

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

**Факультет геоінформаційних систем та управління територіями**

Кафедра геоінформатики і фотограмметрії

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

до дипломного проекту (роботи)  
освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавра

на тему:

**ДОСЛІДЖЕННЯ АЛГОРИТМІВ АНАЛІЗУ ТРАНСПОРТНОЇ  
ДОСТУПНОСТІ МІСТА КИЇВ ЗАСОБАМИ ARCGIS ТА QGIS**

Виконав: студент IV курсу, групи ГСТ-20  
за напрямком підготовки

19 «Архітектура і будівництво»

193 «Геодезія та землеустрій»

Косенко І. Т.

*(прізвище та ініціали студента)*

Керівник: Кінь Д. О., асистент

*(прізвище та ініціали, науковий статус, посада)*

Рецензент: Максимова Ю. С., канд. тех.

наук, асистент

*(прізвище та ініціали, науковий статус, посада)*

*Ідентичність підтверджую*

# КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

Факультет: Геоінформаційних систем та управління територіями

Кафедра: геоінформатики і фотограмметрії

Освітньо-кваліфікаційний рівень: бакалавр

Напрямок підготовки 193 “Геодезія та землеустрій”

(шифр і назва)

Спеціальність 6.08010105 “Геоінформаційні системи і технології”

(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

проф. Карпінський Ю.О.

\_\_\_\_\_ (підпис)

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ року

## З А В Д А Н Н Я

### НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ

Косенко Іван Тарасович

(прізвище, ім'я, по батькові студента)

1. Тема проекту (роботи): Дослідження алгоритмів аналізу транспортної доступності міста Київ засобами ArcGIS та QGIS

Керівник проекту (роботи): асистент Кінь Данило Олексійович,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 16.02.2024 року №712.22

Строк подання студентом проекту (роботи)

3. Вихідні дані до проекту (роботи)

- Дані про автомобільні дороги та вулиці міста Київ OpenStreetMap

- Основна державна географічна карта в масштабі 1:50000

- Генеральний план міста Києва

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

**Розділ 1. Область застосування геопросторового аналізу транспортної доступності населеного пункту**

1.1 Аналіз нормативно технічного забезпечення щодо аналізу транспортної доступності у сфері містобудування

1.2 Аналіз останніх досліджень щодо виконання аналізу транспортної доступності за допомогою ГІС

1.3 Опис та аналіз вихідних даних на території міста Київ

## **Розділ 2. Створення бази геопросторових даних тематичного набору транспортної доступності міста Київ**

2.1 Функціональна модель бази геопросторових даних проєкту

2.2 Концептуальна і логічна модель бази геопросторових даних проєкту

2.3 Створення каталогу об'єктів та їх атрибутів набору

## **Розділ 3. Дослідження стандартних можливостей аналізу транспортної доступності засобами ArcGIS і QGIS**

3.1 Опис алгоритмів аналізу транспортної доступності в геоінформаційних системах

3.2 Виконання аналізу транспортної доступності в середовищі QGIS

3.3 Виконання аналізу транспортної доступності в середовищі ArcGIS

3.4 Оцінка отриманих результатів та рекомендації щодо використання інструментів аналізу транспортної доступності

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Картограми аналізу транспортної доступності міста Київ

---

### 6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Номер розділу	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Кінь Д. О.		
Розділ 2	Кінь Д. О.		
Розділ 3	Кінь Д. О.		

7.Дата видачі завдання 20.02.2024

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1.	Проект завдання дипломної роботи	20.02.2024	
2.	ВСТУП	22.02.2024	
3.	РОЗДІЛ 1. ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ГЕОПРОСТОРОВОГО АНАЛІЗУ ТРАНСПОРТНОЇ ДОСТУПНОСТІ НАСЕЛЕНОГО ПУНКТУ	19.03.2024	
4.	РОЗДІЛ 2. СТВОРЕННЯ БАЗИ ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ ТЕМАТИЧНОГО НАБОРУ ТРАНСПОРТНОЇ ДОСТУПНОСТІ МІСТА КИЇВ	16.04.2024	
5.	РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНДАРТНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ АНАЛІЗУ ТРАНСПОРТНОЇ ДОСТУПНОСТІ ЗАСОБАМИ ArcGIS та QGIS	15.05.2024	
6.	ВИСНОВКИ	17.05.2024	
7.	Розробка графічного матеріалу	17.05.2024	
8.	Подача проекту на попередній захист та рецензування	20.05.2024	

Студент: \_\_\_\_\_  
( підпис )

Косенко І.Т.  
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи): \_\_\_\_\_  
( підпис )

Кінь Д. О.  
(прізвище та ініціали)

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	6
РОЗДІЛ 1. ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ГЕОПРОСТОРОВОГО	
АНАЛІЗУ ТРАНСПОРТНОЇ ДОСТУПНОСТІ НАСЕЛЕНОГО ПУНКТУ .....	10
1.1 Аналіз нормативно технічного забезпечення щодо аналізу транспортної доступності у сфері містобудування.....	11
1.2 Аналіз останніх досліджень щодо виконання аналізу транспортної доступності за допомогою ГІС. ....	13
1.3 Опис та аналіз вихідних даних на території міста Київ.....	16
РОЗДІЛ 2. СТВОРЕННЯ БАЗИ ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ	
ТЕМАТИЧНОГО НАБОРУ ТРАНСПОРТНОЇ ДОСТУПНОСТІ МІСТА КИЇВ	23
2.1 Функціональна модель бази геопросторових даних проєкту.....	24
2.2 Концептуальна і логічна модель бази геопросторових даних проєкту.....	27
2.3 Створення каталогу об'єктів та їх атрибутів набору .....	30
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНДАРТНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ	
АНАЛІЗУ ТРАНСПОРТНОЇ ДОСТУПНОСТІ ЗАСОБАМИ ARCGIS І QGIS .	35
3.1 Опис алгоритмів аналізу транспортної доступності в геоінформаційних системах .....	36
3.2 Виконання аналізу транспортної доступності в середовищі QGIS .....	39
3.3 Виконання аналізу транспортної доступності в середовищі ArcGIS .....	56
3.4 Оцінка отриманих результатів та рекомендації щодо використання інструментів аналізу транспортної доступності.....	67
ВИСНОВКИ.....	75
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	77

## ВСТУП

**Актуальність теми.** У сучасному світі розвиток та ефективне функціонування міст є однією з ключових складових сталого розвитку суспільства. Одним з важливих аспектів цього процесу є забезпечення доступності різних об'єктів та сервісів для мешканців міста. Особливо важливим є аналіз транспортної доступності, оскільки він впливає на якість життя населення, розвиток бізнесу та інфраструктури, а також на прийняття рішень у сфері містобудування. Тим більш в наш час коли бізнеси та кількість населення ростуть, транспортна доступність займає перші місця по важливості в містах такі як Київ.

Вивчення та аналіз транспортної доступності має стратегічне значення для розвитку Києва. Воно допомагає виявляти проблемні місця транспортної мережі, розробляти стратегії їх вдосконалення та планувати розвиток нової транспортної інфраструктури. Застосування сучасних геоінформаційних систем, таких як ArcGIS та QGIS, в цьому процесі дозволяє здійснювати точний аналіз географічних даних, моделювання різних сценаріїв та розробку оптимальних стратегій розвитку.

Підвищення якості транспортної системи та зменшення заторів має безпосередній вплив на якість повітря та середовища загалом. Це є надзвичайно актуальною проблемою для міст, які стикаються зі зростанням забруднення та погіршенням екологічної ситуації. Дослідження алгоритмів аналізу транспортної доступності у місті Києві з використанням ArcGIS та QGIS може сприяти розвитку стратегій збереження навколишнього середовища та покращенню якості життя мешканців.

**Характеристика сучасного стану.** На цей момент транспортна доступність міста Києва є складною та має свої особливості. З одного боку, Київ має розвинену мережу громадського транспорту, яка включає метрополітен, трамваї, тролейбуси та автобуси. Метро Києва, зокрема, є однією з найефективніших

систем масового транспорту в Україні та має велике значення для забезпечення транспортної доступності для мешканців міста.

З іншого боку, зростання автотранспортного руху, недостатня розвиненість інфраструктури для велосипедистів та пішоходів, а також проблеми з паркуванням створюють серйозні труднощі для транспортної доступності. Затори на дорогах, особливо в години пік, можуть значно затягнути час переміщення в місті.

Також варто відзначити, що нерівномірний розвиток міста та недостатня координація між різними видами транспорту можуть ускладнювати процес переміщення між різними районами міста.

Загалом, сучасний стан транспортної доступності міста Києва відображається у спробах влади розвивати та модернізувати інфраструктуру громадського транспорту, впровадження нових технологій управління транспортним рухом, а також вдосконалення системи паркування та підтримки альтернативних видів транспорту, таких як велосипеди та електротранспорт.

**Мета цієї дипломної роботи** полягає в проведенні дослідження алгоритмів аналізу транспортної доступності для міста Києва з використанням програмних засобів ArcGIS та QGIS для обґрунтування точності їх результатів. Це дозволить виконувати комплексний аналіз доступності різних об'єктів та сервісів для мешканців міста з різних районів .

Це дослідження важливе, оскільки Київ являє собою складну мегаполісну систему зі значними транспортними потоками та різними видами транспорту. Розуміння та аналіз транспортної доступності має велике значення для розвитку міста, покращення якості життя мешканців та забезпечення ефективності транспортної системи.

Використання сучасних геоінформаційних систем, таких як ArcGIS та QGIS, у цьому дослідженні дозволить здійснювати точний аналіз геопросторових даних, моделювати різні сценарії розвитку транспортної інфраструктури та розробляти оптимальні стратегії для розвитку міста.

Крім того, результати цього дослідження можуть бути корисними для міських влад, аналітичних агенцій та розробників у сфері містобудування для прийняття обґрунтованих рішень щодо планування розвитку транспортної інфраструктури, а також для вдосконалення управління міським транспортом та підвищення якості життя мешканців.

**Об’єкт** – алгоритми аналізу транспортної доступності

**Предмет** – інструменти аналізу транспортної доступності у середовищі геоінформаційних систем.

**Завдання:**

- визначити область застосування геопросторового аналізу транспортної доступності населеного пункту
- проаналізувати нормативно технічні забезпечення щодо аналізу транспортної доступності
- проаналізувати останні дослідження щодо виконання аналізу транспортної доступності у сфері містобудування
- описати та проаналізувати вихідні дані на території міста Київ
- створення бази геопросторових даних тематичного набору транспортної доступності міста Київ
- описати функціональну модель бази геопросторових даних проекту
- описати концептуальну і логічну модель бази геопросторових даних проекту
- створити каталог об’єктів та їх атрибутів набору
- дослідження стандартних можливостей аналізу транспортної доступності засобами QGIS та ArcGIS
- описати алгоритми аналізу транспортної доступності в геоінформаційних системах
- виконати аналіз транспортної доступності в середовищі QGIS
- виконати аналіз транспортної доступності в середовищі ArcGIS

– оцінити отримані результати та рекомендації щодо використання інструментів аналізу транспортної доступності

**РОЗДІЛ 1. ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ГЕОПРОСТОРОВОГО  
АНАЛІЗУ ТРАНСПОРТНОЇ ДОСТУПНОСТІ НАСЕЛЕНОГО ПУНКТУ**

## **1.1 Аналіз нормативно технічного забезпечення щодо аналізу транспортної доступності у сфері містобудування**

Нормативно – технічне забезпечення – це сукупність нормативних документів, стандартів, правил, методик та технічних специфікацій, які регулюють певну сферу діяльності або певні види технічних процесів. Вона визначає вимоги до якості, безпеки, функціональності та інших параметрів продуктів, послуг або процесів.

Вони можуть бути створене на різних рівнях - від міжнародних стандартів до національних, галузевих або локальних нормативних документів. Воно використовується для забезпечення якості продукції та послуг, забезпечення безпеки виробництва та експлуатації, спрощення взаєморозуміння між учасниками ринку та забезпечення відповідності законодавчим вимогам.

Нормативно технічні забезпечення щодо аналізу транспортної доступності у різних країнах, регіонах, містах дещо відрізняються. Тож є декілька основних аспектів які зазвичай входять у такі забезпечення.

Методика виміру транспортної доступності є основним аспектом при нормативно технічному забезпеченні. Вона включає в себе розробку конкретних підходів та критеріїв для оцінки доступності до різних видів транспорту з урахуванням різних факторів. Основними факторами є час подорожі, відстань, стан інфраструктури, потреби користувача, моделювання та аналіз даних і також географічний контекст.

Ключовими у нормативно технічного забезпечення є стандарти і показники в контексті транспортної доступності.

Стандарти є нормативними документами, які встановлюють вимоги до якості, безпеки та інших параметрів транспортної доступності. У контексті транспортної доступності, стандарти можуть включати в себе вимоги до проектування і будівництва транспортної інфраструктури. Сюди входять відстані між зупинками, розташування пандусів та підйомників, розмірів сидінь у громадському транспорті та інше.

Показники є конкретними мірниками, які використовуються для вимірювання рівня транспортної доступності. Ці показники можуть включати в себе середній час подорожі до роботи або навчання, кількість доступних маршрутів громадського транспорту, кількість пунктів доступу до метро або зупинок автобусів у певній області, наявність інфраструктури для велосипедистів та пішоходів тощо.

Стандарти та показники також можуть бути спрямовані на адаптацію транспортної інфраструктури до потреб різних категорій населення, таких як люди з обмеженими можливостями, діти, пожилі люди та інші. Наприклад, це може включати встановлення вимог до доступності пандусів, ескалаторів та підйомників у громадському транспорті, а також розмірів та конструкції сидінь.

Ще не менш важливими є законодавство та нормативні акти, які регулюють питання транспортної доступності, вони мають значний вплив на планування та розвиток транспортної інфраструктури, а також на забезпечення прав та інтересів громадян у цьому плані.

Законодавство може встановлювати принцип універсальної доступності до транспортної мережі для всіх громадян, незалежно від їхнього статусу, віку або фізичних можливостей. Це може включати забезпечення доступності для людей з обмеженими можливостями, пасажирів з дітьми, пожилого населення тощо.

Воно також може встановлювати стандарти та норми, які регулюють якість та рівень транспортної інфраструктури з точки зору доступності. Це може включати вимоги до ширини тротуарів, наявності пандусів, підйомників у громадському транспорті, маршрутизації для велосипедистів тощо.

В плануванні інфраструктури Законодавство може встановлювати вимоги з урахуванням принципів доступності. Це може включати забезпечення доступності громадського транспорту до різних районів міста, розробку мережі велосипедних доріг та пішохідних зон, а також планування інфраструктури для розвитку масового транспорту.

Законодавство може встановлювати механізми фінансування та забезпечення фінансової підтримки для розвитку транспортної інфраструктури з урахуванням потреб в доступності.

З усіх цих аспектів ми можемо розуміти, що в сучасному світі без їх врахування аналіз транспортної доступності в сфері містобудування є неможливим, та взагалі без використання нормативно технічного забезпечення не може починатися ні один проект в сфері містобудування.

## **1.2 Аналіз останніх досліджень щодо виконання аналізу транспортної доступності за допомогою ГІС**

Аналіз транспортної доступності за допомогою геоінформаційних систем (ГІС) стає все більш актуальним у сучасному містобудуванні та плануванні розвитку міст. Використання ГІС дозволяє більш точно аналізувати рівень доступності до транспортних послуг та інфраструктури для різних груп населення. Докладніше про ГІС:

Геоінформаційна система – Сучасна комп'ютерна технологія, що дозволяє поєднати модельне зображення території (електронне відображення карт, схем, космо-, аерозображень земної поверхні) з інформацією табличного типу (різноманітні статистичні дані, списки, економічні показники тощо). [1]

ГІС може інтегрувати різні типи даних, такі як карти супутникові зображення, дані перепису населення, підрахунки тарифів, огляд подорожей тощо. А також виконання різних просторових операцій, такі як накладання, буфер відстань, аналіз мережі та просторова статистика. ГІС також може створювати інтерактивні карти та діаграми, які можуть показувати просторові закономірності та взаємозв'язки різних змінних, таких як щільність населення, землекористування, види транспорту, показник доступності тощо.

На сьогоднішній день дослідники використовують широкий спектр методів та технологій ГІС, якими вони користуються для аналізу транспортної доступності.

Одним з методів є спостереження з використанням Дистанційного зондування.

Дистанційне зондування Землі - це спосіб отримання інформації про земну поверхню та розташовані на ній об'єкти шляхом реєстрації електромагнітного випромінювання, що відбивається від них, без безпосереднього контакту.

Він є потужним інструментом для аналізу інфраструктури та транспортних мереж на великих територіях. Цей метод використовує супутникові знімки та аерофотознімки для отримання інформації про земну поверхню.

В ДЗЗ є багато переваг які дозволяють набагато точніше проводити аналізи транспортної інфраструктури. Він надає широке охоплення територій, за використанням супутникових знімків можна охопити дуже велику територію, що дає змогу аналізувати транспортну інфраструктуру на рівні міст, регіонів або країн. Ось декілька переваг ДЗЗ:

Сучасні супутники надають змогу отримувати свіжі дані з високою частотою оновлення, що дає змогу відстежувати зміни в транспортній мережі швидко та ефективно.

Дистанційне зондування забезпечує об'єктивні дані про стан інфраструктури, оскільки вони базуються на об'єктивних вимірюваннях з висоти.

Дані із супутників надають змогу виявляти зміни у транспортній мережі з часом, що допомагає у розумінні тенденцій розвитку та ефективності різних інфраструктурних проектів.

Сучасні програмні засоби для обробки супутникових знімків, такі як: QGIS, ArcGIS та ENVI, вони надають інструменти для аналізу транспортної інфраструктури, що робить процес дослідження більш зручним та ефективним.

Цей метод дозволяє нам отримати цінну інформацію про стан інфраструктури та транспортних мереж на великих територіях, що відіграє важливу роль у розвитку та оптимізації транспортних систем.

Ще одним методом який зараз почав активно використовуватись в аналізі транспортної доступності за допомогою ГІС, це використання даних від користувачів мобільних додатків.

Використання даних від користувачів мобільних додатків у сфері аналізу транспортної доступності відкриває нові можливості для збору та аналізу реальних даних про рух транспортних засобів та поведінку користувачів публічного транспорту.

Мобільні додатки можуть збирати різноманітні дані про рух транспортних засобів та користувачів, включаючи маршрути подорожей, часи прибуття та відправлення, типи транспорту, використовувані маршрути, точки посадки та висадки тощо.

Одержані дані можуть бути оброблені та проаналізовані для виявлення тенденцій у використанні транспорту, розподілі пасажиропотоків, затримках у русі та інших параметрах, що впливають на транспортну доступність.

На основі зібраних даних можна розробити прогностичні моделі для передбачення транспортних потоків, затримок у русі та інших аспектів, які впливають на транспортну доступність. Це дозволяє планувати розвиток транспортної інфраструктури та вживати заходів для поліпшення доступності.

На основі аналізу даних можна розробити оптимальні маршрути для користувачів та оптимізувати розклади громадського транспорту, зменшуючи час подорожі та забезпечуючи кращу доступність до ключових об'єктів у місті.

Збір даних від користувачів мобільних додатків також дозволяє залучити громадськість до процесу збору та аналізу даних про транспорт, що сприяє більшому розумінню потреб та проблем мешканців міста.

Загалом, використання даних від користувачів мобільних додатків в аналізі транспортної доступності відкриває нові можливості для отримання реальних даних та розробки стратегій для покращення якості та ефективності транспортних систем.

Тож останні дослідження в області аналізу транспортної доступності підтверджують важливість використання ГІС для ефективного планування і

розвитку транспортної інфраструктури. Шляхом поєднання географічних даних з аналізом транспортних потоків та інших факторів можна забезпечити оптимальний доступ до різних об'єктів для населення та бізнесу.

### **1.3 Опис та аналіз вихідних даних на території міста Київ**

Сучасна мережа автомобільних доріг загального користування України була сформована до 80 років ХХ сторіччя. Найбільш інтенсивними темпами будівництво та реконструкція доріг в Україні проводились у 60–70 роки. Ці дороги відповідали стандартам середини ХХ століття та потребам тогочасних транспортних засобів. Дотепер модернізація доріг в основному зводилася до підсилення дорожнього одягу та розширення проїзної частини. [2]

Світова транспортна система постійно розвивається. Відповідно до вимог часу та законів економічного розвитку в ній відбуваються адекватні якісні та кількісні зміни. [3]

Для початку розберемо транспортне сполучення міста Київ. Київ є столицею України і зрозуміло, що транспортна доступність тут є найважливішим аспектом для бізнесів та громадян. Тут є розвинена мережа доріг та автостоянок. Більшість вулиць у місті розташовані у вигляді великої сітки, що робить рух містом більш зручним та зрозумілим. Багато вулиць мають кілька смуг руху у кожному напрямку. Що робить легшим рух транспорту в різні частини міста.

Сьогодні рівень автомобілізації столиці — 213 автомобілів на 1000 жителів, а коефіцієнт користування автомобілем — 88%. В інших містах Європи ситуація кардинально інша. У більшості Європейських країн надають перевагу більше громадському транспорту та пішохідним просторам (наприклад у Лондоні коефіцієнт користування авто – 50%).[4]

Тому наша головна задача проаналізувати всі наявні в місті Київ транспортні шляхи, чим вони відрізняються і т. д. В подальшому ці данні допоможуть нам у виконанні нашої роботи з аналізом транспортної доступності.

Вихідні дані для цього пункту ми візьмемо з OpenStreetMap у застосунку QGIS. Так як тема дипломної роботи зв'язана з транспортною доступністю, ми

будемо збирати дані про автомобільні дороги. Даними будуть слугувати: кількість поліс, максимальна швидкість, освітлення тощо.

Для початку оглянемо автомагістралі.

Автомагістраль - це автомобільна дорога, яка має чотири та більше смуг руху, огороження на узбіччях і роздільній смузі, перетинає в різних рівнях інші дороги, залізничні і трамвайні колії, пішохідні й велосипедні доріжки, шляхи проходу тварин та обгороджена сіткою або іншим видом огорожі, що мінімізує можливість несанкціонованого доступу на дорогу тварин і людей.

В межах міста Києва ми маємо лише одну автомагістрал - Бориспільське шосе. Єдина в Україні автомагістраль. Пропускна спроможність Бориспільського шосе — 40 000 автівок на добу (рис. 1.1.).

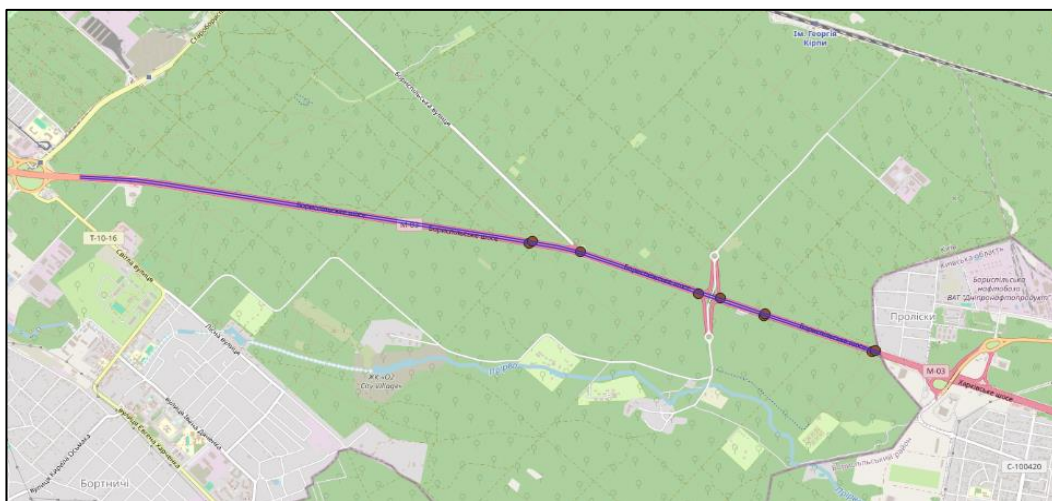


Рис. 1.1. Бориспільське шосе в OpenStreetMap.

Максимальна швидкість руху авто— 130 км/год.

Кількість смуг - 4

Освітлення – так

Дозвіл на рух велосипедів – ні

Кількість зупинок громадського транспорту – 9

## Дороги Європейського маршруту

Наступними будуть дороги які не є автомагістралями, але не менш важливі. Тип цих доріг входить до Європейського маршруту. Ці дороги є зв'язними в межах всієї країни. Це дороги по яким йде дальній основний і вантажний міжрегіональний трафік, які з'єднують декілька великих міст, які ведуть до аеропортів та крупних портів.

Мережа цих доріг повинна бути завжди зв'язною в межах країни. Тому вона не повинна перериватися між населеними пунктами, якщо це єдиний транзитний маршрут. Починати і закінчуватися клас цих доріг має лише в великих населених пунктах (рис. 1.2.).

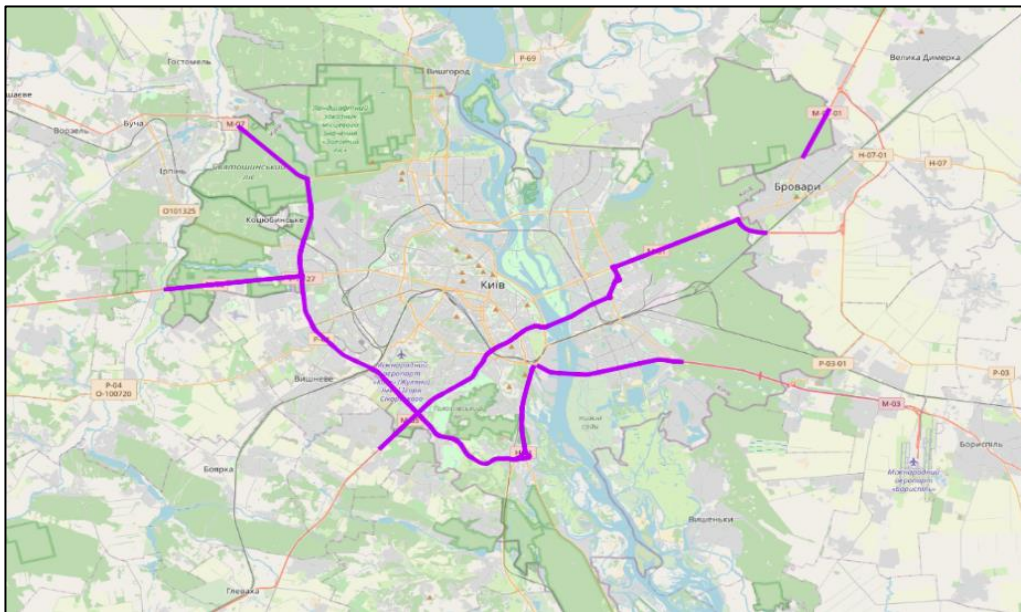


Рис. 1.2. Дороги типу Європейського маршруту в QGIS

Максимальна швидкість руху авто— 50 - 110 км/год.

Кількість смуг - 2 - 4

Освітлення – так

Дозвіл на рух велосипедів – так

Кількість зупинок громадського транспорту – 273

## Регіональні дороги

До регіональних автомобільних доріг належать автомобільні дороги, що з'єднують дві або більше областей між собою, автомобільні дороги, що з'єднують основні міжнародні автомобільні пункти пропуску через державний кордон, морські та авіаційні порти міжнародного значення, найважливіші об'єкти національної культурної (рис. 1.3.).[5]

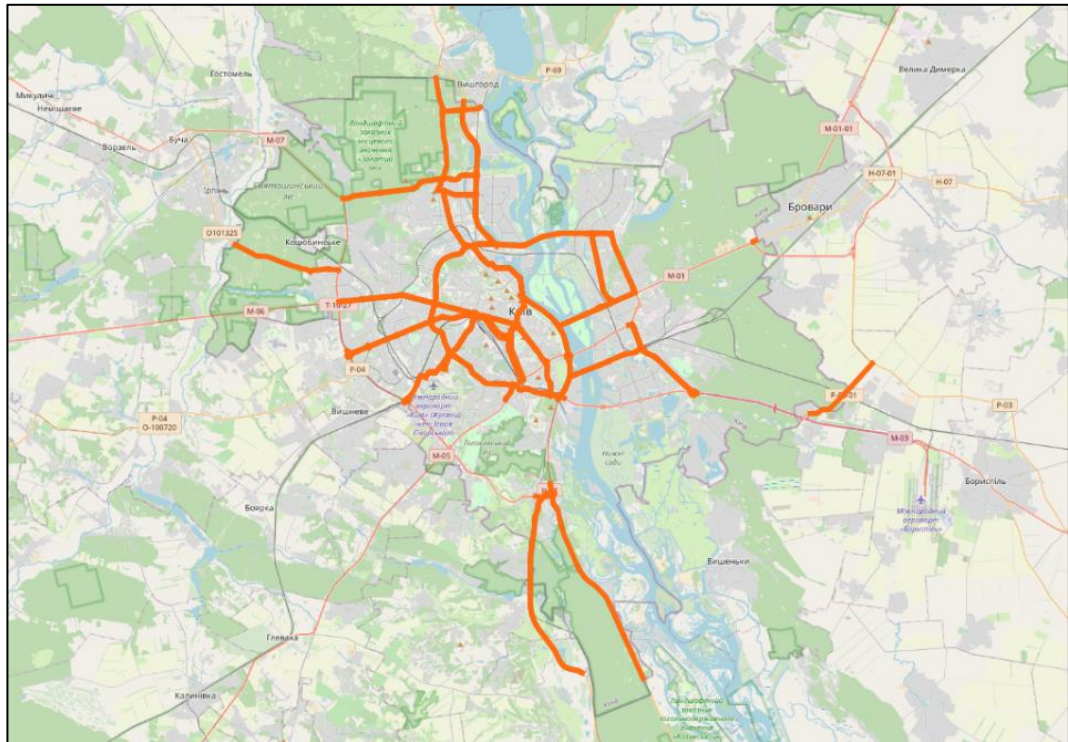


Рис. 1.3. Регіональні дороги в QGIS.

Максимальна швидкість руху авто— 50 - 110 км/год.

Кількість смуг - 1 - 4

Освітлення – так

Дозвіл на рух велосипедів – так

Кількість зупинок громадського транспорту – 1077

## Дороги обласного значення

Автомобільні дороги обласного значення, що з'єднують обласні центри з крупними населеними пунктами (районними центрами), а також крупні населені пункти між собою (рис. 1.4.).



Рис. 1.4. Дороги обласного значення в QGIS.

Максимальна швидкість руху авто - 20 - 50 км/год.

Кількість смуг - 1 - 4

Освітлення – так

Дозвіл на рух велосипедів – так

Кількість зупинок громадського транспорту –2288

Дороги які з'єднують районні центри із селами

Більш важливі автомобільні дорогам серед інших автомобільних доріг місцевого значення, наприклад ті, що з'єднують районні центри із селами, а також кілька сіл між собою (рис. 1.5.).

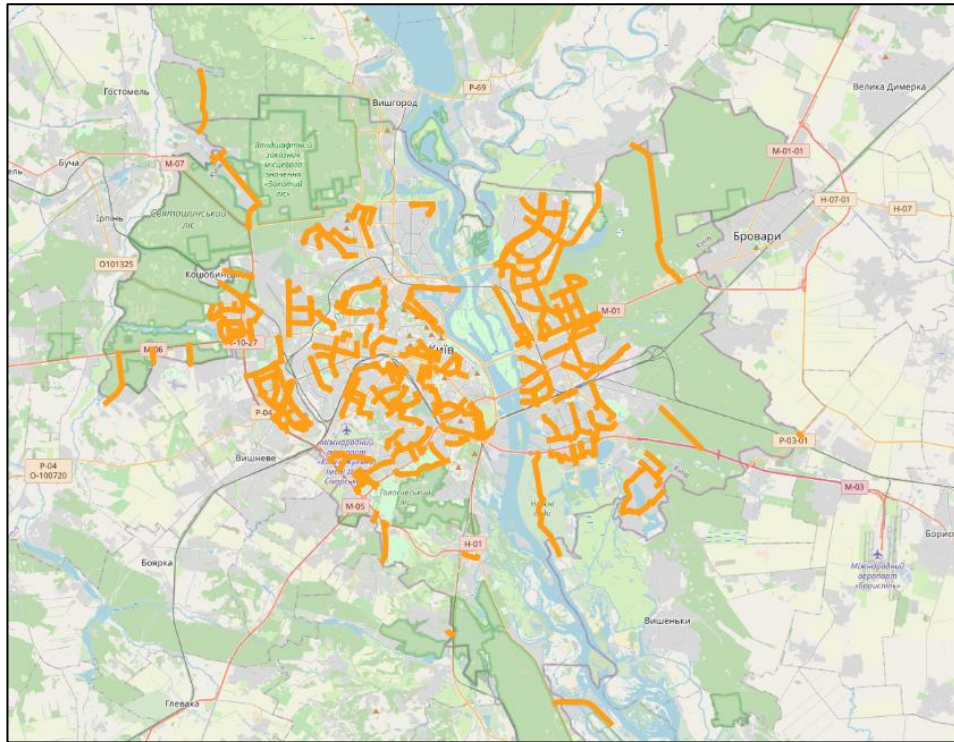


Рис. 1.5. Дороги які з'єднують райони центри із селами в QGIS.

Максимальна швидкість руху авто - 50 км/год.

Кількість смуг - 1 – 4

Освітлення – так

Дозвіл на рух велосипедів – так

Кількість зупинок громадського транспорту –2695

Аналіз вихідних даних на території міста Києва є важливим інструментом для розуміння його функціонування та розвитку. Інформація, отримана в результаті аналізу, може бути використана для прийняття управлінських рішень, розробки стратегій розвитку та покращення якості життя мешканців міста. Ретельний опис та аналіз вихідних даних можуть сприяти створенню більш ефективних та стійких до змін управлінських рішень.

В цій роботі встановленні такі обмеження:

- 1) використано мережу автомобільних доріг та пішохідних стежок на території міста Києва;
- 2) середня швидкість руху транспортних засобів в залежності від типу дороги яка визначена в OpenStreetMap, та визначена умовно ;

3) під час аналізу транспортної доступності прийнято що автомобільні дороги мають два напрямки ;

4) не було враховано інтенсивність руху транспортних засобів та регулювання перехресть у різні періоди часу

5) у цій роботі використано стандартні алгоритми аналізу транспортної доступності які реалізовані в стандартних геоінформаційних системах;

У сучасних геоінформаційних системах є функціональні можливість враховувати ці встановлені обмеження, тому їх буде розглянуто у наступних дослідженнях.

**РОЗДІЛ 2. СТВОРЕННЯ БАЗИ ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ  
ТЕМАТИЧНОГО НАБОРУ ТРАНСПОРТНОЇ ДОСТУПНОСТІ  
МІСТА КИЇВ**

## 2.1 Функціональна модель бази геопросторових даних проєкту

Геопросторові дані - дані або набір даних про геопросторовий об'єкт. [6]

Функціональна модель бази геопросторових даних є важливим етапом у розробці та плануванні проєкту аналізу доступності міста Києва. Ця модель відповідає за організацію та оптимізацію процесу зберігання, управління та аналізу геопросторових даних, необхідних для оцінки транспортної доступності міста.

Функціональна модель бази геопросторових даних складається з основних компонентів: структура бази даних, яка організовує та взаємопов'язує таблиці і дані для ефективного доступу до інформації; методи зберігання, що визначають оптимальні способи зберігання геоданих, такі як використання ГІС і розподілених баз даних; а також операції та інструменти для аналізу, які дозволяють проводити аналіз геопросторових даних, включаючи розрахунок відстаней, визначення часу подорожі та аналіз транспортного потоку.

Функціональна модель передбачає включення до бази даних таких даних (рис. 2.1.):

Підсистема просторові запитів та вибірок:

- вибір об'єктів за просторовими критеріями (наприклад, всі зупинки в радіусі 500 метрів від заданої точки)
- пошук найближчих об'єктів (наприклад, найближча лікарня до заданої адреси)
- просторові об'єднання та перетини (наприклад, виділення ділянок доріг, які перетинають парки чи водойми)

Підсистема мережевого аналізу:

- побудова найкоротших маршрутів між точками на транспортній мережі
- розрахунок зон доступності (наприклад, території, які можна досягти за певний час на громадському транспорті)
- аналіз зв'язності та проблемних ділянок мережі

#### Підсистема геостатистичного аналізу:

- розрахунок щільності об'єктів (наприклад, кількість зупинок на квадратний кілометр)
- інтерполяція та екстраполяція значень на основі вибірки точок (наприклад, оцінка щільності населення в місцях, де немає безпосередніх даних)
- кластерний аналіз для виявлення закономірностей та групування об'єктів

#### Підсистема картографічної візуалізації:

- створення тематичних карт транспортної доступності
- відображення результатів аналізу у вигляді карт, діаграм, графіків
- інтерактивна візуалізація даних для дослідження та комунікації результатів

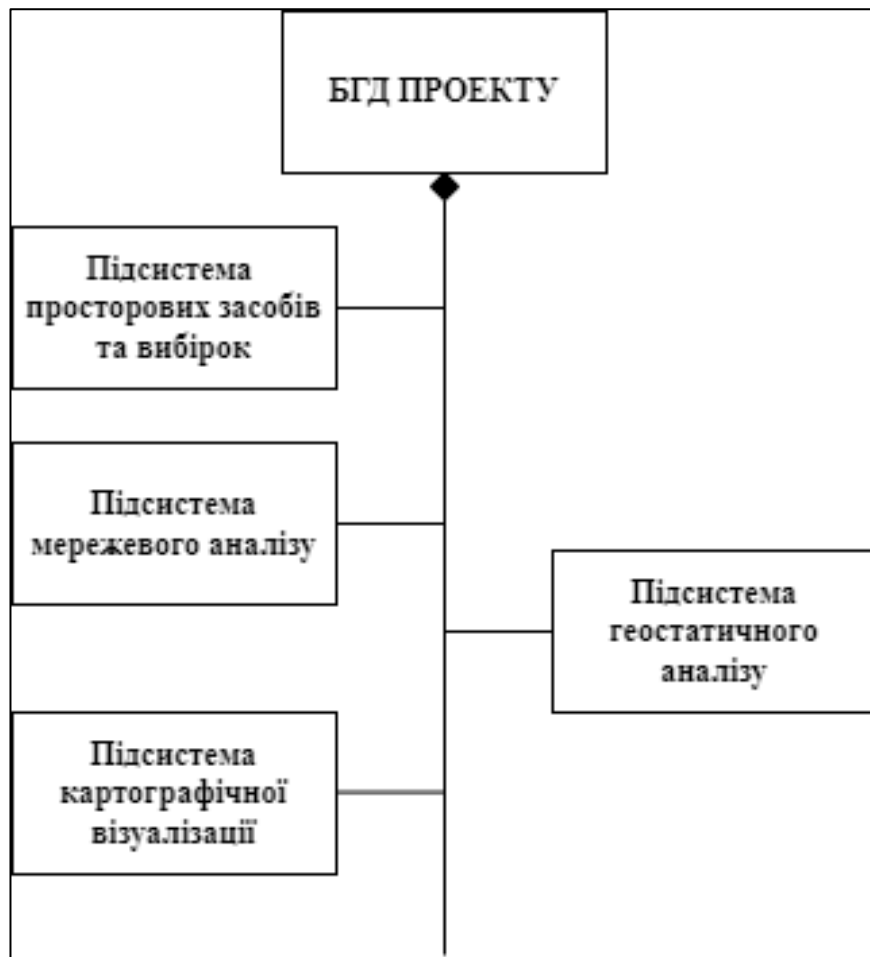


Рис.2.1. UML діаграма функціональної моделі.

Включення різноманітних видів даних до бази геопросторових даних сприятиме проведенню всебічного аналізу доступності транспорту, враховуючи різні чинники та аспекти функціонування транспортної системи міста.

Крім зберігання та організації даних, функціональна модель також містить набір операцій та інструментів для аналізу та обробки геопросторових даних.

Розширений арсенал аналітичних інструментів дозволить докладно дослідити транспортну доступність у місті Києві, виявити проблемні зони та "вузькі місця" у транспортній мережі, а також моделювати різні сценарії розвитку інфраструктури та приймати обґрунтовані рішення стосовно її покращення. Це дозволить виявити потенційні шляхи для оптимізації транспортного руху та підвищення ефективності міської інфраструктури.

Функціональна модель також передбачає можливість інтеграції бази даних з іншими системами та джерелами інформації, такими як системи управління

дорожнім рухом, бази даних про нерухомість та землекористування, метеорологічні сервіси та інші. Це дозволить використовувати додаткові релевантні дані для підвищення точності та комплексності аналізу транспортної доступності. Такий підхід сприятиме отриманню більш повного та об'єктивного уявлення про ситуацію з транспортною доступністю у місті Києві.

Функціональна модель бази геопросторових даних є важним інструментом для зберігання, управління та аналізу різноманітних даних, пов'язаних з транспортною доступністю міста Києва. Її структура та організація ретельно вивчені для забезпечення ефективного використання інформації. Ця модель дозволяє застосовувати комплексний підхід до аналізу та вивчення транспортної системи столиці, що має важливе значення для прийняття обґрунтованих рішень щодо планування та оптимізації транспортної інфраструктури, відповідно до сучасних геодезичних принципів.

## **2.2 Концептуальна і логічна модель бази геопросторових даних проекту**

Концептуальна модель (схема БД) є формальним поданням ІС на понятійному рівні, тобто загальною логічною структурою БД. [7]

Концептуальна модель в дослідженні транспортної доступності міста Київ є високорівневим абстрактним описом основних об'єктів, явищ та їх взаємозв'язків, які мають значення для аналізу транспортної доступності. Ця модель зосереджується на відображенні важливих елементів транспортної інфраструктури, користувачів та їх взаємодії з транспортною системою, не враховуючи поки що конкретні технічні деталі. (Рис. 2.2.)

Концептуальна модель в ГІС є високорівневим описом просторових об'єктів і їхніх взаємозв'язків. Вона створюється для того, щоб відобразити розуміння предметної області, не враховуючи технічні деталі реалізації.

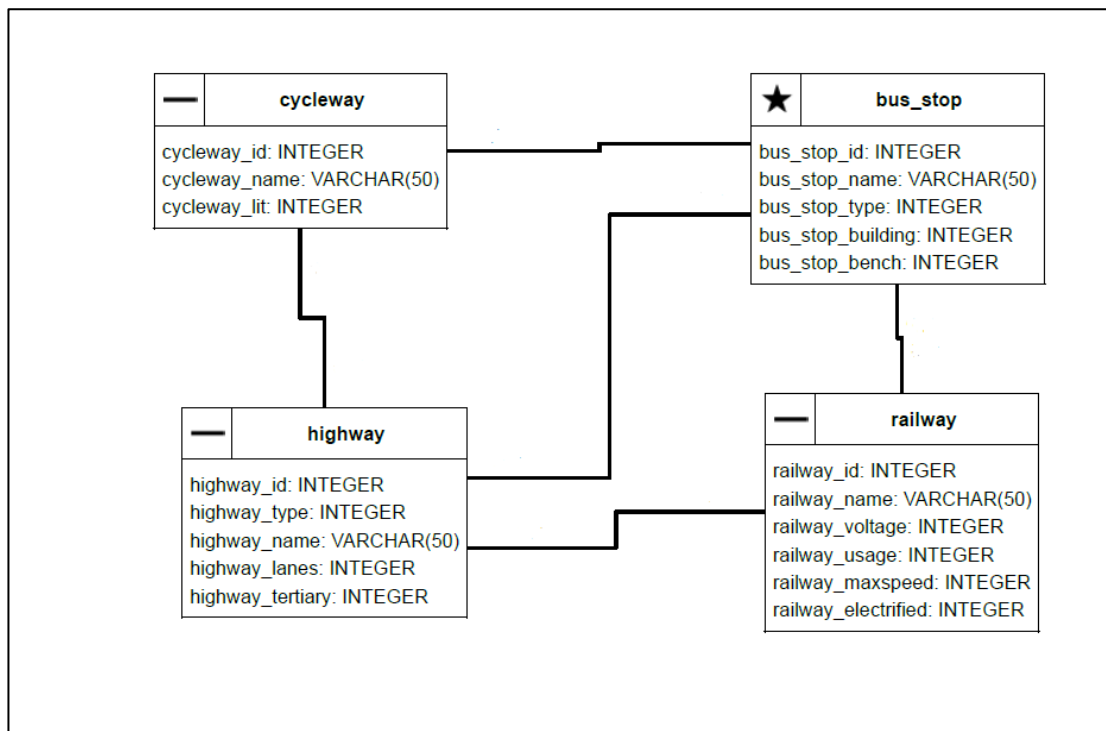


Рис. 2.2. UML діаграма концептуальної моделі

Основними сутностями концептуальної моделі є:

- транспортна мережа (автомобільні дороги, залізничні колії, маршрути громадського транспорту, пішохідні зони)
- транспортна інфраструктура (зупинки громадського транспорту, станції метро, залізничні станції, мости, шляхопроводи, тунелі)

Ці сутності є взаємо зв'язаними в дослідженні транспортної доступності міста Київ. Наприклад, автомобільні дороги та залізничні колії є частинами єдиної транспортної мережі, зупинки громадського транспорту розташовані вздовж маршрутів, що відображає складні взаємозв'язки в транспортній інфраструктурі Києва.

Концептуальна модель служить для відображення загальної структури та взаємозв'язків між сутностями в системі або домені дослідження. Вона визначає ключові концепції, абстракції та взаємодії між ними, не затрагуючи деталей реалізації. Концептуальна модель допомагає розуміти суть проблеми або задачі,

що вивчається, та створює основу для подальшої розробки більш конкретних моделей, таких як логічна чи фізична модель.

Основними таблицями логічної моделі є (рис. 2.3.):

- дороги (ID дороги, назва, тип, довжина, кількість смуг, максимальна швидкість, геометрія)
- велосипедні доріжки (ID доріжки, назва, освітлення)
- зупинки (ID зупинки, назва, тип, геометрія)
- залізничні колії (ID колії, назва, напруга, максимальна швидкість, використання, електро з'єднання)

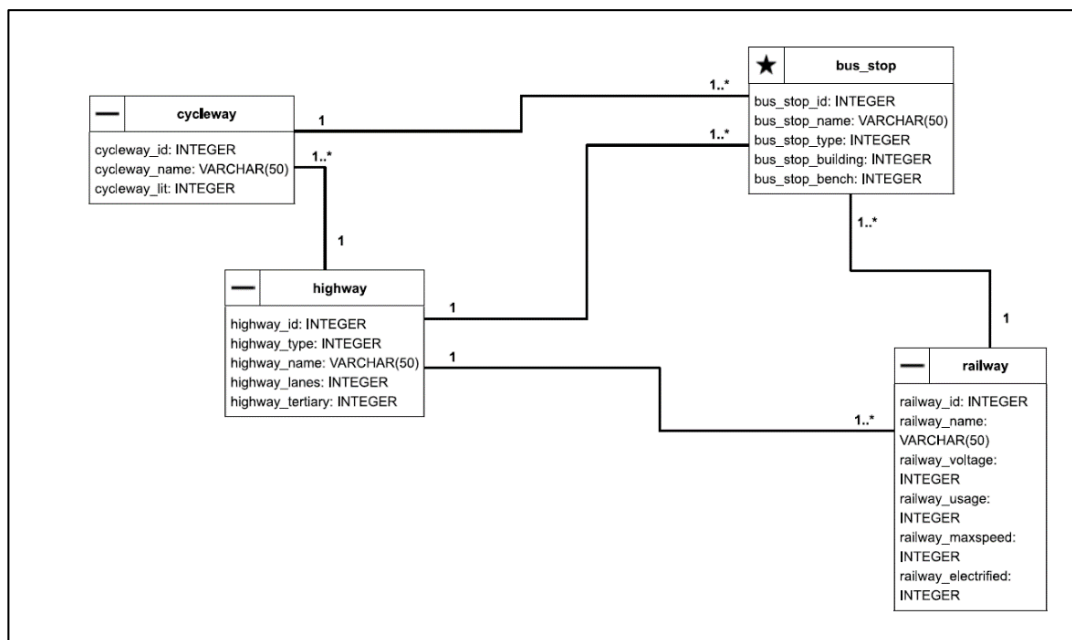


Рис. 2.3. UML діаграма логічної моделі.

За допомогою зовнішніх ключів встановлюються зв'язки в логічній моделі між різними таблицями. Це дозволяє забезпечити цілісність та узгодженість даних. Наприклад, в таблиці "Зупинки" може бути зовнішній ключ, який посилається на таблицю "Дороги", що вказує, на якій ділянках дороги є наявність зупинок громадського транспорту.

Логічна модель також включає обмеження цілісності, такі як унікальність ідентифікаторів, обов'язковість певних атрибутів, обмеження на діапазони

значень тощо. Ці обмеження забезпечують коректність та узгодженість даних у базі.

Для забезпечення конкретності та узгодження даних у базі, логічна модель включає обмеження цілісності, наприклад унікальність ідентифікаторів, обов'язковість атрибутів та обмеження на діапазони значень і т. д.

### 2.3 Створення каталогу об'єктів та їх атрибутів набору

Транспортна доступність є ключовим аспектом ефективного функціонування будь-якого міста. Щоб вивчати та оцінювати цей аспект, потрібна система збору та аналізу даних. Створення каталогу об'єктів та їх атрибутів набору є важливим етапом в процесі дослідження транспортної доступності міста Києва. Цей каталог формується на підґрунті концептуальної та логічної моделей бази даних, а також з урахуванням особливостей транспортної інфраструктури міста.

Цей каталог дає структурований та детальний опис елементів транспортної інфраструктури, їх властивостей, характеристик і взаємозв'язків. Для зберігання та використання даних щоб виконати аналіз транспортної доступності міста Київ він функціонує як спеціалізований довідник. (табл. 2.1)

Таблиця 2.1

Каталог містить відомості про наступні основні типи об'єктів:

№ з/п	Назва класу	Назва класу об'єкта англійською мовою	Код класу	Тип геометрії об'єкту
1	Автомобільні дороги	highway	01	
2	Залізничні колії	railways	02	
3	Зупинки громадського транспорту	bus stop	03	
4	Велосипедна доріжка	cycleway	04	

Автомобільні дороги: кожен шлях в каталозі має унікальний ідентифікатор, назву, та визначений тип ( motorway, trunk, primary і т.д.). Додатково вказується

його довжина, кількість смуг руху, максимальна дозволена швидкість, наявність освітлення, а також представлення у вигляді лінійного об'єкта. (табл. 2.2).

Таблиця 2.2

Атрибути класу об'єктів «Автомобільні дороги»

№	Коротка назва атрибуту	Назва атрибуту	Назва атрибуту англійською мовою	Код атрибуту	Тип даних
1	highway_id	Цифровий код дороги	Id	0101	integer
2	highway_type	Тип	Type	0101	integer
3	highway_name	Назва	Name	0102	varchar
4	highway_lanes	Смуги	Lanes	0103	integer
5	highway_tertiary	Головні вулиці міста	The main streets of the city	0105	integer

Залізничні колії: у каталозі залізничних шляхів міститься інформація про унікальний ідентифікатор, назву маршруту, тип (mainline, subway, tram і т. д.), кількість шляхів, наявність електрифікації, а також їх геометричне представлення у вигляді лінійного об'єкта. (табл. 2.3)

## Атрибути класу об'єктів «Залізнична колія»

№	Коротка назва атрибуту	Назва атрибуту	Назва атрибуту англійською мовою	Код атрибуту	Тип даних
1	railway_id	Цифровий код колії	Id	0201	integer
2	railway_name	Назва колії	Name	0202	varchar
3	railway_voltage	Електро напруга	Voltage	0203	integer
4	railway_usage	Використання	Usage	0204	integer
5	railway_maxspeed	Максимальна швидкість	Max speed	0205	integer
6	railway_electrified	Електро з'єднання	Electrofied	0206	integer

Зупинки громадського транспорту: у каталозі зупинок міститься інформація про унікальний ідентифікатор, назву, тип зупинки, наявність навісу та лавок, а також їх геометричне представлення у вигляді точкового об'єкта. (табл. 2.4)

Таблиця 2.4

## Атрибути класу об'єктів «Зупинки громадського транспорту»

№	Коротка назва атрибуту	Назва атрибуту	Назва атрибуту англійською мовою	Код атрибуту	Тип даних
1	bus_stop_id	Цифровий код зупинки	Bus stop Id	0301	integer
2	bus_stop_name	Назви зупинок	Bus stop name	0302	varchar
3	bus_stop_type	Тип зупинки	Bus stop type	0303	integer
4	bus_stop_building	Побудови на зупинці	building	0304	integer
5	bus_stop_bench	Наявність лавок	bench	0305	integer

Велосипедні доріжки: у каталозі вміщується інформація про доріжки, призначені для руху велосипедів, відомі як велосмуги, треки, та смуги, спільно використовані громадським транспортом та велосипедами.

(табл 2.5).

Таблиця 2.5

## Атрибути класу об'єктів «Велосипедна доріжка»

№	Коротка назва атрибуту	Назва атрибуту	Назва атрибуту англійською мовою	Код атрибуту	Тип даних
1	cycleway_id	Цифровий номер велосмуги	Id	0401	integer
2	cycleway_name	Назва	Name	0402	varchar
3	cycleway_lit	Освітлення	Lit	0403	integer

Кожен об'єкт у каталозі має унікальний ідентифікатор, який дозволяє чітко ідентифікувати його та встановлювати зв'язки з іншими записами у базі даних. Для кожного типу об'єктів обрано набір атрибутів, щоб надавати детальну і повну інформацію про їх характеристики для різних аналітичних застосувань у дослідженні транспортної доступності.

Створення такого деталізованого каталогу є важливим етапом у забезпеченні структурованої організації даних та їх ефективного використання у геоінформаційних системах. Цей крок дозволяє чітко визначити склад та властивості всіх об'єктів у базі геопросторових даних, забезпечуючи її цілісність, узгодженість та придатність для якісного аналізу транспортної доступності міста Києва.

Для аналізу транспортної доступності населеного пункту на прикладі міста Києва необхідно використовувати геопросторові дані транспортної мережі які створені у вигляді лінійно-вузлової моделі.

Лінійні об'єкти нижчих класів дорожньої мережі розділяються при проходженні через дороги вищого класу. У результаті, в місцях перетину цих об'єктів, на об'єкті дороги вищого класу створюються вузлові точки. Якщо об'єкт автомобільної дороги нижчої категорії перетинає дорогу вищої, у дорозі нижньої категорії повинен бути розрив, а не продовження на перехресті.

Зі зміною атрибутивних характеристик дороги виконується сегментація і утворюється ділянка. У місцях дотику ділянок між собою повинні бути вузли вулично-дорожньої мережі. Перша та остання точки ділянки відносяться до класу вузлових точок, в яких забезпечується топологічно коректне з'єднання ділянки з іншими ділянками, осьовими лініями, магістральними та іншими вулицями, мостовими спорудами, естакадами тощо. Осьова лінія дороги повинна співпадати з осьовою лінією споруди, по якій вона проходить (наприклад, естакада, мостова споруда).

Лінійна модель з точковим об'єктом в місцях дотику повинна утворювати вузол.

**РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНДАРТНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ  
АНАЛІЗУ ТРАНСПОРТНОЇ ДОСТУПНОСТІ  
ЗАСОБАМИ ARCGIS I QGIS**

### 3.1 Опис алгоритмів аналізу транспортної доступності в геоінформаційних системах

Побудову ізохрон транспортної доступності міста Київ пропонується виконувати за таким алгоритмом для QGIS.

1) отримуємо та підготовлюємо дані про дорожню мережу, дані про зупинки громадського транспорту та велодоріжки:

– викачуємо дані з OpenStreetMap за допомогою плагіна OSM Downloader;

– призначення кількісних характеристик об'єктам дорожньої мережі;

2) моделювання поверхні транспортної доступності.

– підготовка проєкту та обробка даних в GRASS GIS.

– побудова ізохрон.

– графічне представлення результату.

Отримуємо та підготовлюємо дані про дорожню мережу, мережу залізничних колій, дані про зупинки громадського транспорту та велодоріжки.

У першому етапі роботи, який стосується отримання та підготовки даних, ми здійснюємо комплексну процедуру, спрямовану на забезпечення необхідних вихідних даних для подальшого аналізу транспортної доступності.

Для отримання вихідних геопросторових даних ми здійснюємо використання плагіна OSM Downloader (рис. 3.1.), який є одним із ключових інструментів у середовищі QGIS для роботи з даними з OpenStreetMap. Цей плагін надає зручний інтерфейс для звернення до бази даних OSM та витягує необхідну інформацію про географічні об'єкти, такі як дороги, зупинки громадського транспорту та вело доріжки.



Рис. 3.1. OSM Downloader

Для подальшого аналізу та моделювання транспортної доступності необхідно надати додаткові характеристики дорожній мережі. Це включає в себе

інформацію про швидкість руху на дорогах, тип дороги (наприклад, автомагістралі, міські дороги тощо), кількість смуг руху, а також наявність велосипедних доріжок. Ці параметри визначаються на основі аналізу даних та додаткових джерел інформації, щоб врахувати всі аспекти, які впливають на транспортну доступність та реалістично моделювати її у подальшому аналізі.

Моделювання поверхні транспортної доступності.

У цьому кроці ми переходимо до GRASS GIS, середовища для геопросторового аналізу та обробки даних. Спочатку ми створюємо новий проект і завантажуюмо вихідні дані, які ми підготували раніше в QGIS. Потім проводимо геореференцію, тобто встановлюємо просторовий контекст для наших даних, щоб вони відображали реальні географічні об'єкти та їх положення на мапі. Після цього ми перевіряємо точність геодезичних даних, використовуючи доступні інструменти перевірки якості даних, такі як перекреслення з іншими джерелами або аналіз аномалій.

Після підготовки даних ми переходимо до моделювання транспортної доступності шляхом побудови ізохрон. Ізохрони - це області на карті, які можна досягти з певної точки протягом певного часу. За допомогою GRASS GIS ми застосовуємо алгоритми маршрутизації, такі як алгоритм Дейкстри або алгоритм A\*, для визначення найшвидших маршрутів до різних областей з точки вихідного місця. Після цього ми використовуємо ці маршрути для побудови ізохрон, враховуючи різні типи транспортних засобів та їх характеристики, такі як швидкість руху, тип дороги, наявність велосипедних доріжок тощо. Результатом цього кроку є побудовані ізохрони, які відображають області, які можна досягти з точки вихідного місця за різний час подорожі, що є важливим показником транспортної доступності.

Алгоритм побудови ізохрон транспортної доступності міста Київ для ArcGIS.

- 1) Підготовка та отримання даних про дорожню, дані про зупинки громадського транспорту та велодоріжки.

- для цього дослідження можемо також використовувати викачані дані з OSM Downloader.

- аналізуємо та підготовлюємо отриманні дані для побудови ізохрон.

## 2) Виконання побудови ізохрон.

- виконуємо підготовку даних та обробляємо їх.

- створюємо ізохрону за допомогою інструмента Network Analyst

- графічне представлення результату.

Підготовка та отримання даних про дорожню, мережу залізничних колій, дані про зупинки громадського транспорту та велодоріжки.

Перший крок полягає в завантаженні необхідних геопросторових даних з мережею доріг, залізничних колій, зупинками громадського транспорту та велодоріжками з OSM Downloader. Використовуючи інструменти для завантаження даних або шляхом вручного завантаження векторних шарів, ми отримуємо необхідну інформацію для подальшого аналізу.

Отримані дані піддаються аналізу та підготовці для побудови ізохрон транспортної доступності. Цей крок включає в себе перевірку та виправлення будь-яких виявлених проблем у даних, таких як відсутність атрибутів, невідповідності типів даних тощо, а також встановлення додаткових атрибутів, таких як швидкість руху на дорогах, наявність велосипедних доріжок тощо.

### Виконання побудови ізохрон

Завантажені та підготовлені дані обробляються з використанням інструментів ArcGIS для створення мережі доріг та інших транспортних об'єктів. Цей процес включає в себе геопроектинг, топологічні перевірки та інші операції для забезпечення якості та цілісності даних.

Використовуючи інструменти Network Analyst (рис. 3.2.) у ArcGIS, ми розраховуємо ізохрони транспортної доступності. Цей процес включає в себе використання алгоритмів маршрутизації для визначення найшвидших

маршрутів від кожної точки вихідного місця та побудови ізохрон, які показують області, досяжні з цих точок протягом певного часу.



Рис. 3.2. Інструмент Network analyst

Отримані ізохрони транспортної доступності представляються у вигляді векторних шарів на карті, які можна використовувати для подальшого аналізу та візуалізації результатів. Графічне представлення також може включати додаткові шари, такі як дорожня мережа, залізничні колії та зупинки громадського транспорту, для кращого розуміння контексту та планування подальших заходів.

У цьому пункті були розроблені та описані алгоритми побудови ізохрон транспортної доступності для міста Київ у середовищах ArcGIS та QGIS. Ці алгоритми є потужними інструментами для вивчення та аналізу транспортної доступності в місті.

Побудовані ізохрони дозволять провести детальний аналіз доступності різних об'єктів та послуг для мешканців міста. Наприклад, вони допоможуть визначити, які райони міста можуть бути досягнуті за певний час з різних точок, що є важливим для планування розміщення нових об'єктів, таких як школи, магазини чи медичні заклади. Крім того, аналіз ізохрон дозволить виявити райони з недостатньою транспортною доступністю, що може бути

корисно для розробки стратегій удосконалення транспортної інфраструктури та громадського транспорту.

### **3.2 Виконання аналізу транспортної доступності в середовищі QGIS**

QGIS (Quantum GIS): Це вільне програмне забезпечення для створення, редагування, візуалізації та аналізу геопросторових даних. QGIS має інтуїтивний і дружній інтерфейс користувача, що дозволяє легко працювати з геоданими без необхідності великого технічного досвіду. Це робить його популярним серед

геодезистів, які потребують доступу до різних інструментів для обробки та аналізу геоданих.

GRASS GIS (Geographic Resources Analysis Support System): Це відкрите програмне забезпечення для обробки та аналізу геопросторових даних та їхнього моделювання. GRASS GIS має багатий функціонал, включаючи моделювання терену, аналіз гідрологічних процесів, обробку зображень та багато іншого. Цей пакет програмного забезпечення добре відомий своєю потужністю та гнучкістю, але вимагає трохи більшої технічної експертизи для ефективного використання.

Отримуємо та підготовлюємо дані про дорожню мережу, дані про зупинки громадського транспорту та велодоріжки:

1. Був доданий до QGIS шар з даними доріг міста Київ (рис. 3.3.).

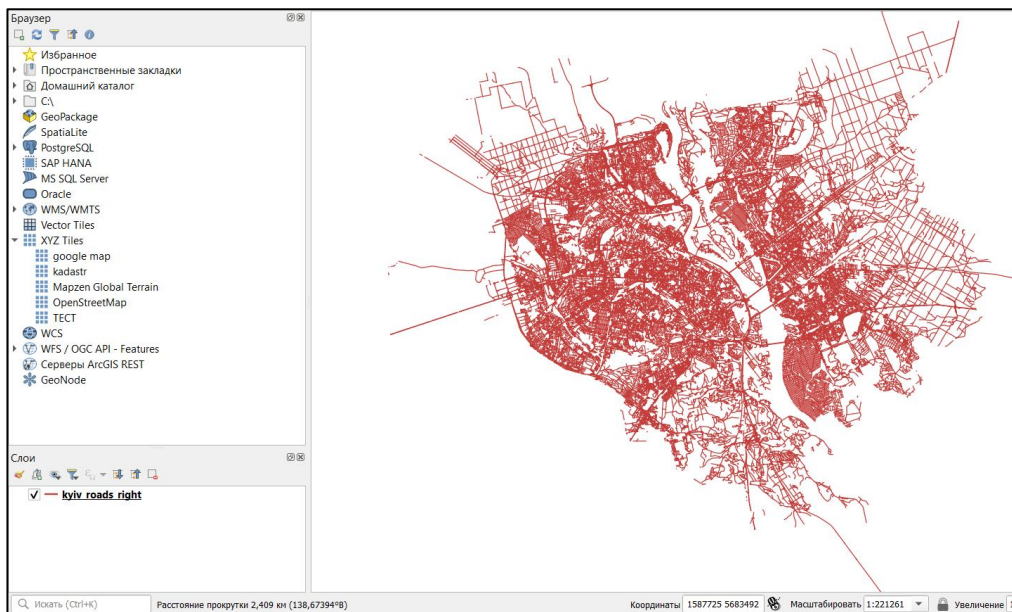


Рис. 3.3. Шар з даними доріг міста Київ в QGIS

2. Були збереженні дані в share файл та змінено систему координат на EPSG:5564 (рис. 3.4.).

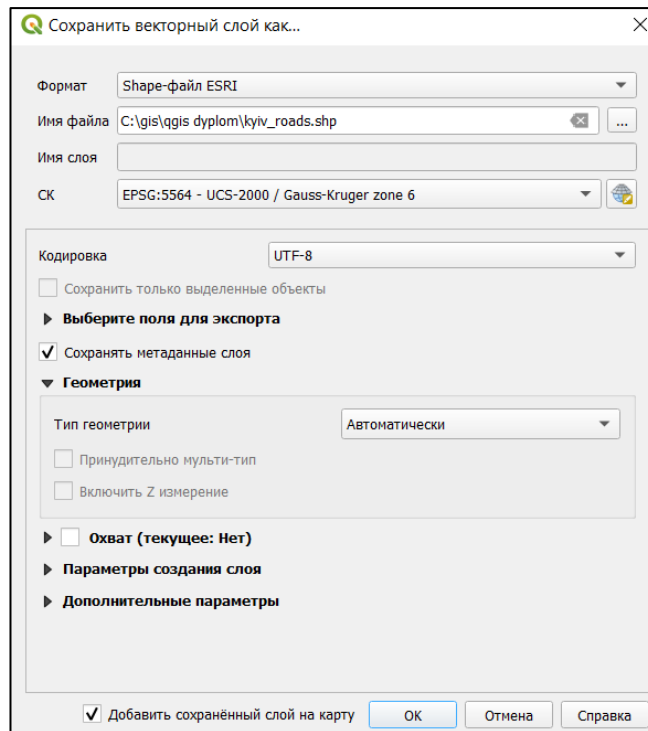


Рис. 3.4. Збереження в share файл даних доріг міста Київ

3. Додали поле швидкості (SPEED) та задали її для кожного об'єкта highway (рис. 3.5).

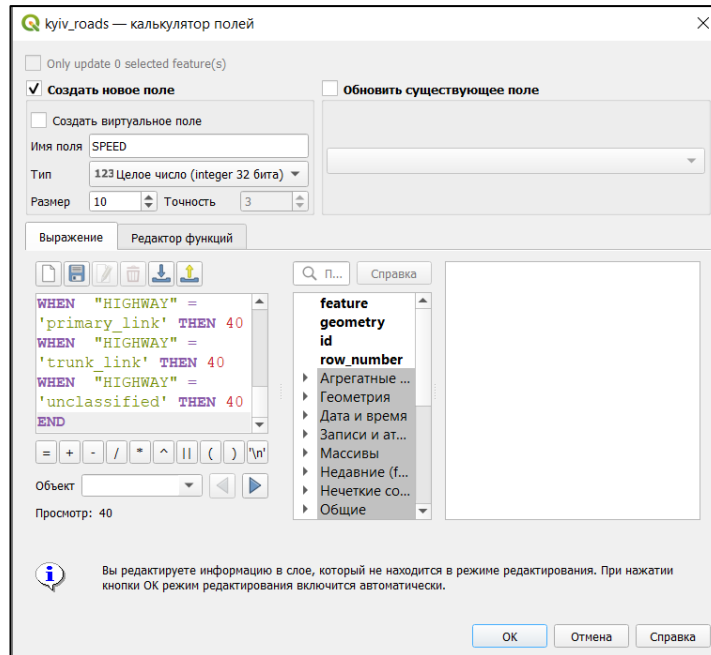


Рис. 3.5. Створення поля SPEED

4. Створили поле довжин (LENGTH) за допомогою рівняння  $\$length/1000$  (рис. 3.6.).

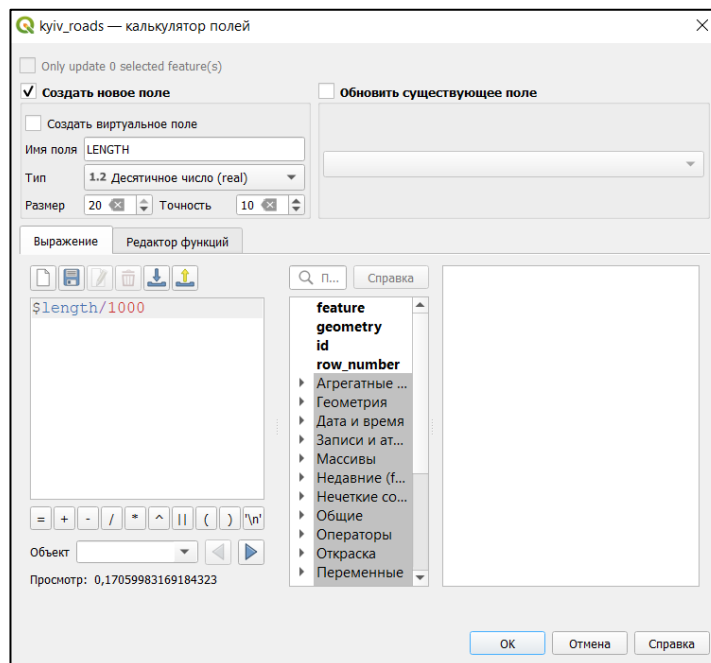


Рис. 3.6. Створення поля LENGTH

5. Після отримання потрібних нам розрахунків, приступили до створення поля часу (TIME). Довжину поділили на швидкість та помножили на 60 (для побудови ізохрон в хвилинали) (рис. 3.7.).

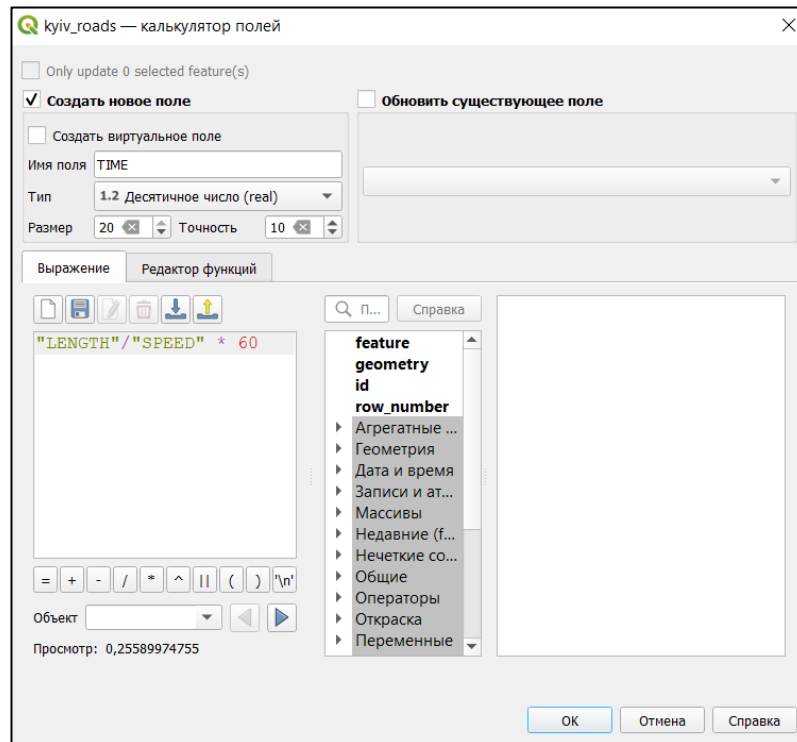


Рис. 3.7. Створення поля TIME

6. Після всіх розрахунків перейшли до GRASS GIS , де почали підготовку даних для виконання побудови ізохрон.

Спочатку додали шар з нашими дорогами. Для цього було використано інструмент імпорту векторних даних( Import vector data) або v.import.(Рис. 3.8.)

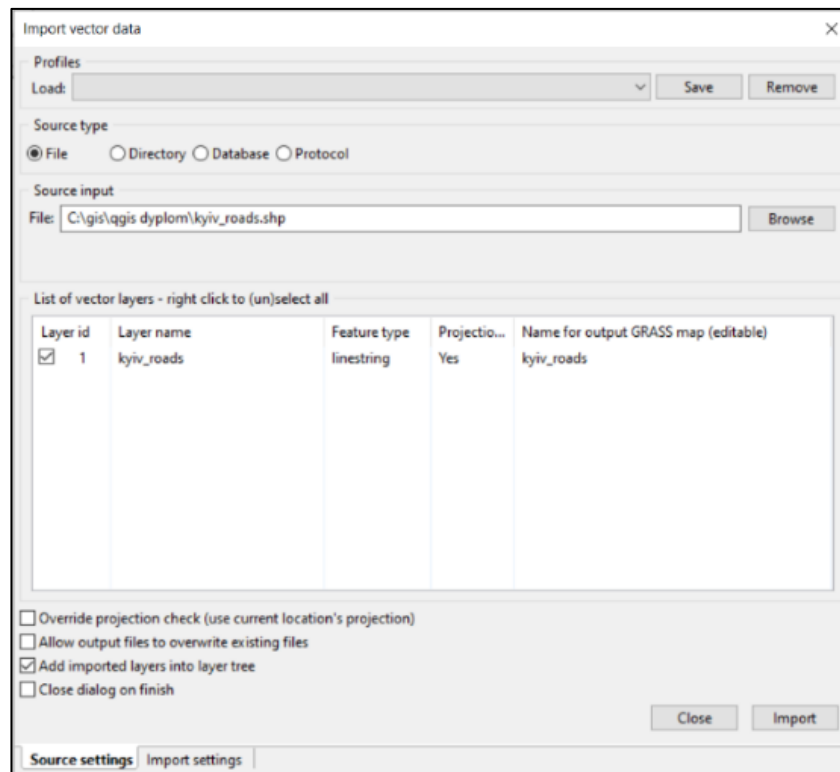


Рис. 3.8. Вікно імпорту слоїв (v.import)

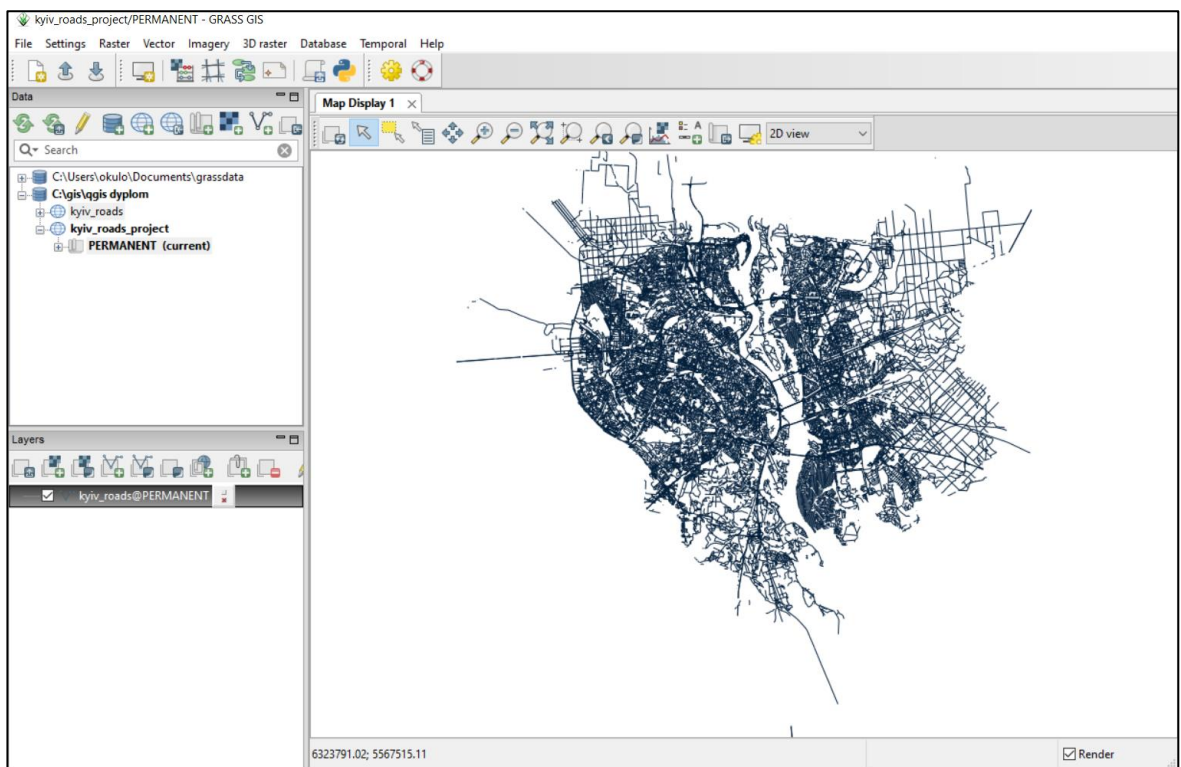


Рис. 3.9. Імпортований шар доріг міста Київ в GRASS GIS

7. Після додавання шару з дорогами було додано шар з необхідними нам точками від яких і буде побудована наша ізохрона.

Для цих точок було обрано три об'єкти (рис. 3.12).

- 1) Київській національний університет будівництва та архітектури
- 2) Головна астрономічна обсерваторія Національної академії наук України
- 3) ДНВП “Картографія”

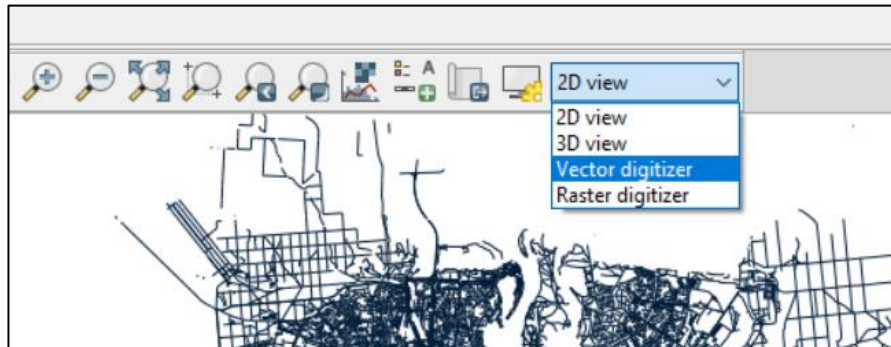


Рис. 3.10. Змінили режим 2D view в режим оцифровки (Vector digitizer)

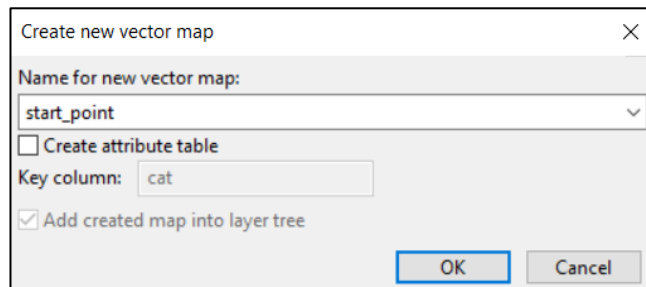


Рис. 3.11. Створили шар start\_point на якому і будуть розміщені точки

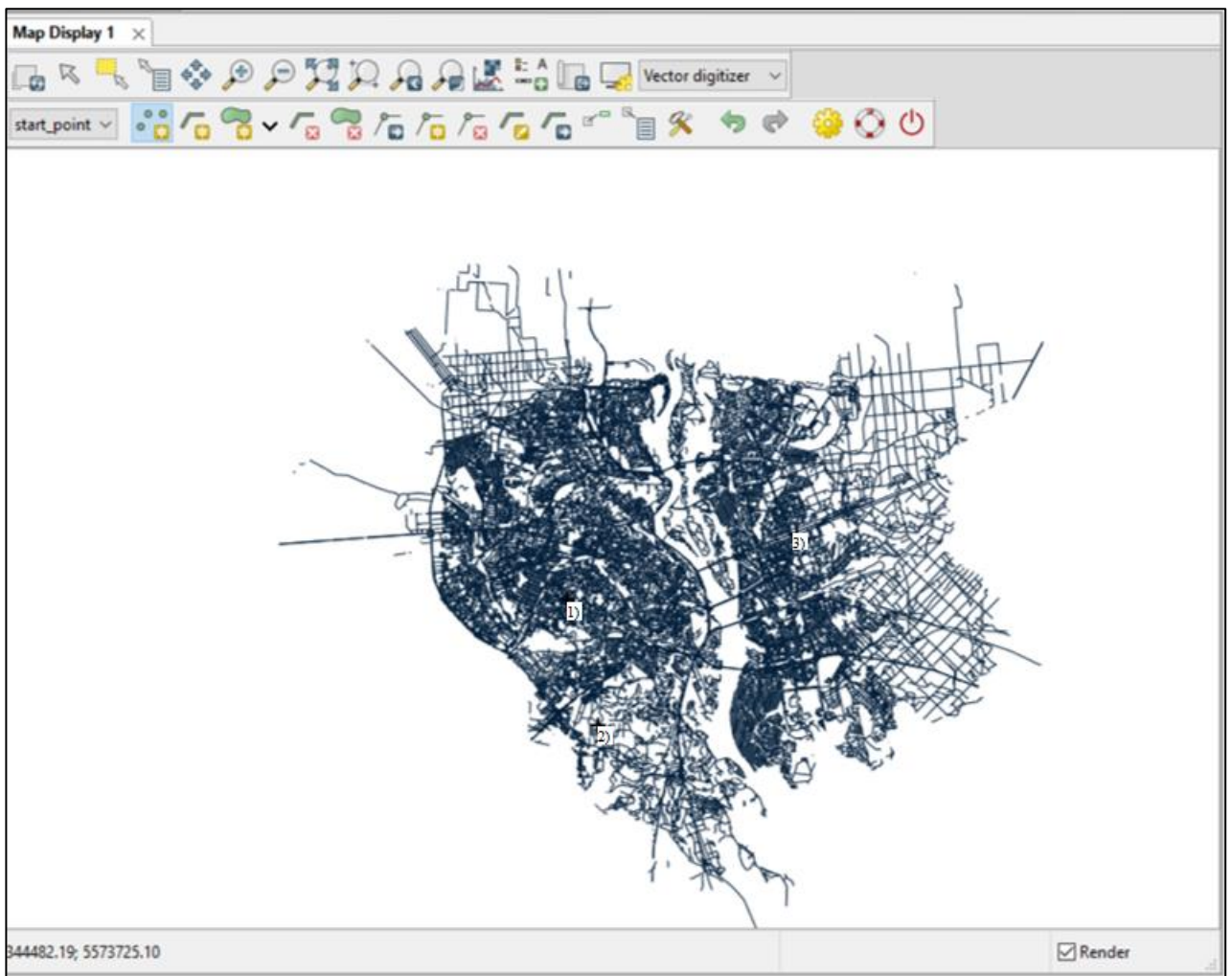


Рис. 3.12. Виставлені потрібні точки

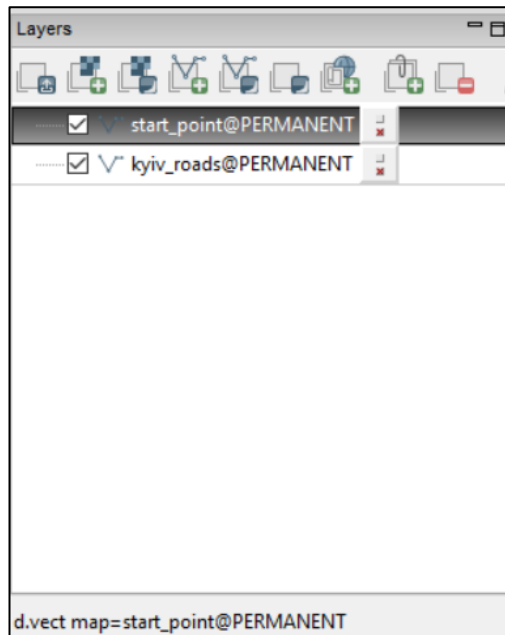


Рис. 3.13. Шар з точками успішно додався

8. Для створення мережевого аналізу, набір лінійних даних було перетворено на набір мережевих даних інструментом v.net.

За допомогою цього інструменту було вибрано потрібний метод nodes, потім на вкладці Arcs був вибраний шар (рис. 3.14 – 3.15).

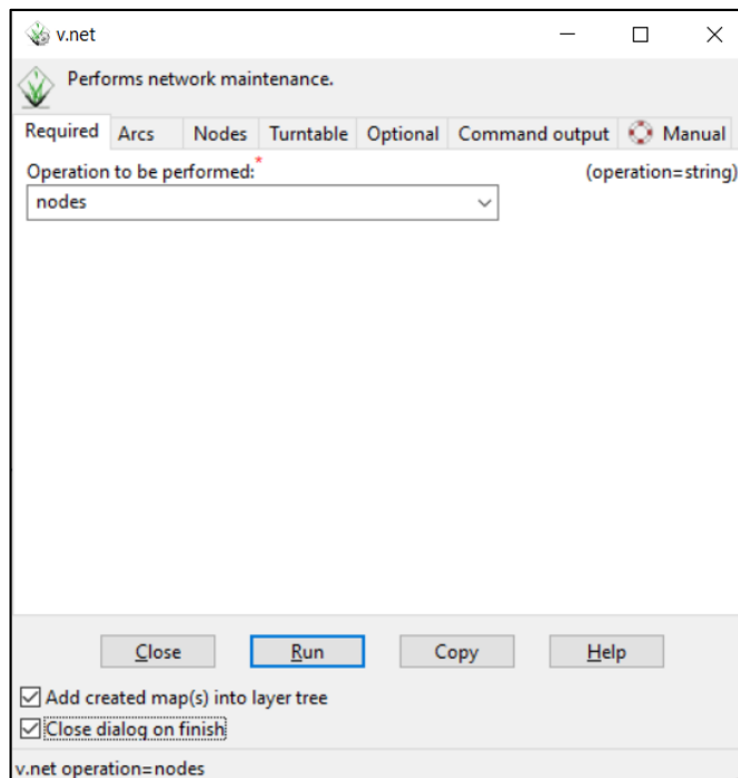


Рис. 3.14. Інструмент v.net в якому застосовано операцію nodes

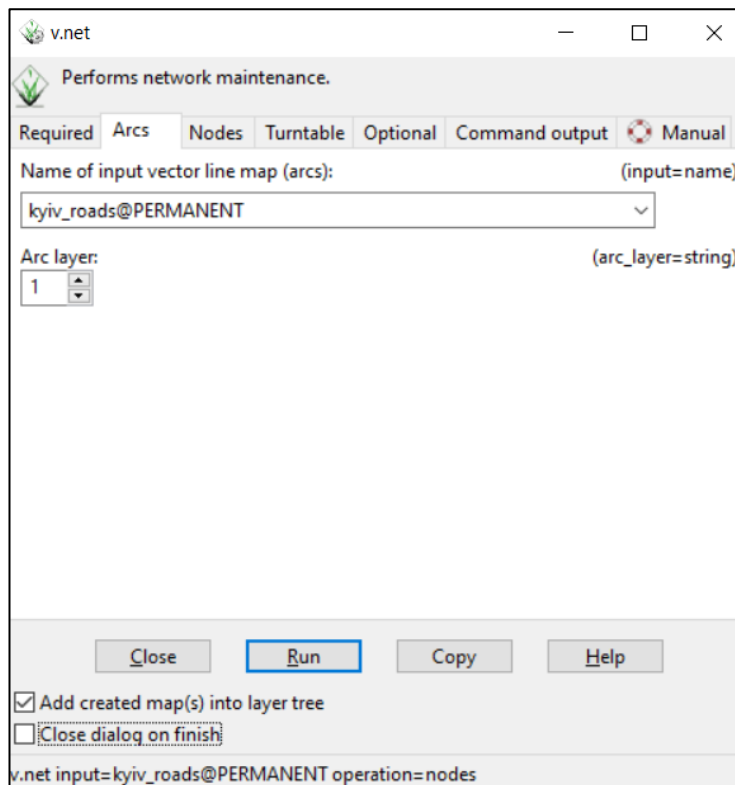


Рис. 3.15. Вибрано вихідний шар доріг

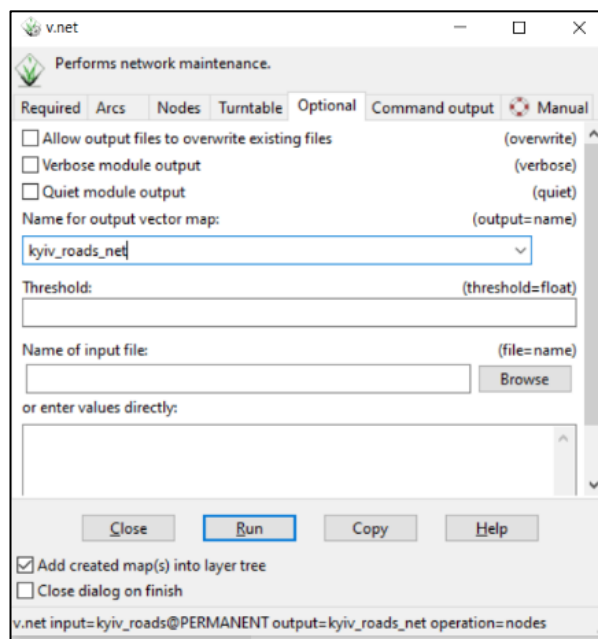


Рис. 3.16. В вкладці Optional введено ім'я для результативного набору

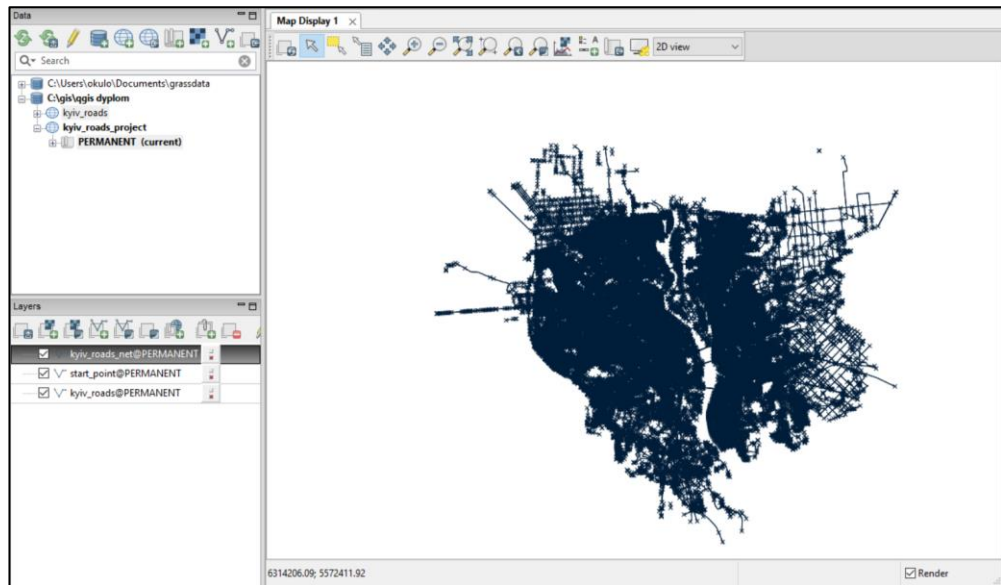


Рис. 3.17. Отримано результат перетворення

9. Останнім кроком підготовки даних було використання інструменту `g.region` (рис. 3.18.) для завдання регіону та дозволу для моделювання.

У рядку `Set region to match vector maps` було вибрано наш шар `kyiv_roads_net` який був створений на попередньому кроці.

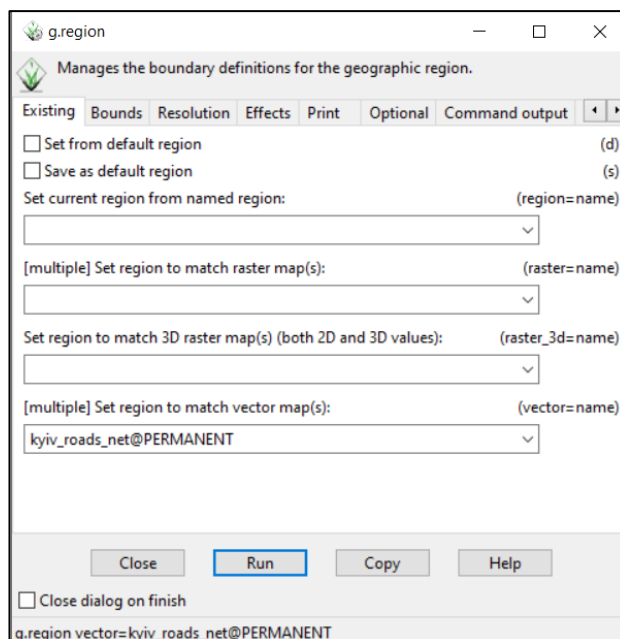


Рис. 3.18. Інструмент `g.region`

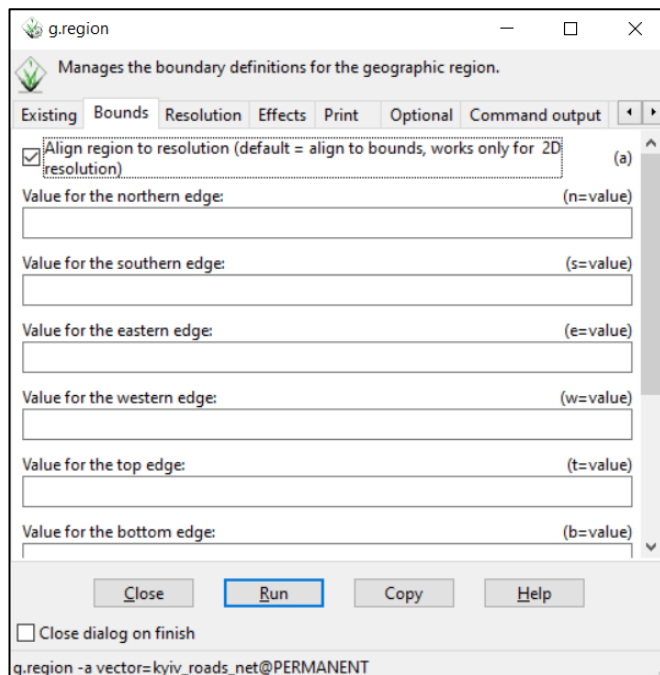


Рис. 3.19. У вкладці границь додано прапорець до рядка Align region to resolution

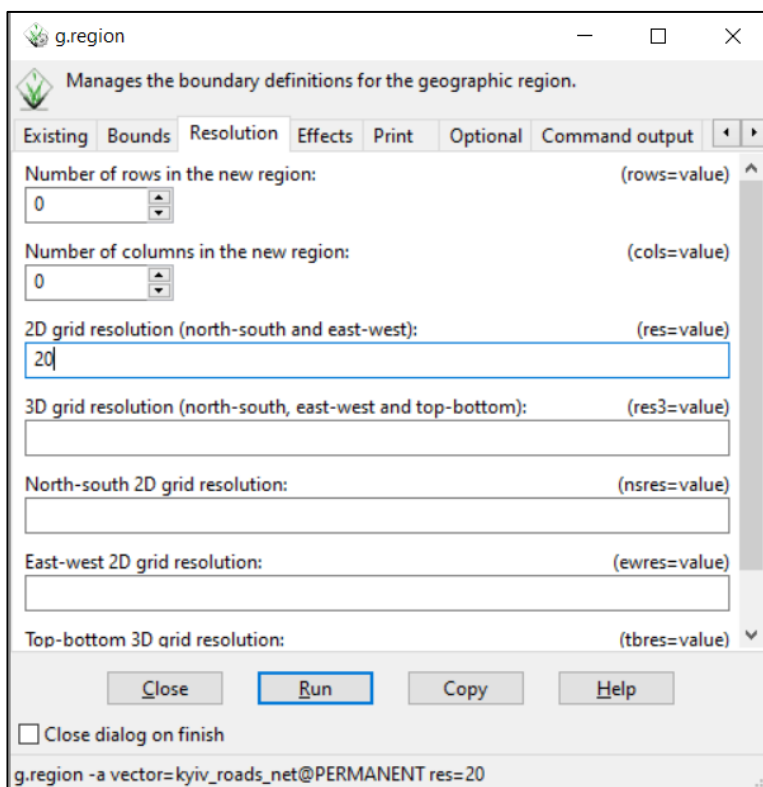


Рис. 3.20. В рядку 2D grid resolution додали підходяще нам значення

10. Початок побудови ізохрон за допомогою інструменту v.isochrones, у вкладці Required в першому рядку обрано наш шар з набором мережевих даних від якого і буде будуватися ізохрона, в другому рядку значення 1, обрано в третьому рядку атрибут з даними про ліміт швидкості. Далі вибрано шар з точками від яких буде будуватися ізохрона. І додано інтервали часу для побудови ізохрон. (рис. 3.21. – 3.22.)

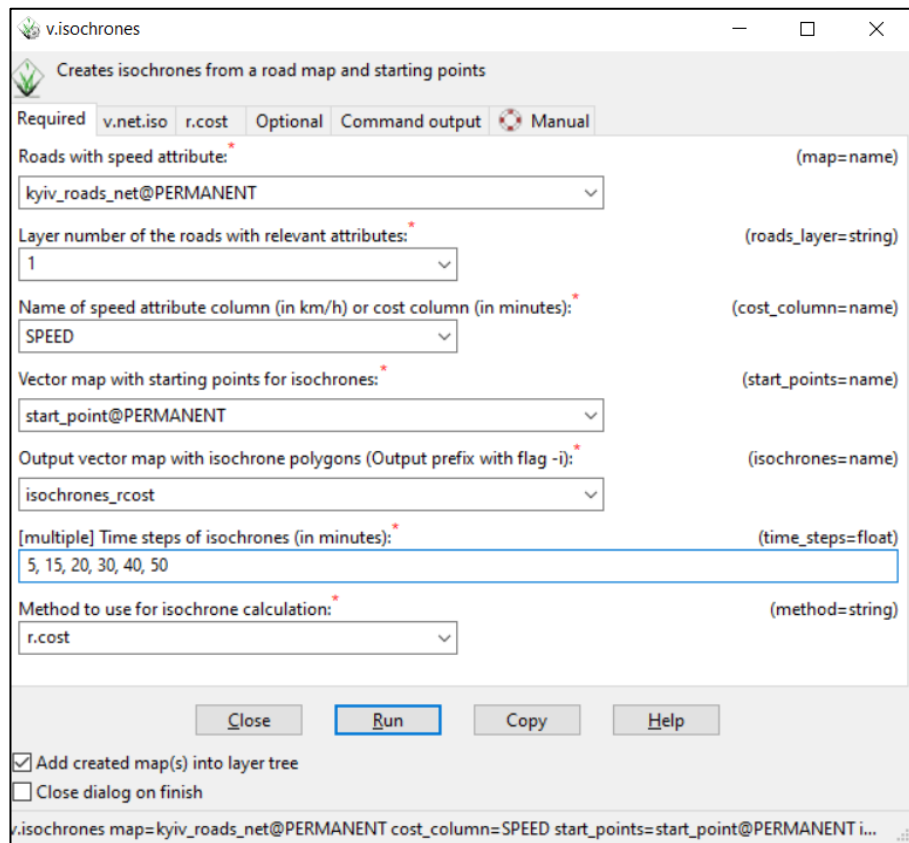


Рис. 3.21. Інструмент v.isochrone, вкладка Required

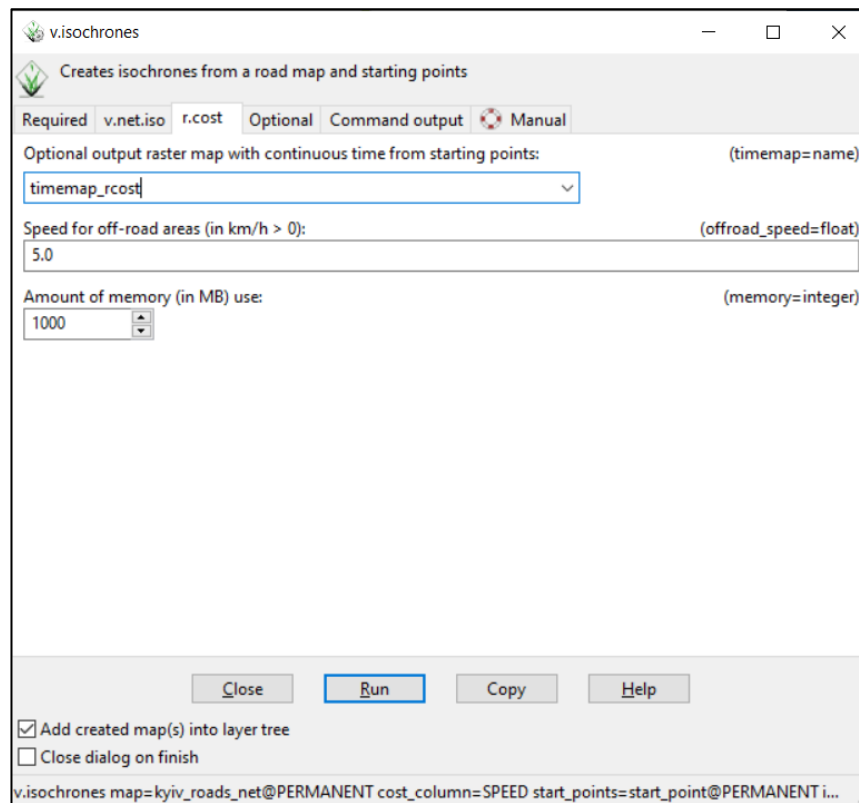


Рис. 3.22. Введено назву шару в якому будуть зберігатися дані(timemap\_rcost) в вкладці r.cost

11. Після виконання побудови ізохрони отримано результати (рис. 3.23. – 3.24.).

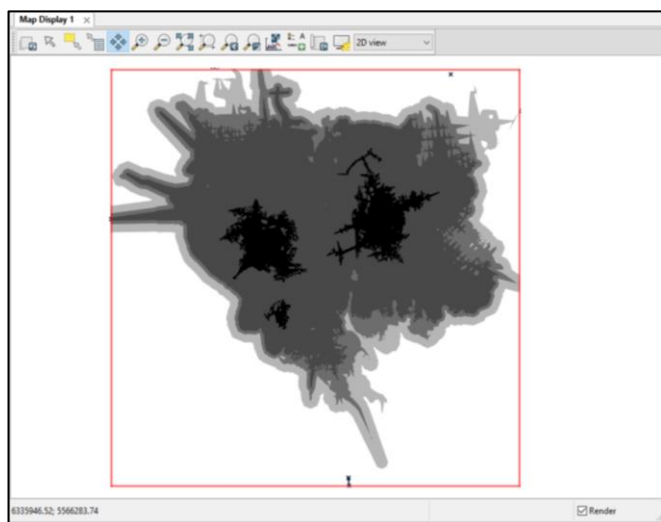


Рис. 3.23. Результат побудови ізохрони в шарі isochrones\_rcost

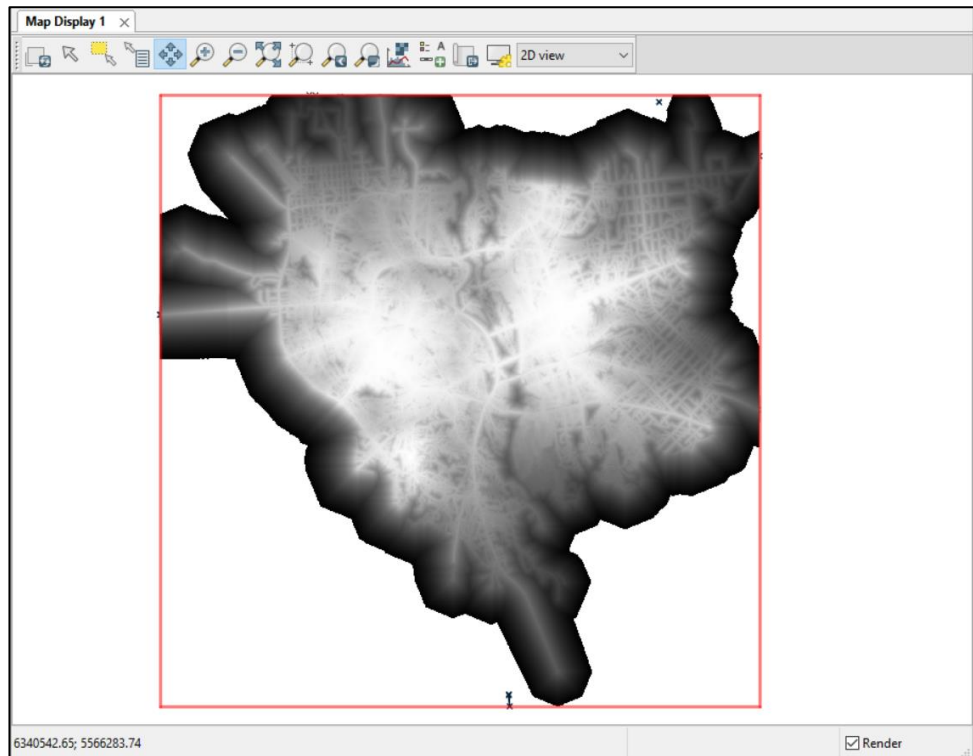


Рис. 3.24. Результат побудови ізохрони в шарі тиметар

12. За допомогою інструменту `v.out.ogr` було збережено шар `isochrones_rcost` в shape файл (рис. 3.25.).

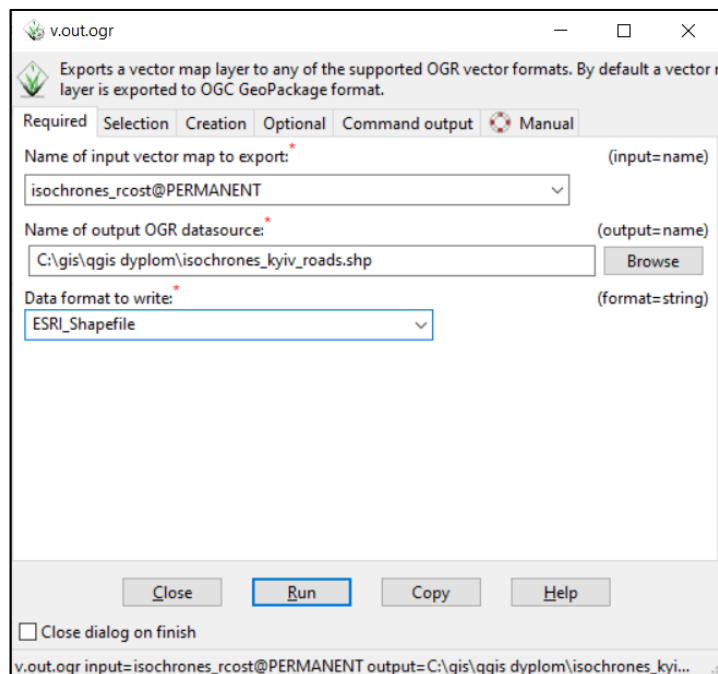


Рис. 3.25. Вікно інструменту `v.out.ogr`

13. І також збережено шар `timemap_rcost` в форматі `.tif` за допомогою інструменту `r.out.gdal` (рис. 3.26.).

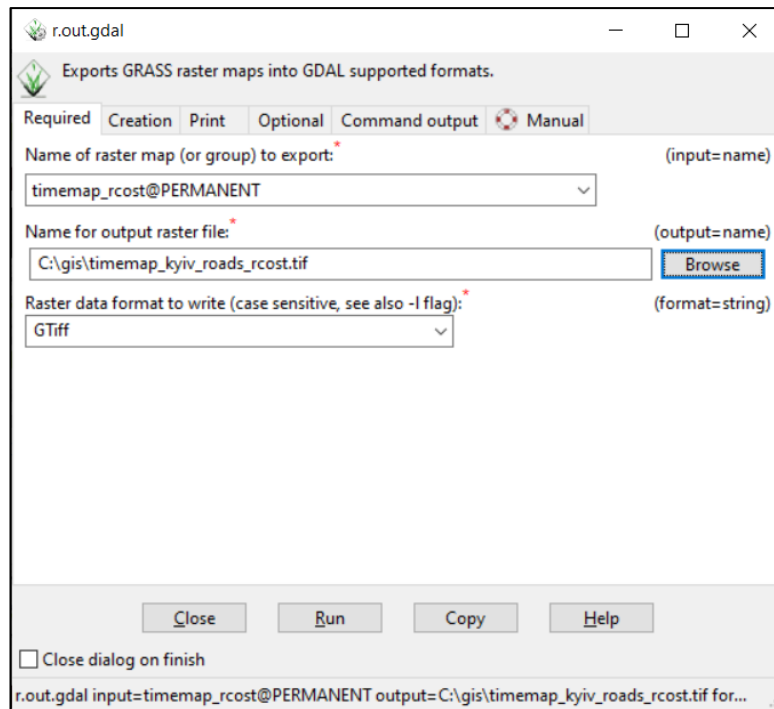


Рис. 3.26. Вікно інструменту `r.out.gdal`

Графічне представлення результату.

14. Після цього було додано нашу ізохрону до QGIS де оформили її та додали для візуалізації шар OpenStreetMap (рис. 3.27. – 3.28.).

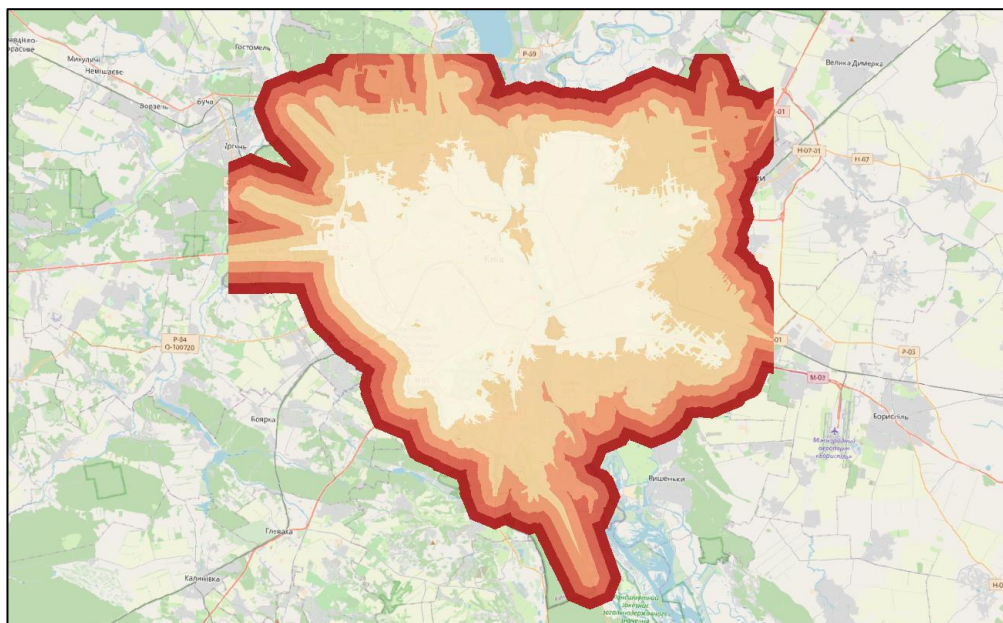


Рис. 3.27. Ізохрона в QGIS

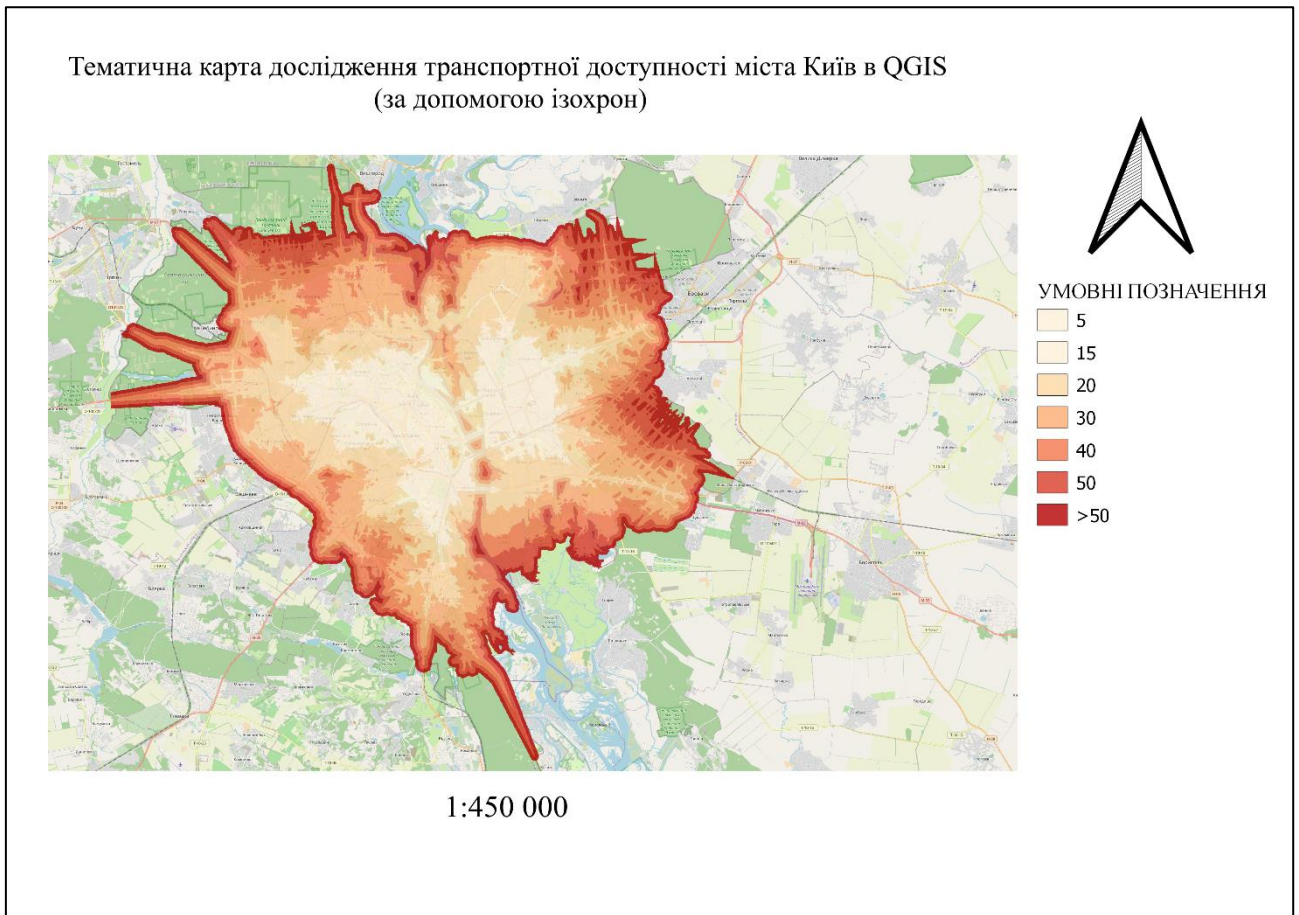


Рис. 3.28. Результат експорту у зображення

В даній роботі було проведено аналіз та побудова ізохрон транспортної доступності за допомогою середовищ QGIS та GRASS GIS. Результати дозволяють візуалізувати зони доступності до вибраних точок за різних умов дорожнього руху та швидкості пересування. Використання таких інструментів дозволяє ефективно планувати транспортну інфраструктуру, визначати оптимальні маршрути та здійснювати аналіз доступності для населення. Результати цієї роботи можуть бути корисними для різноманітних сфер, таких як міське планування, туризм, географічна аналітика та інші галузі, де важлива оцінка доступності об'єктів і територій.

### 3.3 Виконання аналізу транспортної доступності в середовищі ArcGIS

ArcGIS - це інтегрована система географічної інформації (GIS), розроблена компанією Esri (Environmental Systems Research Institute). Ця система включає в себе набір програмних продуктів та інструментів, які дозволяють створювати, аналізувати, візуалізувати та управляти географічною інформацією та спрощують прийняття рішень на основі просторових даних. ArcGIS використовується в різних сферах, включаючи географію, геологію, екологію, містобудування, геополітику, геомаркетинг та інші галузі. Вона має широкий спектр функцій, таких як картографія, аналіз просторових відносин, моделювання, відображення та спільна робота над геоданими. ArcGIS надає можливість використовувати географічні дані для вирішення різноманітних завдань у наукових, комерційних та громадських проектах.

Підготовка та отримання даних про дорожню, мережу залізничних колій, дані про зупинки громадського транспорту та велодоріжки.

1. Спочатку завантажили до ArcGIS дані доріг(highway) міста Київ, туди входять такі атрибути як motorway, trunk, primary, secondary, tertiary і т.д (рис. 3.29.).

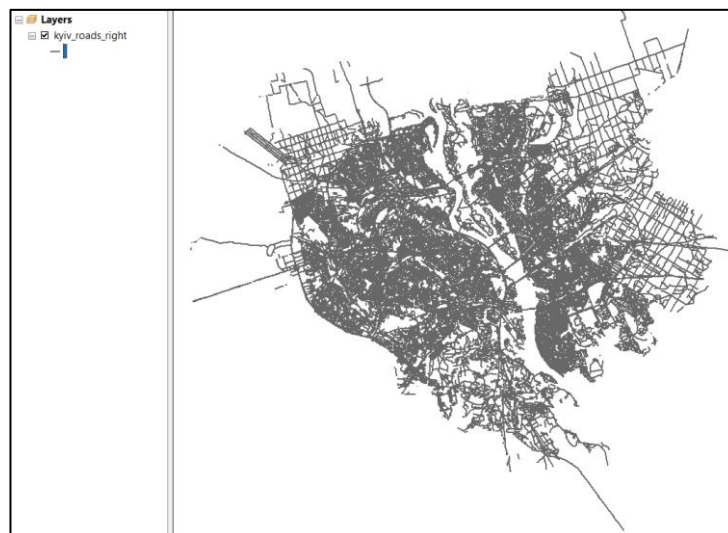


Рис. 3.29. Завантажені дані доріг міста Київ

2. Потім додали колонки атрибутів L(length) та Time.

Довжину (L) ми вирухували за допомогою Розрахунку геометрії, час (Time) був порахований взявши довжину та поділили на середню швидкість автомобіля (60 км/год.), а потім отриманий результат помножено на 60 для того щоб дані були в хвиликах (рис. 3.30.).

FID	Shape *	fid 1	osm_id	name	highway	L	Time
0	Polyline	1	4319972	Володимирська вулиця	residential	0,08443	0,126645
1	Polyline	2	4319974	Набережно-Хрещатицька вулиця	primary	0,247007	0,164671
2	Polyline	3	4327781	вулиця Ревуцького	secondary	0,375709	0,375709
3	Polyline	4	4327811	вулиця Зої Гайдай	secondary	0,074072	0,074072
4	Polyline	5	4327812	Йорданська вулиця	secondary	0,059508	0,059508
5	Polyline	6	4327816	Оболонський проспект	residential	0,073119	0,109679
6	Polyline	7	4327817	вулиця Героїв полку «Азов»	secondary	0,211561	0,211561
7	Polyline	9	4335311	Мала Житомирська вулиця	residential	0,401482	0,602223
8	Polyline	10	4335942	Південний міст	trunk	0,954197	0,636131
9	Polyline	11	4336149	Набережне шосе	primary	0,19661	0,131073
10	Polyline	12	4336290	Контрактова площа	tertiary	0,085482	0,085482
11	Polyline	13	4336291	Турівська вулиця	residential	0,723312	1,08497
12	Polyline	14	4336295	Юрківська вулиця	residential	0,564606	0,846909
13	Polyline	15	4336296	Оболонська вулиця	residential	0,886535	1,3298
14	Polyline	16	4336297	Введенська вулиця	residential	0,735076	1,10261
15	Polyline	17	4336299	Щекавицька вулиця	residential	0,070422	0,105633
16	Polyline	18	4336301	вулиця Хорива	residential	0,174448	0,261672
17	Polyline	19	4352880	Рильський провулок	residential	0,222035	0,333053
18	Polyline	20	4352885	Малопідвально вулиця	residential	0,263305	0,394958
19	Polyline	21	4352886	провулок Тараса Шевченка	residential	0,133813	0,200719
20	Polyline	22	4352888	Володимирський проїзд	residential	0,07222	0,10833
21	Polyline	23	4352893	вулиця Верхній Вал	secondary	0,01755	0,01755
22	Polyline	24	4352895	Ярославський провулок	residential	0,15392	0,23088
23	Polyline	25	4352898	Костельна вулиця	residential	0,030301	0,045452
24	Polyline	26	4352903	Круглоуніверситетська вулиця	residential	0,461611	0,692416
25	Polyline	27	4352910	Рогнідинська вулиця	tertiary	0,162844	0,162844
26	Polyline	28	4352913	Ділова вулиця	tertiary	0,262245	0,262245
27	Polyline	29	4352918	Новогоспітальна вулиця	residential	0,058013	0,087019
28	Polyline	30	4352920	вулиця Михайла Омеляновича-Павленка	secondary	0,029601	0,029601

Рис. 3.30. Таблиця атрибутів слоя з даними доріг міста Київ

3. Після роботи в таблицях атрибутів ми через каталог (рис. 3.31.) створюємо базу даних для шейп файлу наших доріг міста Київ.

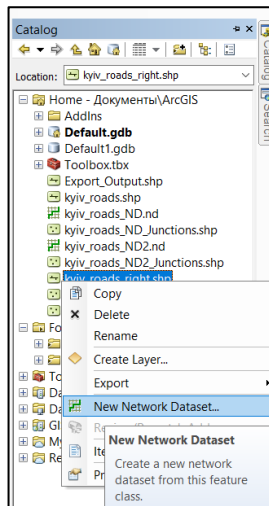


Рис. 3.31. Каталог в середовищі ArcGIS

4. Було додано назву для нашої бази даних.(Для кращого розуміння залишено назву слоя та додано ND2 (Network Data) (рис.3.32.)

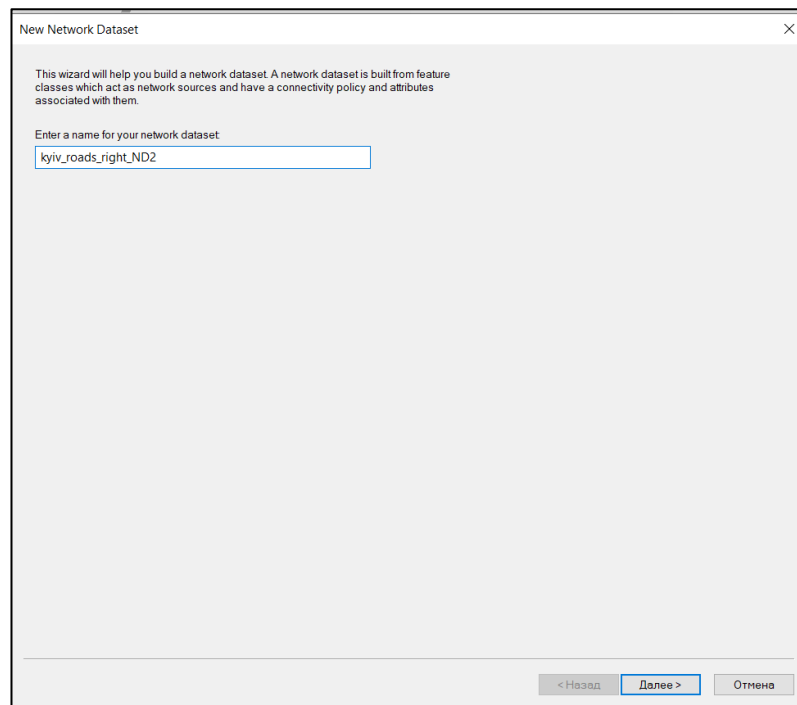


Рис. 3.32. Інтерфейс створення бази даних

5. Далі в меню зв'язковість(Connectivity) змінено правила зв'язності з кінцевої точки(End point) на будь-яка вершина(Any Vertex) (рис. 3.33.).

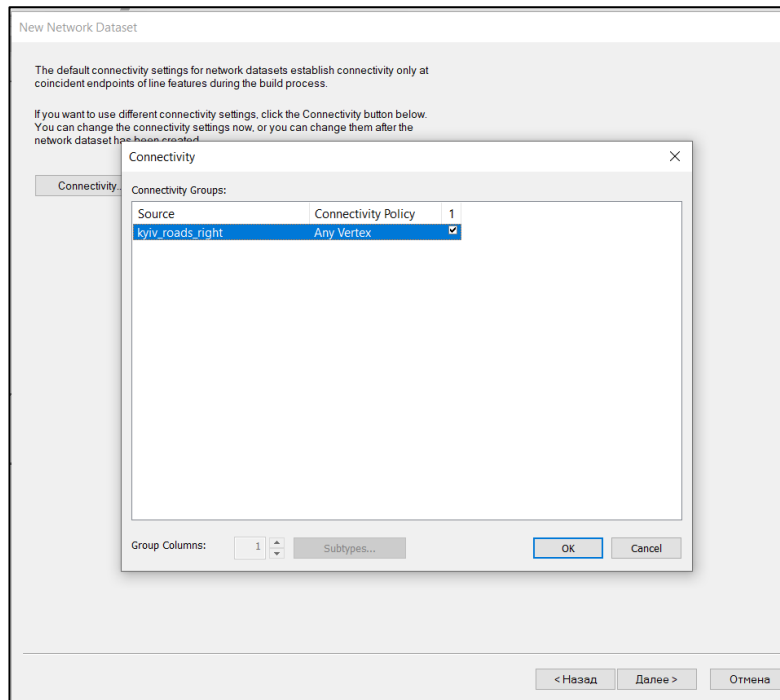


Рис. 3.33. Вікно зв'язності

6. Додано набір мережевих даних Time з одиницею вимірювання хвилини (minutes) (рис. 3.34.)

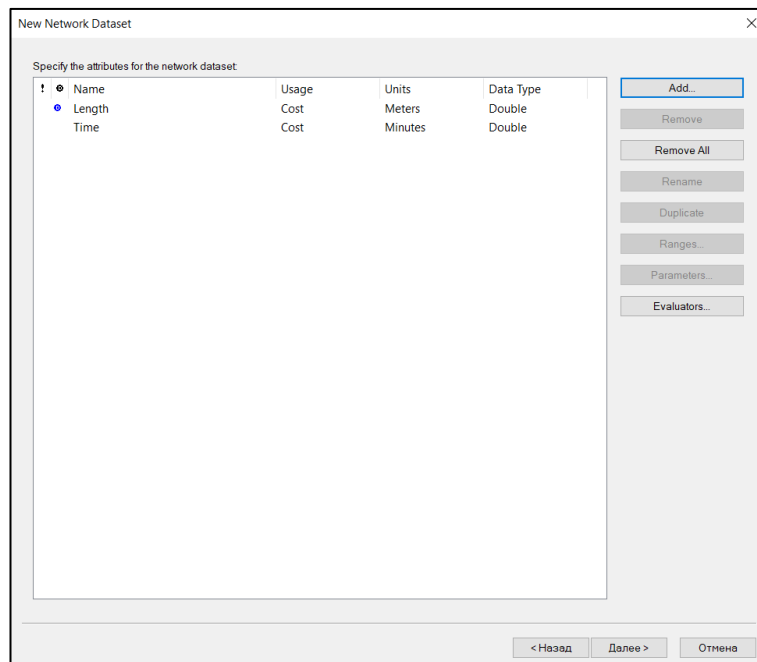


Рис. 3.34. Вікно нових мережевих даних

7. Після створення бази даних у нас додалось три шари які створили на шарі доріг велику кількість графів (рис. 3.35.).

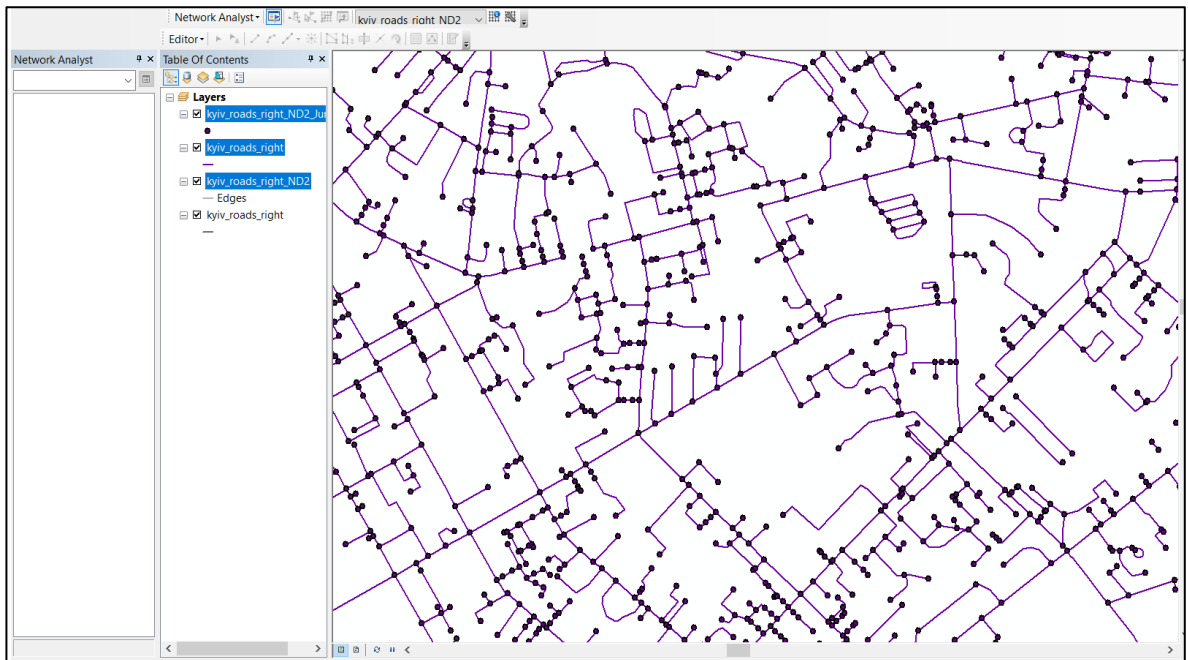


Рис. 3.35. Графи на мапі доріг міста Київ

8. Додано точки об'єктів від яких і буде будуватися ізохрона (рис. 3.36).

Для цих точок обрано три об'єкти.

4) Київській національний університет будівництва та архітектури

5) Головна астрономічна обсерваторія Національної академії наук України

6) ДНВП “Картографія”



Рис. 3.36. Точки від яких буде будуватися ізохрона

Виконання побудови ізохрон.

9. Відкрили інструмент Network analyst за допомогою якого буде будуватися ізохрона (рис. 3.37.).

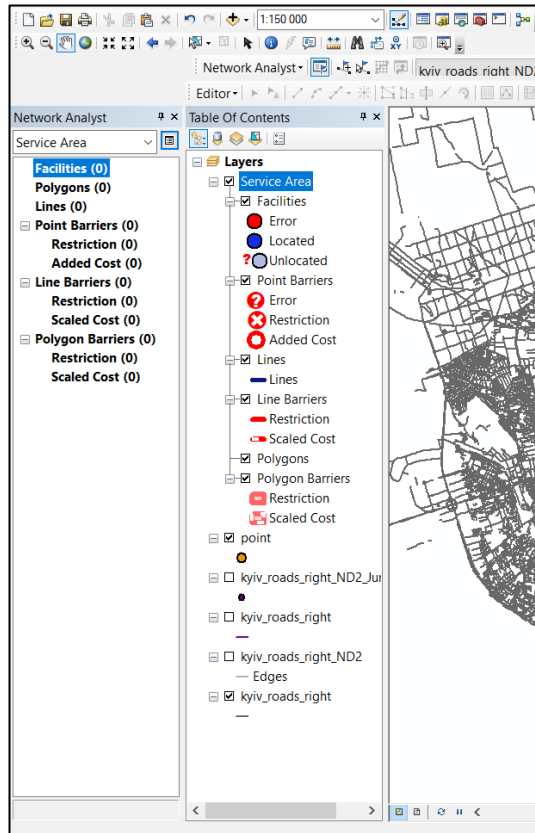


Рис. 3.37. Інструмент Network analyst

10. Додано до вкладки пункт обслуговування (Facilities) точки від яких буде будуватися ізохрона (рис. 3.38.)

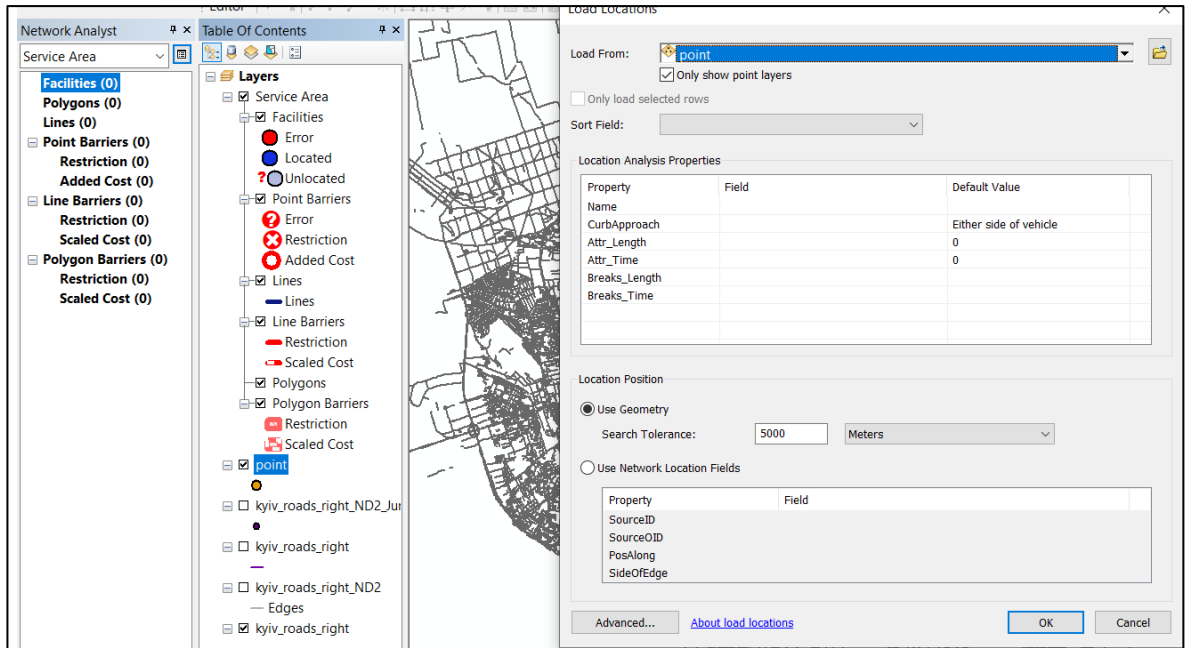


Рис. 3.38. Додавання точок до пункту обслуговування

Після додавання точок на них був накладений слой Located що означало, що Network analyst ці точки побачив правильно (рис. 3.39.).

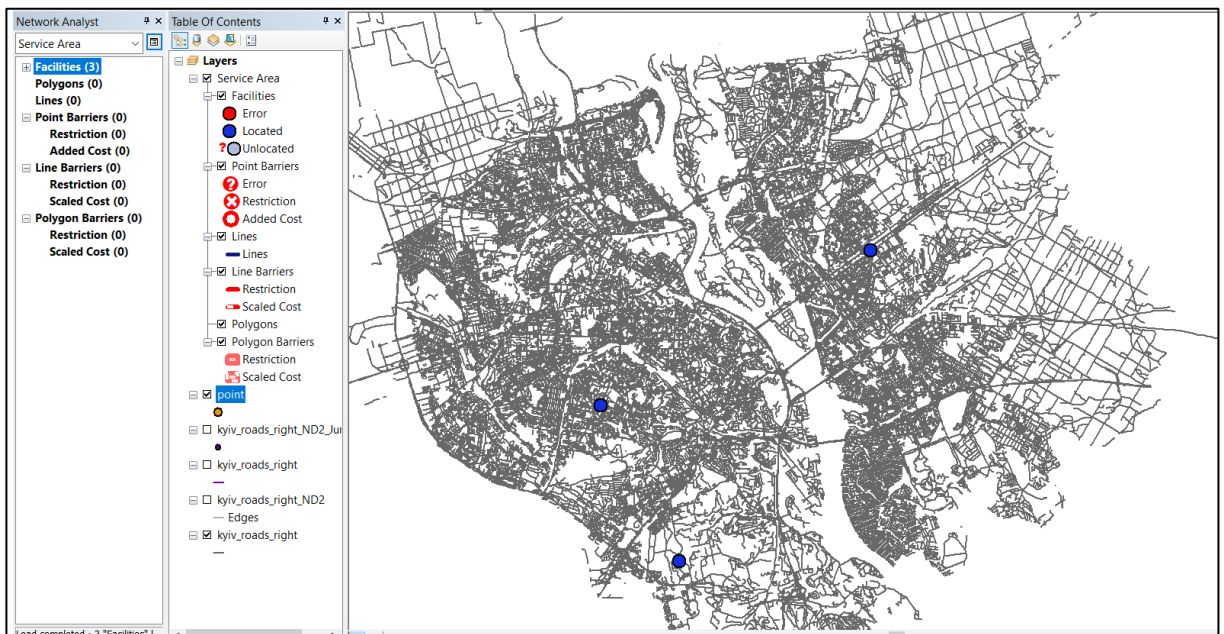


Рис. 3.39. Додані точки до Пункту обслуговування

11. Було виставлено потрібний нам час в вкладці Пункт обслуговування (Service Area), де додали потрібний інтервал часу для побудови наших ізохрон, в нашому випадку це були інтервали: 5, 15, 20, 30, 40, 50 хвилин (рис. 3.40.).

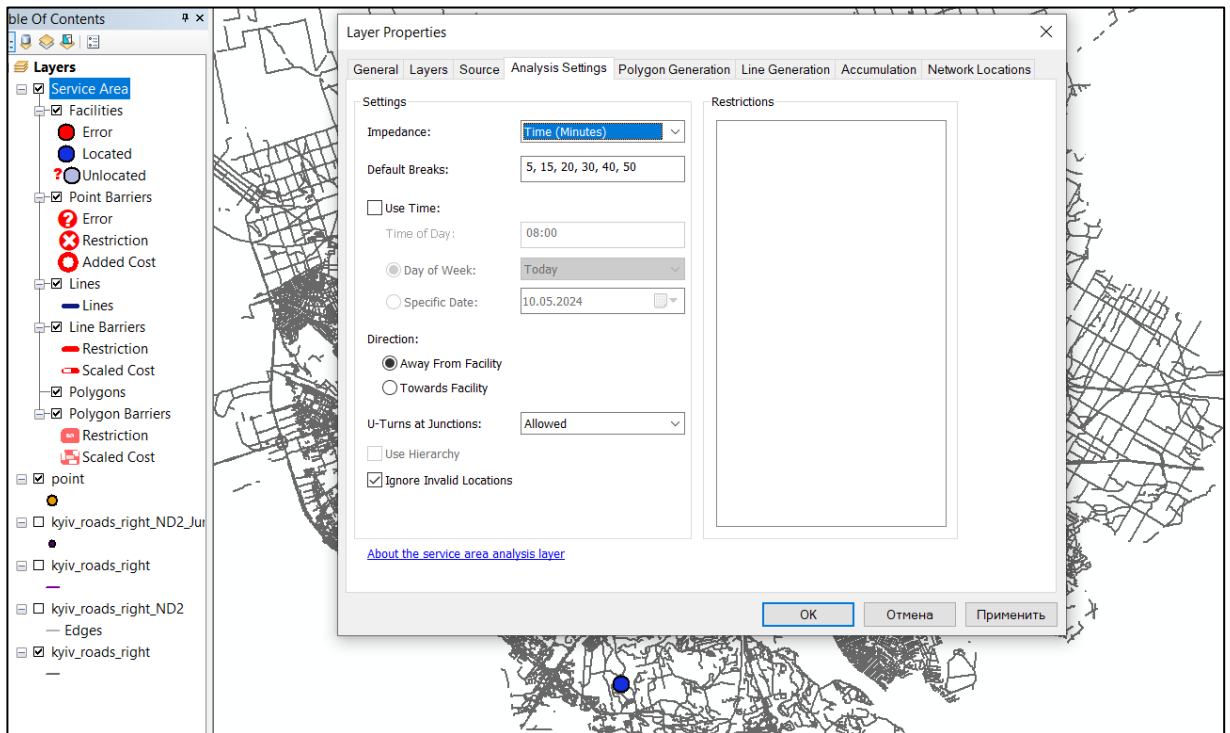


Рис. 3.40. Додавання інтервалів часу для побудови ізохрон

Також виставлено налаштування для полігонів, знято прапорець зі скорочення полігону (Trim Polygons) та обрано в опціях для деяких пунктів обслуговування параметр з'єднання по граничним значенням (Merge by break value) (рис. 3.41.).

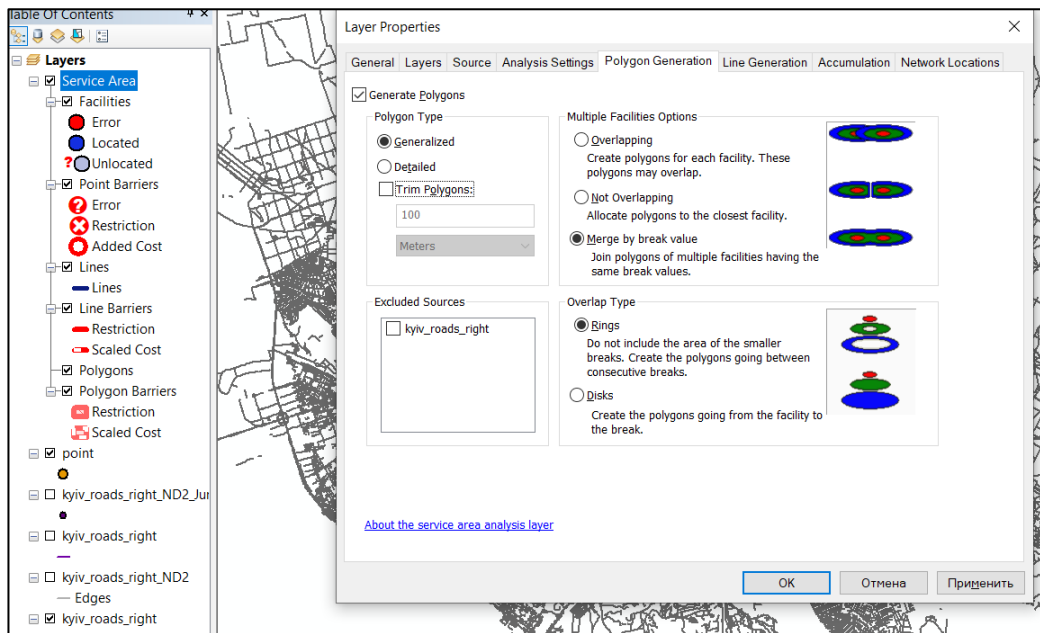


Рис. 3.41. Налаштування Полігонів

12. І виконано розрахунок та будову ізохрон натиснувши кнопку розрахунку (Solve) (рис. 3.42.)

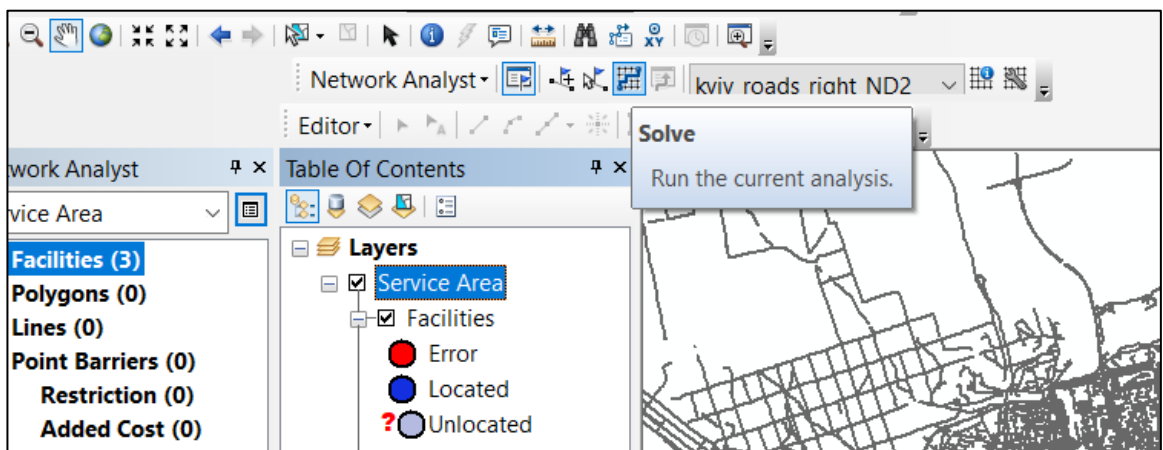


Рис. 3.42. Кнопка розрахунку Network analyst

13. Отримано результат побудованих ізохрон транспортної доступності міста Київ в ArcGIS за допомогою Network Analyst. (рис. 3.43.)

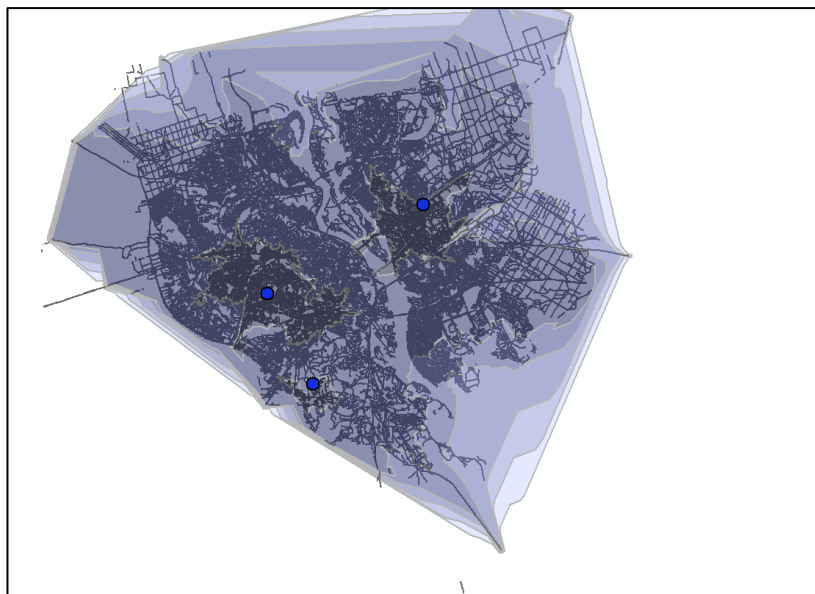


Рис. 3.43. Побудована ізохрона транспортної доступності міста Київ

## 14. Отриманий результат редагували та експортували у зображення

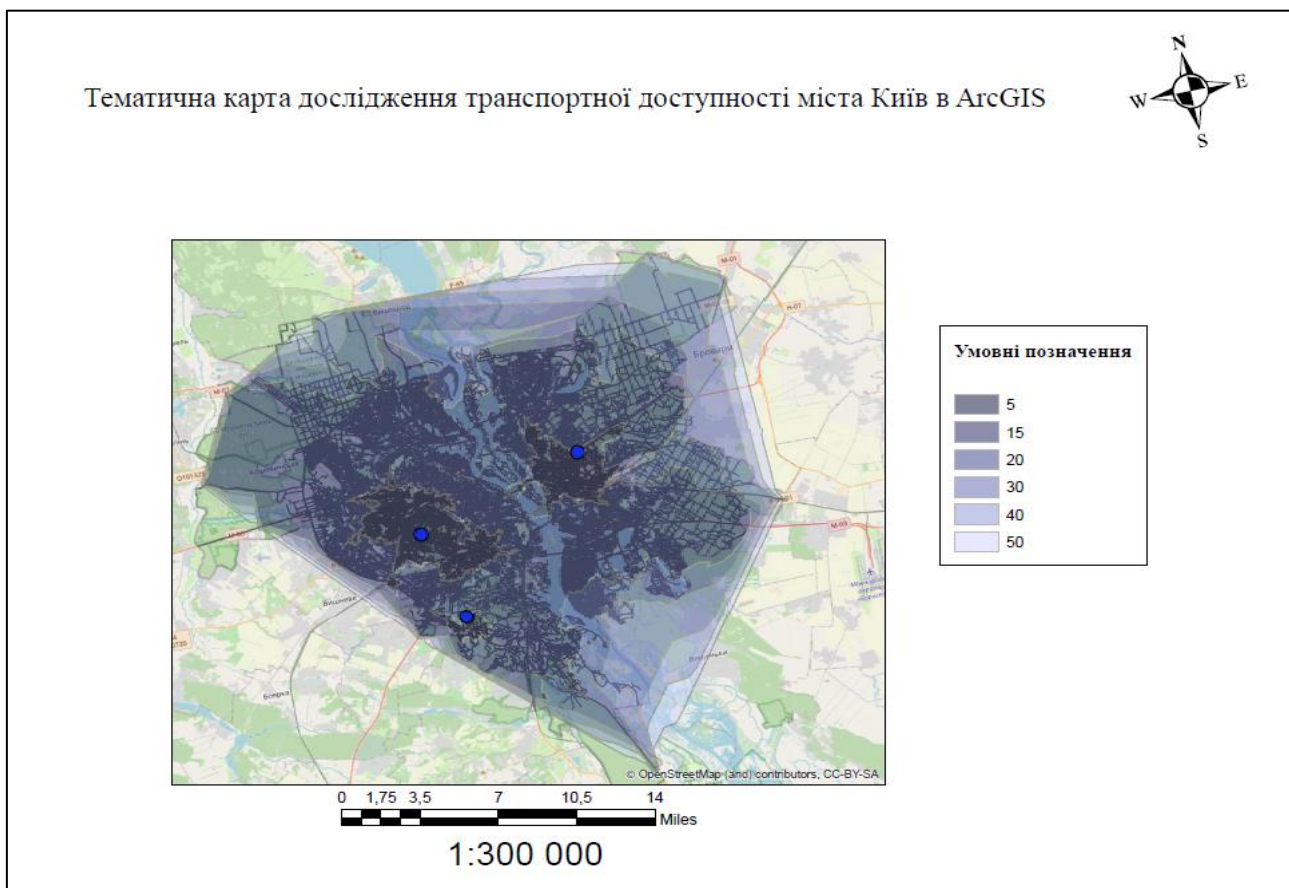


Рис. 3.44. Результат експорту у зображення

При виконанні цього дослідження було визначено за допомогою середовища ArcGIS, маршрути з різним часовим інтервалом до вибраних нами точок. Також побачили проблемні маршрути які потребують покращення транспортної доступності.

### **3.4 Оцінка отриманих результатів та рекомендації щодо використання інструментів аналізу транспортної доступності**

Отже, проведений аналіз транспортної доступності міста Київ за допомогою побудови ізохрон в середовищах ArcGIS та QGIS (GRASS GIS) дозволили отримати два різні результати. (рис. 3.45 – 3.46)

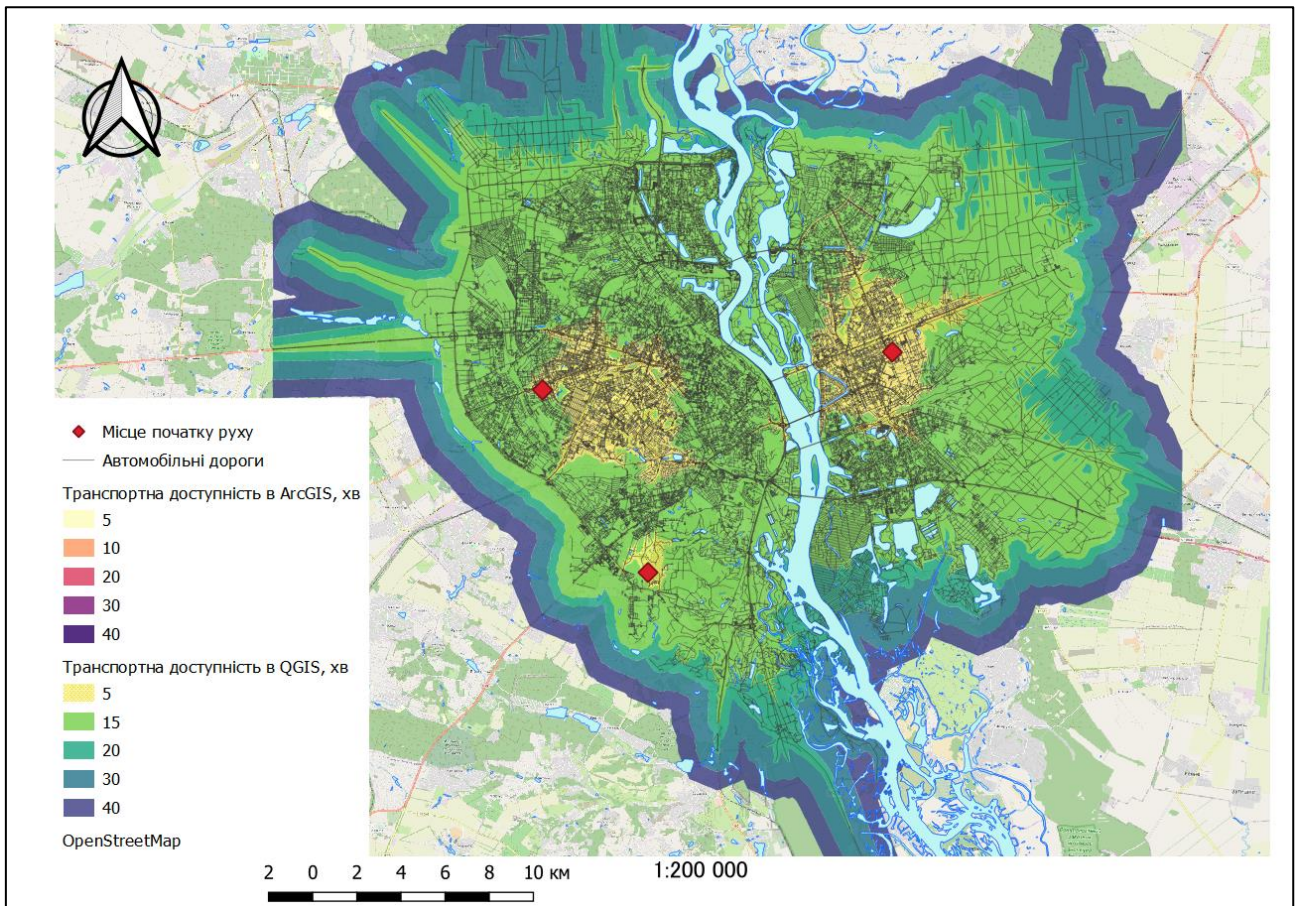


Рис. 3.45. Отриманий результат з побудови ізохрони в QGIS

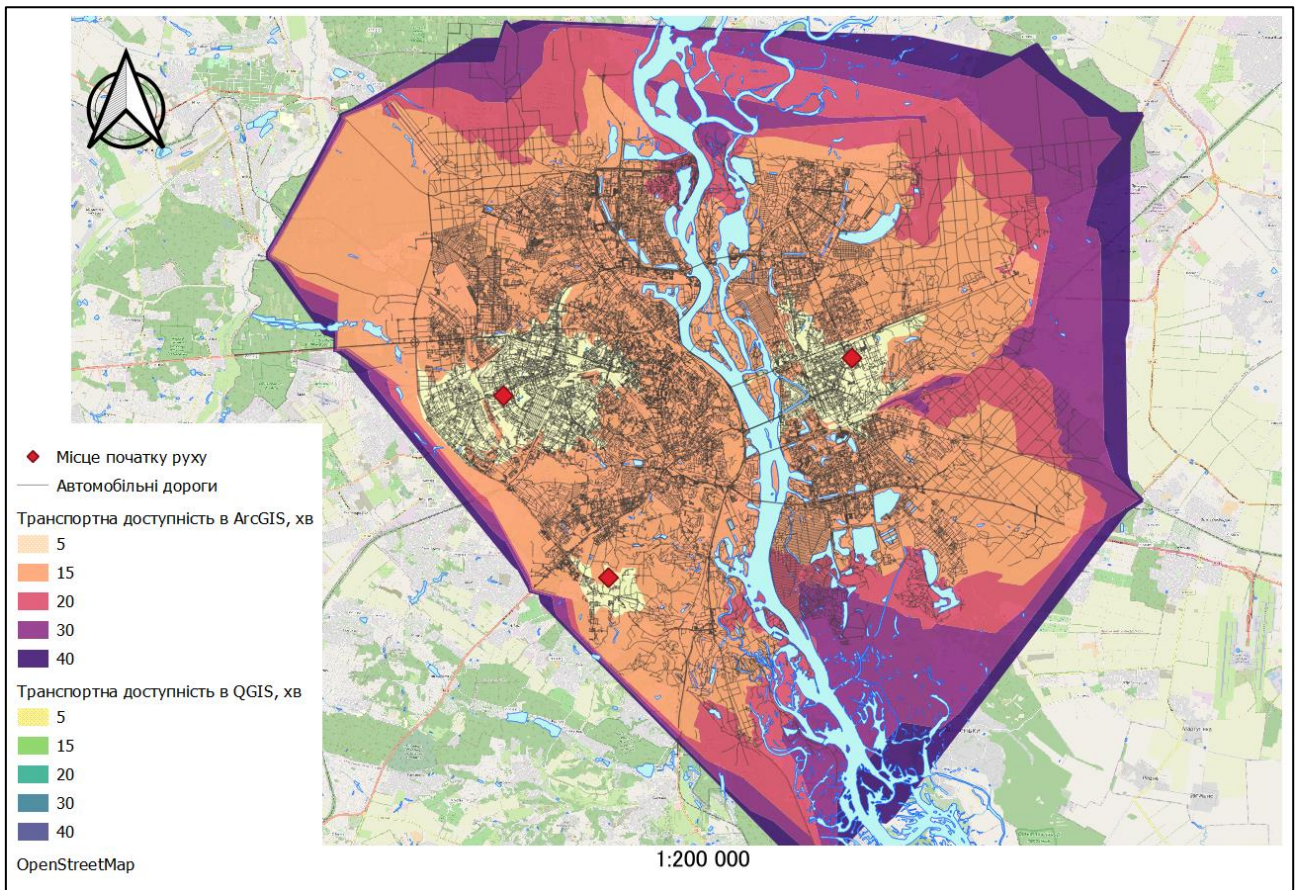


Рис. 3.46. Отриманий результат з побудови ізохрон в ArcGIS

Отримані результати не є ідентичними тому від кожної точки було порівняно ізохрони з інтервалами часу 5 та 15 хвилин.

Почнемо з 5 хвилинних ізохрон. (рис. 3.47. – 3.49.)

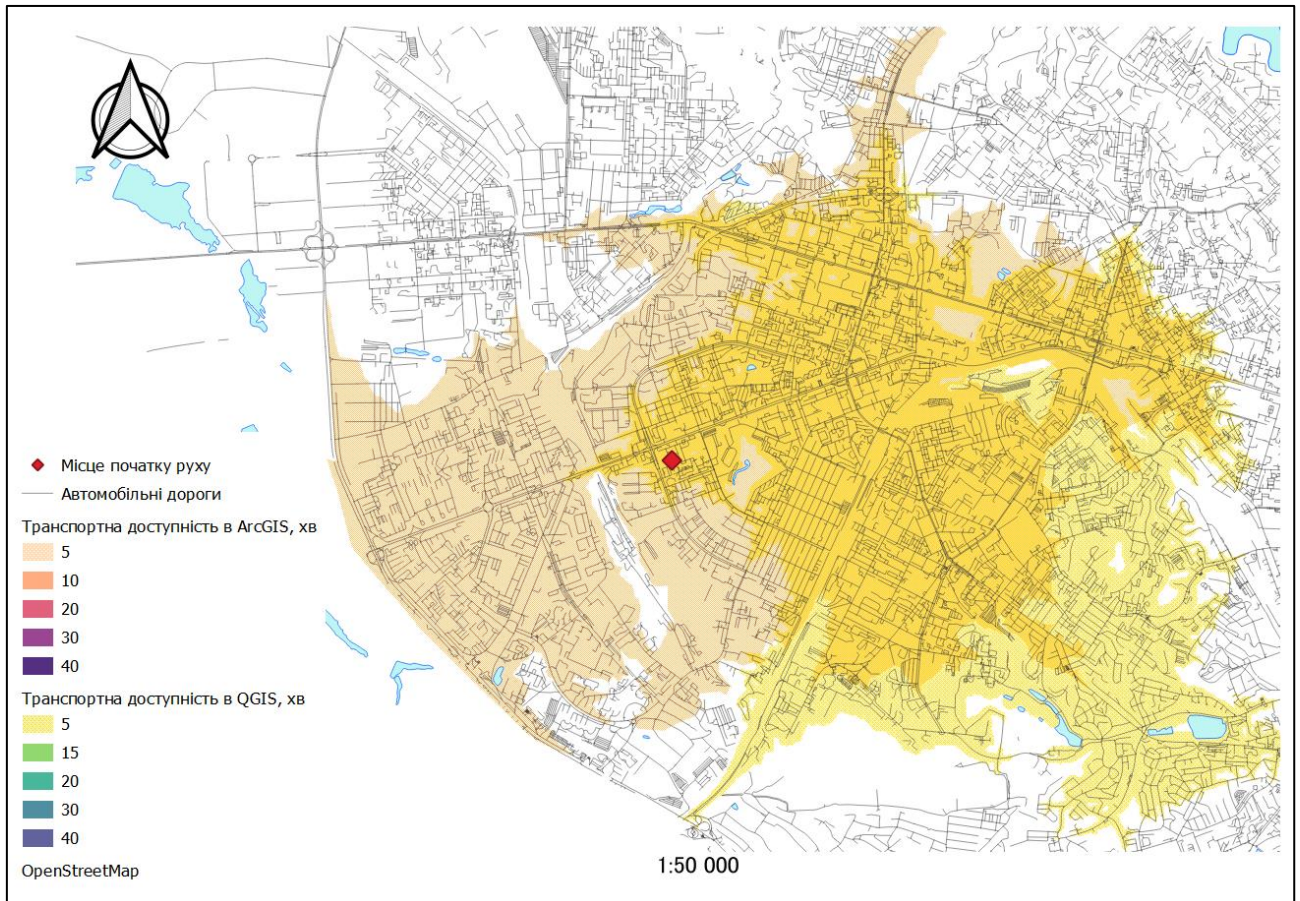


Рис. 3.47. Порівняння ізохрон 5 хвилин для точки Київського Національного Університету Будівництва та Архітектури

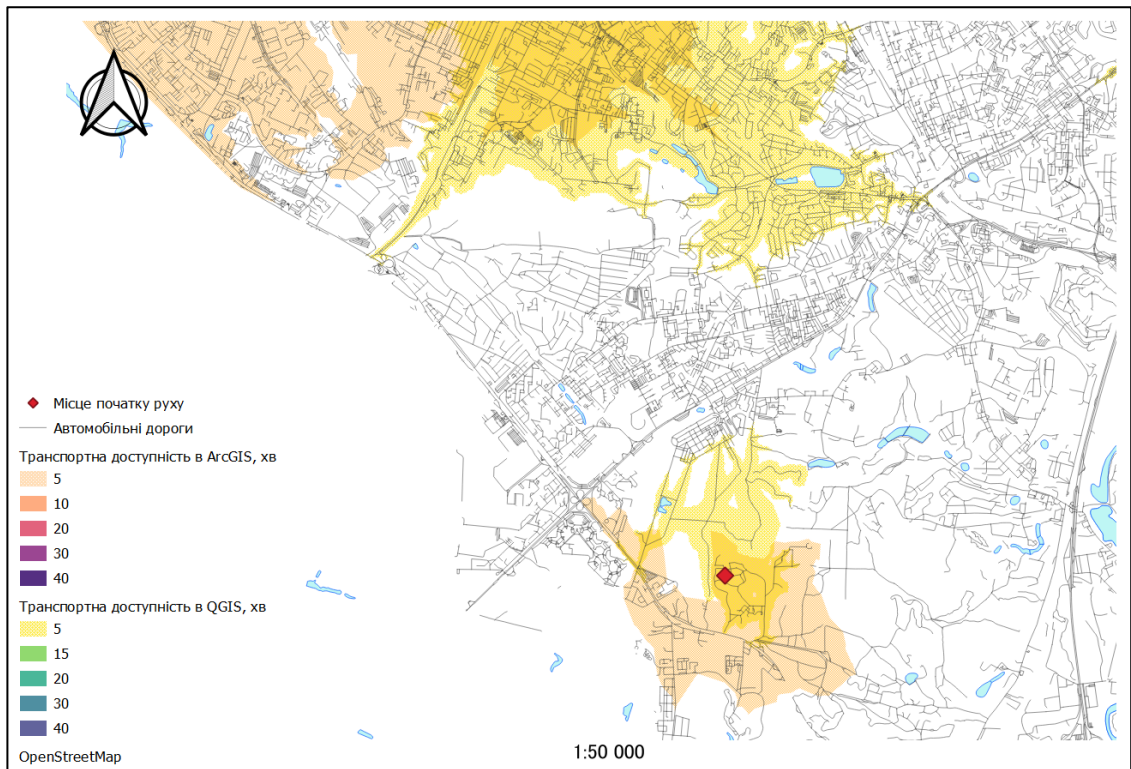


Рис. 3.48. Порівняння ізохрон 5 хвилин для точки Головної астрономічної обсерваторії Національної академії наук України

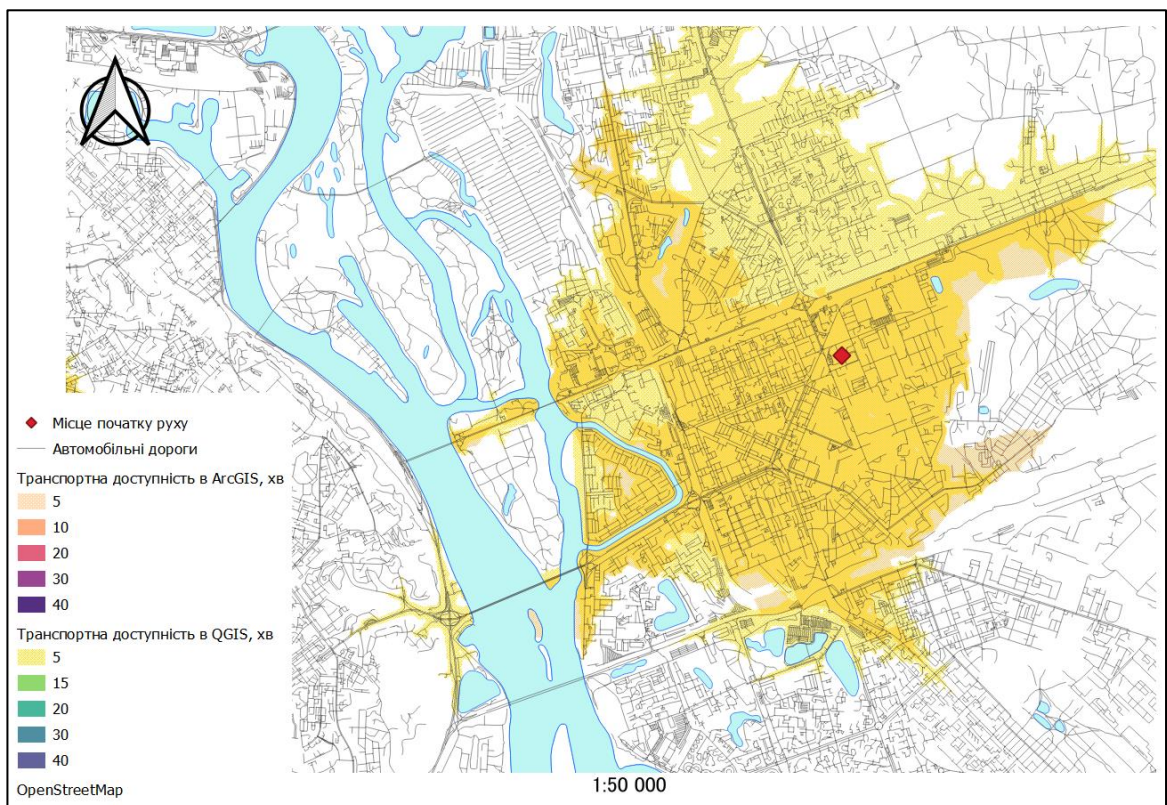


Рис. 3.49. Порівняння ізохрон 5 хвилин для точки ДНВП “Картографія”

Порівняння для 15 хвилинних ізохрон. (рис. 3.50. – 3.52.)

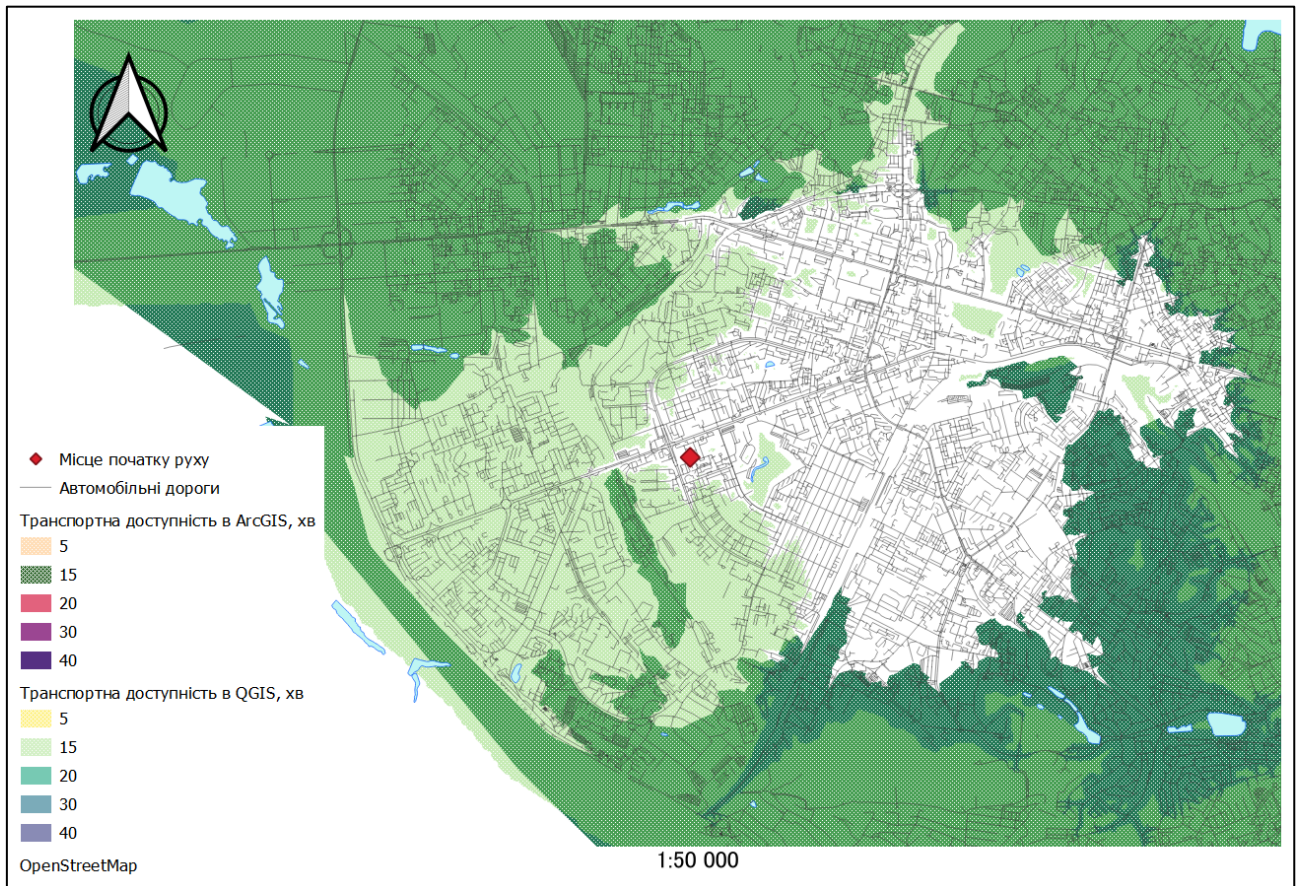


Рис. 3.50. Порівняння ізохрон 15 хвилин для точки Київського Національного Університету Будівництва та Архітектури

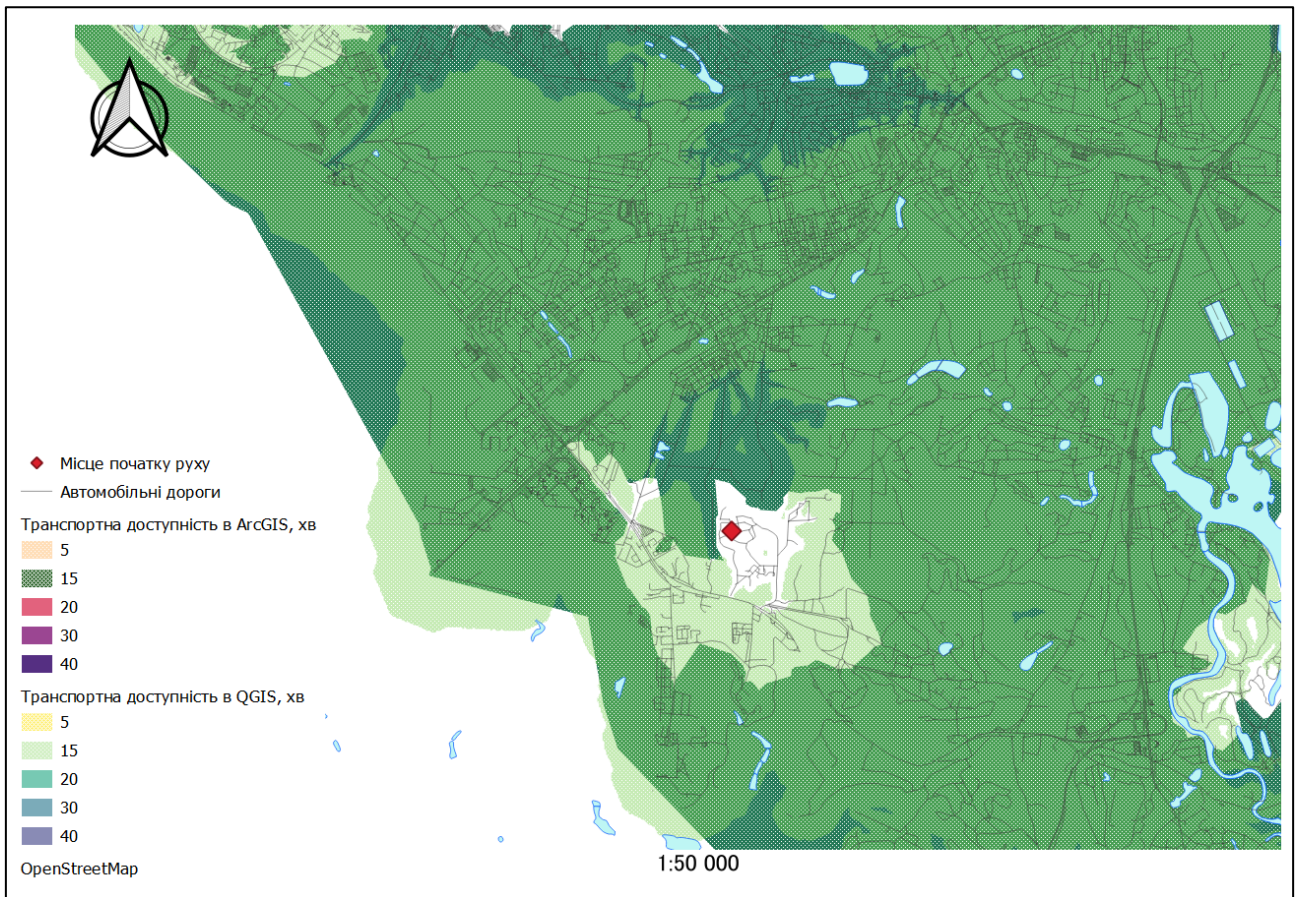


Рис. 3.51. Порівняння ізохрон 15 хвилин для точки Головної астрономічної обсерваторії Національної академії наук України

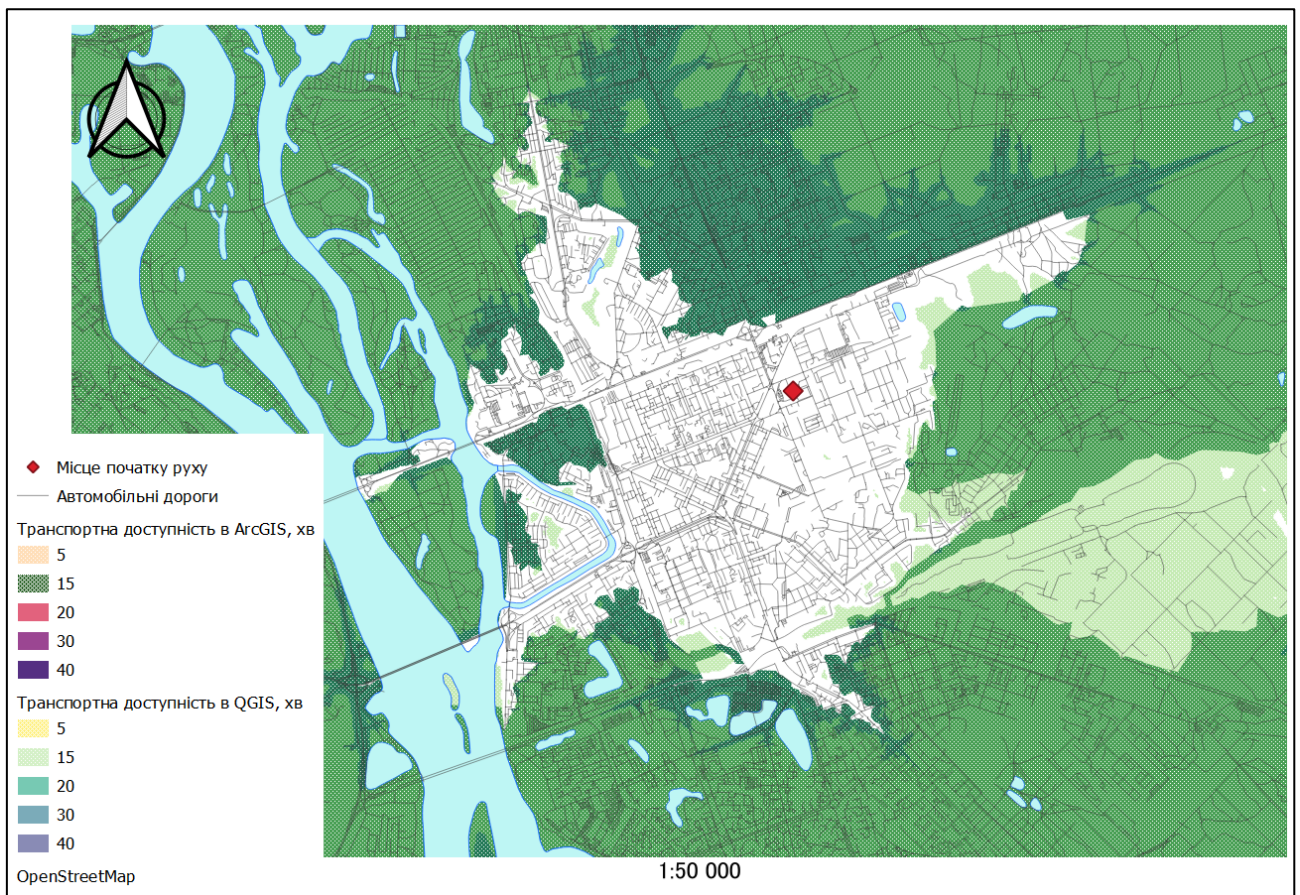


Рис. 3.52. Порівняння ізохрон 15 хвилин для точки ДНВП  
“Картографія”

Результат наших досліджень дав зрозуміти що стандартні засоби ГІС дають різний результат. Тож необхідно детально дослідити алгоритми, які використовуються у цих ГІС, для визначення, який інструмент дає достовірний результат.

## ВИСНОВКИ

У цій дипломній роботі було проведено комплексне дослідження алгоритмів аналізу транспортної доступності міста Київ за допомогою сучасних геоінформаційних систем ArcGIS та QGIS. У ході дослідження були вивчені різні методи та інструменти, що дозволяють здійснювати оцінку транспортної інфраструктури, виявляти проблемні зони та пропонувати оптимальні рішення для поліпшення доступності міста.

Були проаналізовані стандартні засоби аналізу транспортної доступності ArcGIS та QGIS. Виявлено переваги та недоліки кожного з них, а також специфічні особливості застосування в умовах міста Київ.

На основі обраних алгоритмів було проведено практичний аналіз транспортної доступності різних районів Києва. У ході роботи використано реальні дані про транспортну інфраструктуру міста, що дозволило отримати актуальні та достовірні результати.

За допомогою можливостей ArcGIS та QGIS було створено інформативні картографічні схеми, що наочно демонструють рівень транспортної доступності в різних частинах міста. Ці картосхеми можуть бути використані для прийняття рішень щодо розвитку транспортної інфраструктури.

На основі проведеного аналізу було розроблено низку рекомендацій, спрямованих на підвищення ефективності транспортної мережі Києва. Вони включають оптимізацію маршрутів громадського транспорту, розвиток інфраструктури для пішоходів та велосипедистів, а також впровадження сучасних технологій для управління транспортними потоками.

Отримані результати підтверджують доцільність використання ГІС-технологій для аналізу та планування транспортної системи міста. ArcGIS та QGIS виявилися ефективними інструментами для дослідження транспортної доступності, що дозволяє робити обґрунтовані висновки та приймати стратегічні рішення. Подальший розвиток і вдосконалення цих методів сприятимуть

підвищенню комфорту та безпеки пересування в місті Київ, що в цілому покращить якість життя його мешканців.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Поняття геоінформаційної системи:  
<http://www.znannya.org/?view=concept:255>
2. Історія формування сучасної мережі автомобільних доріг України:  
Мережа доріг України та сучасні транспортні потоки / Вознюк А.Б.
3. Розвиток світової транспортної системи:  
Транспортна система України як елемент глобальної транспортної системи  
/ Остапенко Т.Г., Гращенко І.С., Прищепя Н.П.
4. Рівень автомобілізації столиці:  
<https://hmarochos.kiev.ua/2017/06/21/shvidshe-blizhche-zruchnishe-chomu-transportna-dostupnist-vazhliva-dlya-mista/>
5. Про регіональні дороги:  
[https://protocol.ua/ua/pro\\_avtomobilni\\_dorogi\\_stattya\\_8/](https://protocol.ua/ua/pro_avtomobilni_dorogi_stattya_8/)
6. Про геопросторові дані:  
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/554-20#Text>
7. Про концептуальну модель:  
<https://studfile.net/preview/5171241/page:4/>