не підходять для створення велосипедних маршрутів, можливо потребують ремонту для використання у велосипедній інфраструктурі)

Таблиця 3.2 – Таблиця придатності (розроблено автором)

Після проведення аналізу попиту та пропозиції для м. Біла Церква, можна переходити безпосередньо до проектування велодоріжок. Мережа велосипедних маршрутів повинна моделюватися у відповідності до вимог. Основу велосипедних маршрутів складають маршрути першого та другого класу. велосипедних маршрутів першого класу (рис. 3.8) повинні проходити територією всього міста, та простягатися на всю його довжину. Вони, ієрархічно знаходяться на вищому рівні, й від них простягаються маршрути нижчих класів. Для міста Біла Церква йдуть паралельно дорогам регіонального та національного значення у межах міста. Також, до першого класу включені існуючі велосипедні маршрути в межах міста (розташування існуючих велосипедних маршрутів можна дізнатися у підпункті 1.2). Веломаршрути, як першого, так і другого класу обмежені областями попиту на велосипедні маршрути, що означає, що вони не охоплюють все місто, а тільки зони найвищої зацікавленості в такій інфраструктурі. На сьогодні, місту не доцільно використовувати кошти на облаштування маршрутів на територіях, що будуть мало задіяні у використанні велодоріжок.

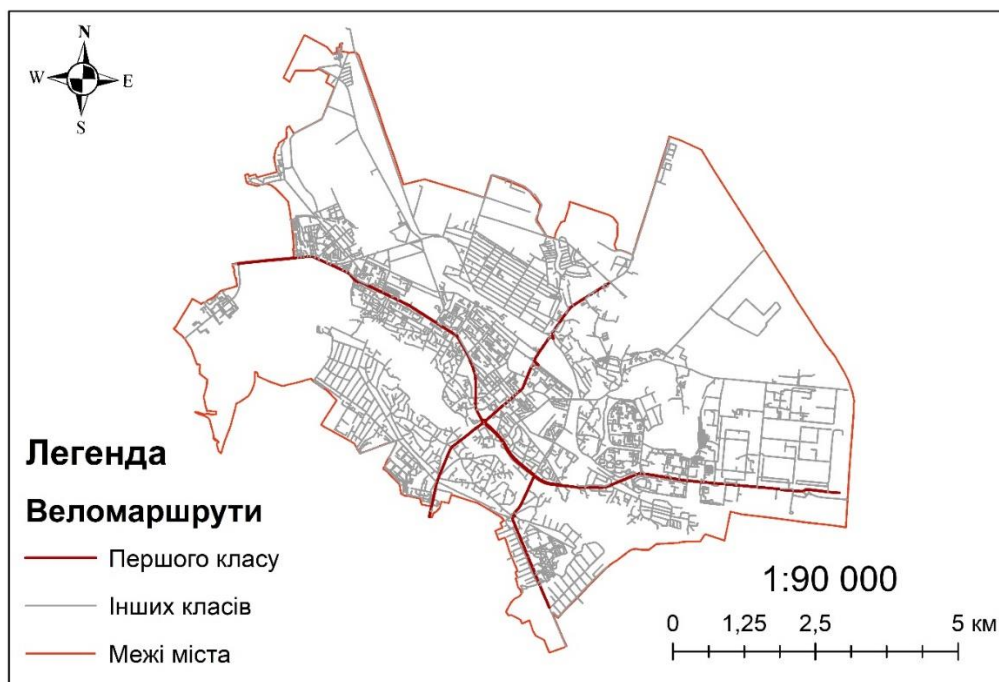


Рис. 3.9 – Велосипедні маршрути першого класу (розроблено автором)

Основними критеріями вибору маршрутів першого класу є високий індекс пропозиції для таких ділянок, достатня протяжність та прямолінійність на рівні всього міста, наявність вже існуючих велосипедних маршрутів, високий попит на територіях, якими вони проходять. Проте, необхідно зазначити, що деякі сегменти вулично - дорожньої мережі, які запропоновано використати в якості веломаршрутів мають посередній індекс пропозиції (від 3 балів), але, тим не менш, використані, щоб зберегти прямолінійність та зв'язність загальної мережі велосипедних маршрутів. Описані вище ділянки найчастіше мають поганий індекс через критерій ухилу, що безумовно впливає на велосипедистів, але не настільки критично, в порівнянні з довжиною обхідного маршруту. Використання маршрутів, що обходять ділянки з ухилом недоцільно економічно, та неоднозначно з точки зору комфорту та безпеки велосипедиста, проїжджати довгими маршрутами з більшою кількістю поворотів може бути навіть фізично більш ресурсозатратним.

До другого класу відносяться маршрути, що повинні поєднуватися з маршрутами першого класу в загальну мережу. Маршрути повинні рівномірно покривати всю територію міста та відповідати основним вимогам. Також, існують

маршрути третього класу, або так звані під'їзні маршрути. Частіше за все не проектується як окремий клас, і складаються з маршрутів, що просто слугують з'єднанням з маршрутами вищого класу. На практиці, маршрутами третього класу є будь які маршрути, що не відносяться до вищих класів.

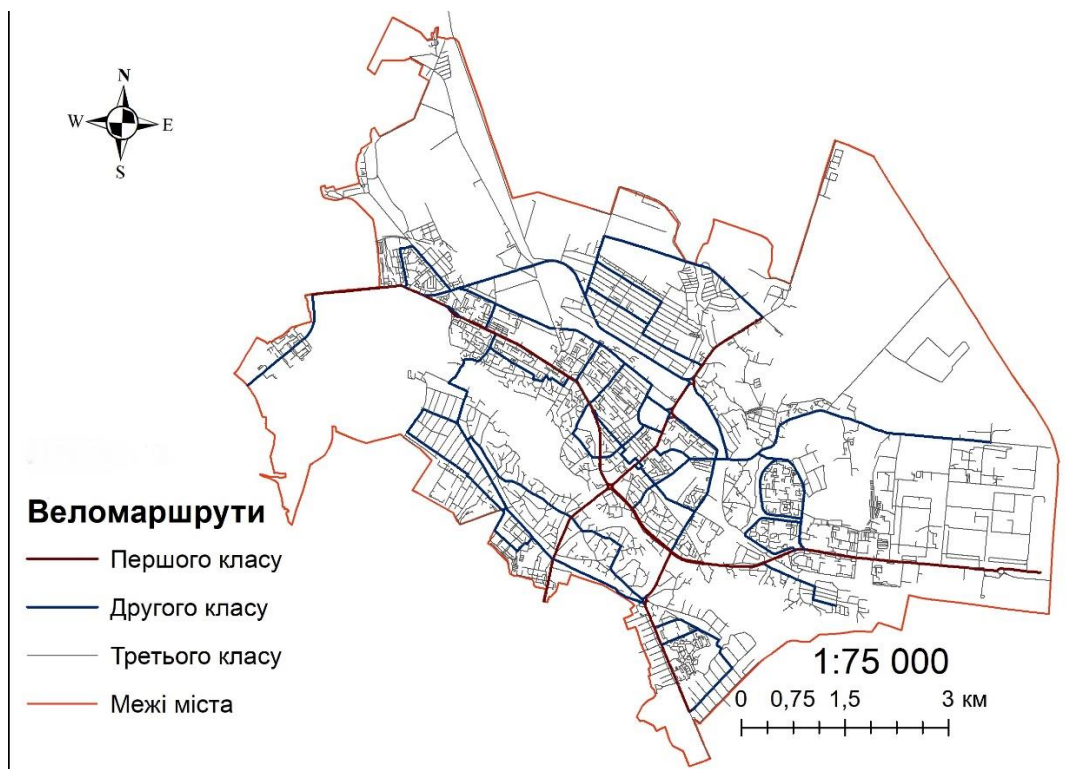
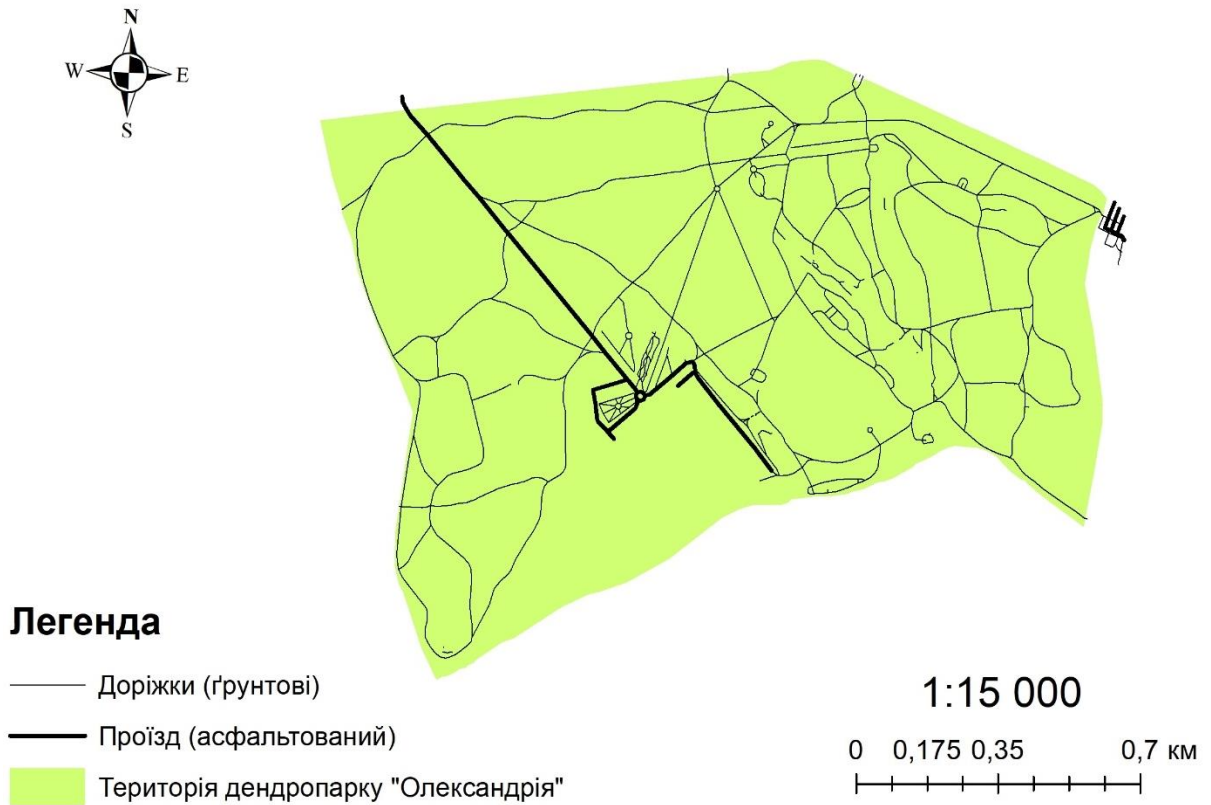


Рис. 3.10 – Пропонована мережа велосипедних маршрутів (розроблено автором)

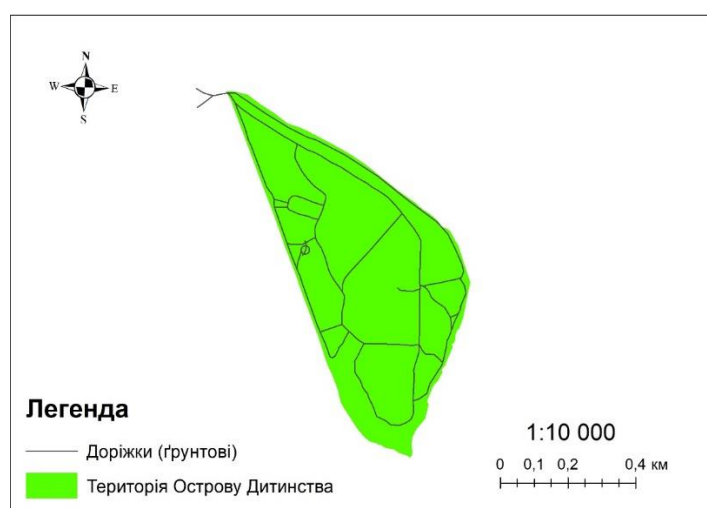
Ще одним видом доріжок, що проектується є доріжки для рекреаційних цілей. Використовуватися для рекреаційних поїздок можуть будь які території, проте у межах міста Біла Церква є дві території, що точно будуть використовуватися саме для цих цілей. До них відноситься дендропарк «Олександрія» (рис. 3.11) та Острів Дитинства.



*Рис. 3.11 – Доріжки рекреаційного призначення дендропарку «Олександрія»
(розроблено автором на основі даних OSM)*

Мережа велосипедних маршрутів на території дендропарку не відноситься до загальної міської мережі велосипедних маршрутів. Територія паркових зон повинна мати свою велосипедну інфраструктуру, що пов'язується з міською мережею велотранспорту тільки на в'їзді або виїзді з таких територій. Велосипедна інфраструктура паркових зон повинна розглядатися окремо, бо, в основному, використовується саме для рекреаційних поїздок. В ході спостережень паркових зон виявлено низьку різноманітність покриттів та інших умов наявних шляхів. З огляду на малу відмінність шляхів, порівняння різних альтернатив потенційних велосипедних маршрутів досить ускладнене, або просто немає сенсу. Тому, проектуванням велосипедних маршрутів в умовах паркових зон м. Біла Церква може займатися тільки міська адміністрація з огляду на доступні ресурси. Наприклад, дендропарк «Олександрія», в більшості, має ґрунтові пішохідні доріжки, за виключенням поодиноких асфальтованих ділянок, що можуть

використовуватися для руху автомобілів. Хоча, доріжки парку і складаються з ґрунтового покриття, вони мають достатню ширину, й дають можливість вільно рухатися велосипедом з достатньою швидкістю, за виключенням, хіба що, особливо дощових днів. Звісно, при змішаному, велосипедному та пішохідному русі, комфорт пересування значно знижений, проте не впливає так сильно, як при інших видах поїздок, на відміну від рекреаційних. Виходячи з цього, фактично, рекреаційними велодоріжками дендропарку «Олександрія» (рис. 3.11) можуть бути всі доступні для руху доріжки у межах парку. Така ж ситуація з територією Острова Дитинства, доріжки якого, так само, мають ґрунтове покриття.



*Рис. 3.12 Доріжки рекреаційного призначення Острову Дитинства
(розроблено автором на основі даних OSM)*

Створено карту пропонувананих велосипедних маршрутів м. Біла Церква (додаток А), включаючи рекреаційні маршрути. Довжини всіх пропонувананих доріжок, можна дізнатися у таблиці 3.3. Загальна довжина модельованих велосипедних маршрутів 17,36% від загальної довжини, що доволі малий відсоток від загальної протяжності вулично – дорожньо мережі м. Біла Церква.

Порівняльна таблиця довжин різних класів велосипедних маршрутів
(розроблено автором)

Клас велосипедного маршруту	Довжина, км	Відсоток від загальної протяжності
1	22,719	4,69%
2	61,402	12,67%
3	400,484	82,64%
Всього	484,605	100%

Достатньо точно підтвердити правильність пропонованих маршрутів можна виключно на практиці їх використання, але аналіз модельованої мережі може вказати на недоліки, або прогалини у плануванні. Одним із підходів є просторовий аналіз пропонованих маршрутів, точніше аналіз зон обслуговування велосипедних маршрутів. Ширина зон обслуговування може бути різноманітна, в залежності від вимог, що до неї висуваються. Відповідно до якісних характеристик мережі, що вимагає PRESTO - щільність мережі основних сполучень має гарантувати, щоб 90% жителів проживали не далі, ніж 200 м від основного сполучення (*Urbanczyk, 2010*). Для цього використано дані OSM про розташування житлових будинків, та розраховано їх входження до зони обслуговування мережі веломаршрутів. Кількість будинків обраховано, що дає результат в 82% зону обслуговування, що, хоч до кінця й не відповідає вимогам, проте дає достатньо непогану зону покриття (рис. 3.13), враховуючи невеликий відсоток протяжності пропонованих велосипедних маршрутів.

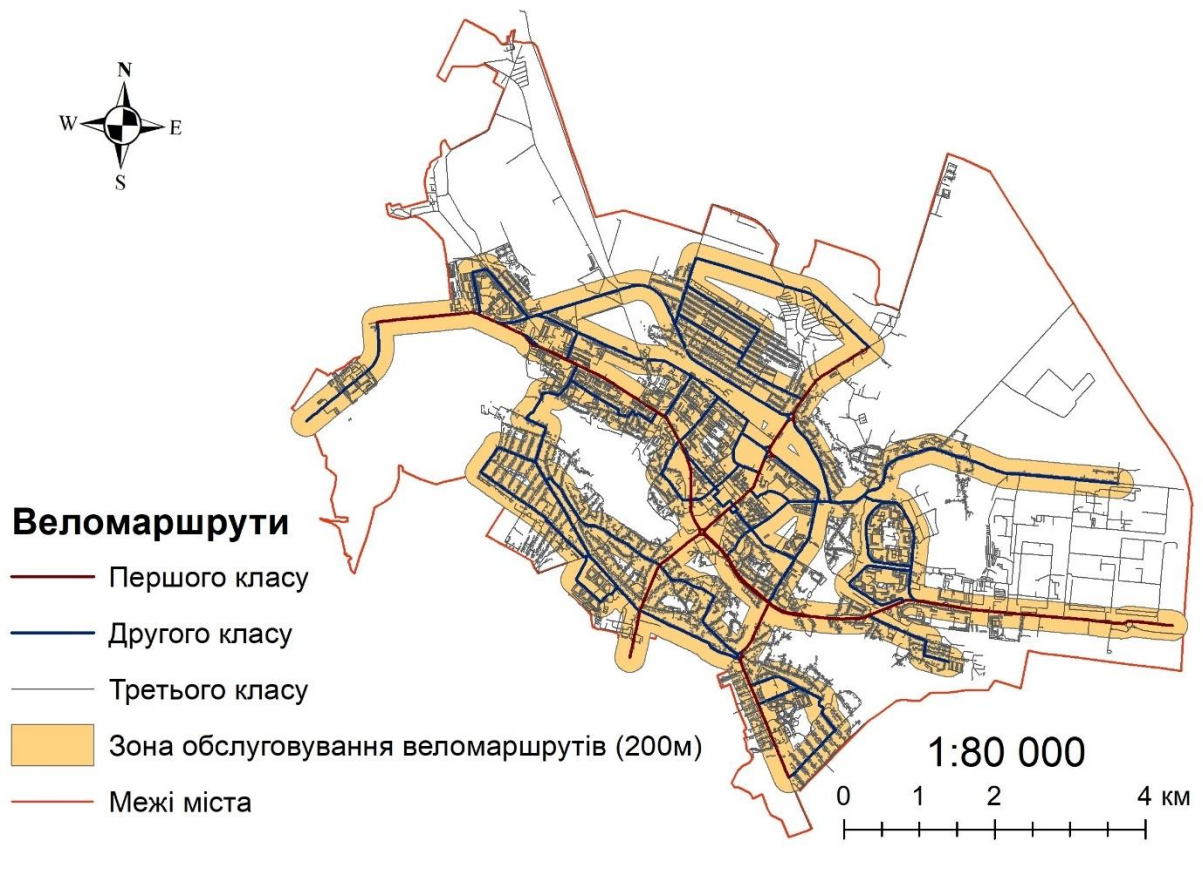


Рис.3.13 – Зони обслуговування велосипедних маршрутів (розроблено автором за даними OSM)

Отже, у ході виконання практичної частини, було змодельовано велосипедні маршрути для м. Біла Церква. Для цього проведено аналіз попиту та аналіз пропозиції. Аналіз попиту включав попит на товари та послуги, поїздки до школи, загальний попит на мережу велосипедних маршрутів. В умовах дослідження пропозиції, було використано індекс пропозиції, що складався з трьох критеріїв: ухилу, ширини смуги та якості покриття. Індекс пропозиції обраховано за допомогою балів, що отримали критерії, та їх вагових коефіцієнтів, отриманих за допомогою методу аналізу ієрархій. Зона обслуговування мережі велосипедних доріжок показала, що 82% житлових будинків знаходяться в 200 м зоні обслуговування, що є досить гарним результатом.

ВИСНОВКИ

1. В результаті проведення аналізу літератури, було з'ясовано, що, на сьогодні в Україні не існує нормативних документів, що мають регулювати розвиток велосипедної інфраструктури. Проаналізувавши рекомендації, концепції розвитку, звіти українських та іноземних міст, з'ясовано: стимулюючі та стримуючі фактори, проблеми при використанні велосипеда; небезпеки, що можуть загрожувати велосипедисту; пропонувані класифікації веломаршрутів та велопоїздок; основні вимоги та елементи велоінфраструктури. До головних методів планування велоінфраструктури, й зокрема веломаршрутів відносяться:

- Графо-аналітичний метод;
- Просторовий аналіз;
- Використання даних про рельєф;
- Індекси придатності(BLOS, BCI, LTS, BSL);
- Використання GPS даних;
- Опитування містян(використання статистичних даних).

2. Методика роботи включає два види аналізу: попит та пропозиція. Обґрунтовано використання критеріїв індексу пропозиції. Методикою описано: використання методу аналізу ієрархій, що відноситься до системного аналізу; графової моделі; метод пошуку найкоротших відстаней мережі, за допомогою інструменту Network Analyst спеціального програмного забезпечення ArcGIS; обґрунтування аналізу попиту; вимоги до модельованої мережі; зони обслуговування модельованих маршрутів. Дані для проведення дослідження отримано з відкритих джерел, а саме геологічної служби США (USGS), веб – картографічного сервісу OpenStreetMap, програмного забезпечення SASPLANET.

3. Завданням практичної частини роботи було проектування мережі велосипедних маршрутів для м. Біла Церква. Першим кроком було створено оглядову карту вулично-дорожньої мережі міста, яка є основою проведення практичного дослідження. Наступним кроком було проведено аналіз попиту. В

умовах дослідження попиту було проаналізовано: попит на товари та послуги, поїздки до школи, загальний попит, створено відповідні карти. З'ясовано території з найвищим попитом в масштабах міста. Далі, в умовах дослідження пропозиції, було використано індекс пропозиції, що складався з трьох критеріїв: ухилу, ширини смуги, якості покриття. Індекс пропозиції обраховано за допомогою балів, що отримали критерії, та їх вагових коефіцієнтів, отриманих за допомогою методу аналізу ієрархій. Створено карти критеріїв, та індексу пропозиції. В результаті створено пропоновану мережу велодоріжок міста, тобто виконано завдання, що було поставлено до роботи. Довжини пропонованих маршрутів першого класу склали 22,719 км, другого класу - 61,402 км. Проаналізовано зону обслуговування модельованих велосипедних маршрутів, в результаті чого, з'ясовано, що 82% житлових будинків знаходяться в 200 м зоні обслуговування, що є досить гарним результатом.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

Білоцерківська міська рада (24 березня 2016). Стратегія розвитку міста Біла Церква. Retrieved from: <https://economy.bc-rada.gov.ua/ekonomika-mista/strategiia-rozvytku/strategiia-rozvytku-mista-bila-tserkva>

Бондаренко, І. (2020). Потреба у розвитку велотранспорту та перешкоди до її реалізації у містах та регіонах України. Київ. Retrieved from: <https://ua.boell.org/uk/2020/12/15/potreba-u-rozvitku-velotransportu-ta-pereshkodi-do-ii-realizacii-u-mistakh-ta-regionakh>

Бондаренко, І., Загребя В. (2017). Комфортне місто: Як спланувати велосипедну інфраструктуру (ст. 20-21). Retrieved from: https://issuu.com/kyivvelo/docs/knyga_velo_2017

Брандт, М. (2010). Рекомендації з організації руху велосипедного транспорту (ERA), Науково-дослідницьке товариство доріг і транспорту, Кельн, Німеччина. Retrieved from: <https://docplayer.net/69348198-Era-r-2-rekomendaciyi-z-organizaciyi-ruhu-velosipednogo-transportu-naukovo-doslidnicke-tovaristvo-dorig-i-transportu.html>

ДП «УкрНДНЦ» (2020). Планування та проектування велосипедної інфраструктури (ДСТУ 8906:2019). Київ. Retrieved from: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_8906_2019_velo_infrastruktura/5-1-0-1873

Зацерковний В. І., Тішаєв І. В., Віршило І. В., Демидов В. К. (2016). Монографія. Геоінформаційні системи в науках про землі. Ніжин.

Кабінет Міністрів України (10 жовтня 2001). Про Правила дорожнього руху. Київ. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1306-2001-%D0%BF#Text>

Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України (2022). ВУЛИЦІ ТА ДОРОГИ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТИВ (ДБН В. 2.3-5:2018). Київ. Retrieved from: https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2022/06/zmina-1-dbn-v.2.3-5-2018_30.05.22-2_removed.pdf

Міністерство розвитку громад та територій України (2022) СКЛАД ТА ЗМІСТ МІСТОБУДІВНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ НА МІСЦЕВОМУ РІВНІ (ДБН Б.1.1-14:2021). Київ. Retrieved from: https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2022/08/dbn-b.1.1-14_2021.pdf

Міца О. В., Лавер В. О. (2021). Системний аналіз. Навчально-методичний посібник. Ужгород. Retrieved from: <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/bitstream/lib/35668/1/%D0%A1%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%BD%D0%B8%D0%B9%20%D0%B0%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D1%96%D0%B7%202021.docx.pdf>

Управління транспортної, дорожньої інфраструктури і зв'язку Херсонської міської ради (2020). Концепція створення велосипедної інфраструктури міста Херсон (ст. 24-25). Херсон. Retrieved from: https://spilnohub.org/wp-content/uploads/2021/02/herson_velokonczepczyia_z-pravkami-vid-26-11.pdf

Чернишова, О.С. (2019). Дисертація, Формування мережі велосипедного транспорту в містах з низьким рівнем його використання. Харківський національний автомобільно-дорожній університет Міністерства освіти і науки України. Харків. Retrieved from: https://www.khadi.kharkov.ua/uploads/media/dis_Chernyshova.pdf

Шукляр А., Яковчук І., Семенова К., Дорош М., Бондар Н., Денисенко В., Грищенко М. (2017). Концепція розвитку велосипедної інфраструктури в м. Києві. Київ.

Яшкіна, В. (координатор проекту) (2021). Аналітичний звіт за результатами опитування щодо перешкод та рішень у розвитку велосипедного транспорту. Київ. Retrieved from: <https://stsaltiv.gov.ua/storage/static-pages/documents/23a745ee51af332173e88bafef43c201.pdf>

Anke, J., Libner, S., Schaefer, L - M., Becker, T., Petzoldt T. (2018). Are you an ambitious cyclist? Results of the cyclist profile questionnaire in Germany, DOI:[10.1080/15389588.2019.1702647](https://doi.org/10.1080/15389588.2019.1702647)

Danique, T., Oded, C., Dorine, D., Serge, H. (2017). How do people cycle in Amsterdam? Estimating cyclists' route choice determinants using GPS data from an urban area. Retrieved from: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.3141/2662-09>

Dill, J., McNeil, N., (2013). For types of cyclists. Retrieved from: <https://journals.sagepub.com/doi/epdf/10.3141/2387-15>

EarthExplorer – USGS: <https://earthexplorer.usgs.gov/>

Epperson, B. (1994). Evaluating Suitability of Roadways for Bicycle Use: Toward a Cycling Level-of Service Standard. Washington. Retrieved from: <http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1994/1438/1438-002.pdf>

Federal Ministry of Transport (2020). National Cycling Plan 2020, Joining forces to evolve cycling. Berlin

Griffin, G.P., Jiao J. (2015). Crowdsourcing Bicycle Volumes: Exploring the Role of Volunteered Geographic Information and Established Monitoring Methods

Harkey, D.L., Reinfurt, D.W., Knuiman, M. (1998) Development of the Bicycle Compatibility Index. Retrieved from: <https://journals.sagepub.com/doi/10.3141/1636-03>

Harve, F.J., Krizek, K. (2007). Commuter Bicyclist Behavior and Facility Disruptio. Retrieved from: <https://www.lrrb.org/pdf/200715.pdf>

Hood, J., Sall, E., Charlton B. (2011). A GPS-based bicycle route choice model for San Francisco, California. Retrieved from: <https://www.sfcta.org/sites/default/files/2019-03/BikeRouteChoiceModel.pdf>

Landis, B.W. (1994). Bicycle Interaction Hazard Score: a Theoretical Model. Washington. Retrieved from: <http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1994/1438/1438-001.pdf>

Landis, B.W., Vattikuti, R.V., Brannick, M.T. (1997). Real-Time Human Perceptions Toward a Bicycle Level of Service. Retrieved from: <https://www1.coe.neu.edu/~pfurth/Other%20papers/BLOS%201997.pdf>

Larsen, J., El-Geneidy, A. (2011). A travel behavior analysis of urban cycling facilities in Montréal, Canada. Retrieved from: https://tram.mcgill.ca/Research/Publications/Who_will_use_it.pdf

Libner, S., Huber, S., Lindermann, P., Anke, J., Franchke A. (2020). GPS-data in bicycle planning: “Which cyclist leaves what kind of traces?” Results of a representative user study in Germany. Retrieved from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590198220301032>

Macbeth, A., Allen T., Barton A. (2007). Cycle Route Network Planning Using GIS. Retrieved from: <https://viastrada.nz/sites/default/files/Cycle-network-GIS.pdf>

Mekuria, M., Furth P., Nixon H. (2012). Low-Stress Bicycling and Network Connectivity, Mineta Transportation Institute, MTI Report 11-19. Retrieved from: <http://transweb.sjsu.edu/sites/default/files/1005-low-stress-bicycling-network-connectivity.pdf>

Ministrie van Verkeer en Waterstaat (2007). Cycling in the Netherlands. Retrieved from: https://velobg.org/docs/Cycling_in_the_Netherlands.pdf

Rybarczyk G., Wu C. (April 2010). Bicycle facility planning using GIS and multi-criteria decision analysis. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/248337898_Bicycle_facility_planning_using_GIS_and_multi-criteria_decision_analysis

Turner, S.M.; Shafer, C.S.; Stewart, W.P. (1997). Bicycle suitability criteria for state roadways in Texas. Retrieved from: http://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/33867/dot_33867_DS1.pdf

SASGIS, дата посилання 01.05.2023. SASPLANET. Retrieved from: <http://www.sasgis.org/>

Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), дата посилання 01.05.2023. Retrieved from: <https://www.earthdata.nasa.gov/sensors/srtm>

Sorton, A., Walsh, T.(1994). Bicycle Stress Level as a Tool To Evaluate Urban and Suburban Bicycle Compatibility, In Transportation Research Record 1438.Retrieved

from: [https://www.semanticscholar.org/paper/BICYCLE-STRESS-LEVEL-AS-A-TOOL-TO-EVALUATE-URBAN-Sorton Walsh/0642bc77ce95b8f030df49b2af9280794fbd05df](https://www.semanticscholar.org/paper/BICYCLE-STRESS-LEVEL-AS-A-TOOL-TO-EVALUATE-URBAN-Sorton%20Walsh/0642bc77ce95b8f030df49b2af9280794fbd05df)

Urbanczyk, R. (February 2010). PRESTO (Promoting Cycling for Everyone as a Daily Transport Mode) is a project of the EU's Intelligent Energy – Europe Programme granted by the Executive Agency for Competitiveness and Innovation (EACI). Retrieved from: https://www.rupprechtconsult.eu/fileadmin/migratedRupprechtAssets/Documents/Presto_lessonslearntbrochure_EN_web.pdf

ДОДАТОК А

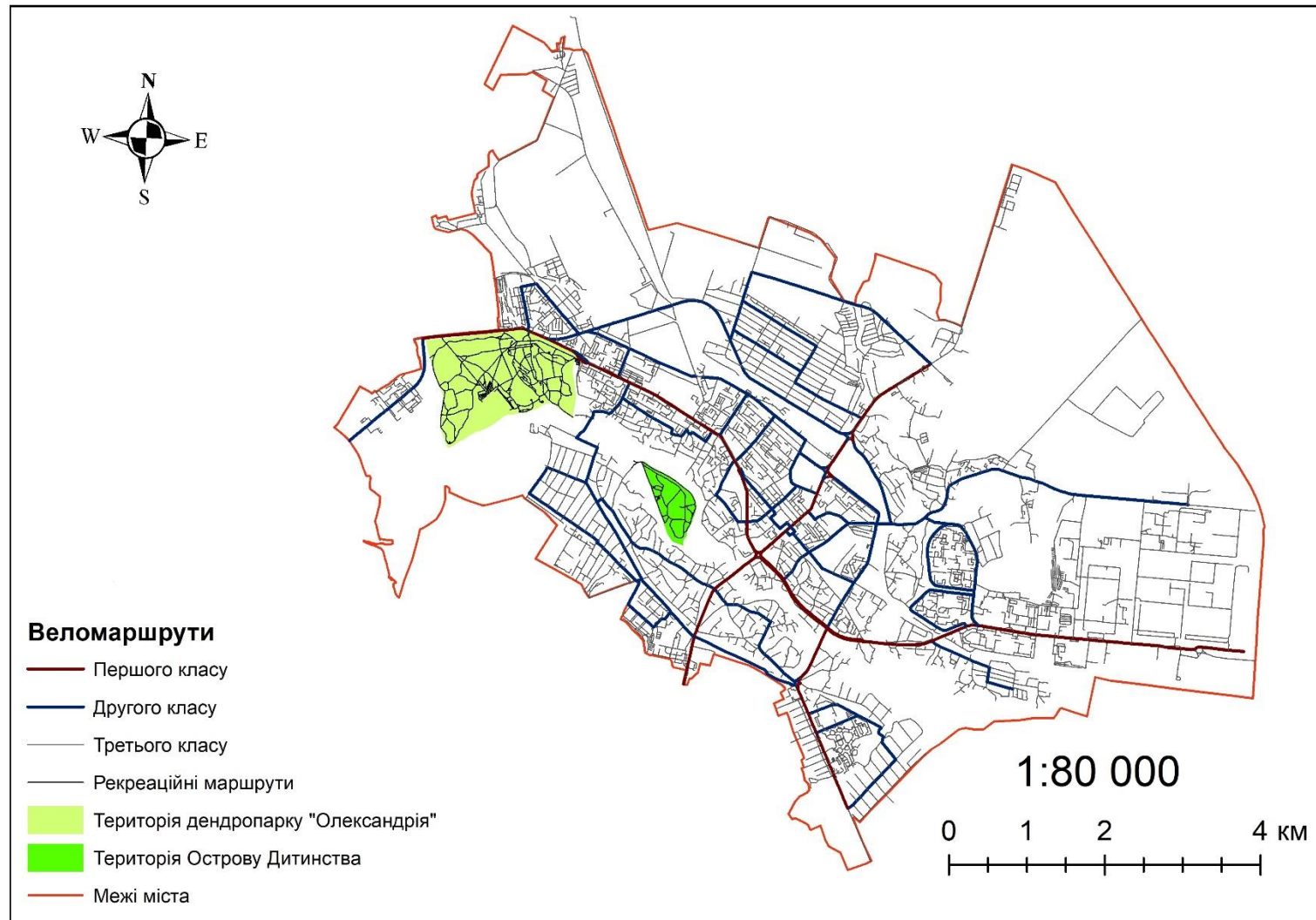


Рис. А. 1 – Пропоновані велосипедні маршрути (розроблено автором)