

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТРАНСПОРТУ
КАФЕДРА АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до випускної роботи бакалавра

на тему Оцінка впровадження виділених смуг для руху громадського транспорту у місті Кривий Ріг

Виконав:

студент 4 курсу, групи ТТ-20 _____ К.М. Жукоцький

(шифр групи)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент _____

(науковий ступінь, вчене звання)

(підпис)

В.О.Сістук

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри:

д.т.н., професор _____

(науковий ступінь, вчене звання)

(підпис)

Ю.А. Монастирський

(прізвище та ініціали)

Кривий Ріг – 2024 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТРАНСПОРТУ
КАФЕДРА АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ

Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський) рівень вищої освіти

Галузь знань: 27 – «Транспорт»

Спеціальність: 275 – «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
автомобільного транспорту

_____/_____
” _____ 2024 р

ЗАВДАННЯ

НА ВИПУСКНУ РОБОТУ СТУДЕНТА

Жукоцькому Кирилу Максимовичу

1. Тема Оцінка впровадження виділених смуг для руху громадського транспорту у місті Кривий Ріг

керівник проекту Сістук В.О., к.т.н., доцент

затвердені наказом університету №263с від 12.04.2024.

2. Строк подання студентом роботи для перевірки на плагіат до 09.06.2024.

3. Вихідні дані до роботи: Керівництво до програми PTV VISUM.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Огляд досліджень з влаштування відокремлених смуг для громадському транспорту. Розрахунково-дослідницька частина. Оцінка ефективності запропонованих рішень. Безпека руху при впровадженні рішення.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Графіки та діаграми по результатах досліджень у вигляді презентації в програмі Microsoft Office Power Point, на компакт диску з шістьма екземплярами роздруківки презентації для членів ДЕКу.

6. Дата видачі завдання 12.04.2024.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів	Строк виконання етапів	Примітка
1	Огляд досліджень з влаштування відокремлених смуг для громадському транспорту	15.04-19.04	
2	Розрахунково-дослідницька частина	22.04 – 03.05.	
3	Оцінка ефективності запропонованих рішень	06.05 – 10.05	
4	Безпека руху при впровадженні рішення.	12.05 – 14.05	
5	Оформлення пояснювальної записки і презентації	15.05 – 25.05	

Студент

К.М. Жукоцький

(підпис)

Керівник роботи

В.О. Сістук

(підпис)

РЕФЕРАТ

Місто Кривий Ріг характеризується сукупністю транспортно-планувальних факторів, які сприяють влаштуванню відокремлених смуг руху для громадського транспорту.

Робота присвячена аналізу перерозподілів потоків індивідуального та громадського транспорту на макрорівні (рівень всього міста) у програмному забезпеченні PT VISUM за різними сценаріями влаштування відокремлених смуг руху для громадського транспорту.

Дослідження охоплювало магістральні вулиці з 3 та 4 смугами руху в одному напрямку у місті Кривий Ріг, починаючи з перехрестя проспекту Миру з вулицею Кобилянського у Центрально-Міському районі міста і закінчуючи круговим перехрестям на площі 40-річчя Перемоги у Тернівському районі.

Приоритизація громадського транспорту передбачала моделювання сценарію у програмному забезпеченні PTV VISUM, в якому передбачалося зменшення пропускної здатності основних вулиць для приватного транспорту на 20%. Це означало перерозподіл дорожнього простору від загального автотранспортного руху на користь громадського транспорту.

Результати розрахунків перерозподілу індивідуального та громадського транспорту в PTV VISUM показали, що за випадку впровадження сценарію з влаштуванням відокремлених смуг руху від перехрестя вулиці Кобилянського та проспекту Миру до площі 30-річчя Перемоги очікується збільшення обсягу перевезень пасажирів громадським транспортом. На ділянці від перехрестя вулиці Кобилянського та проспекту Миру до площі Горького – на 936 пас./добу в одному напрямку руху, від площі Горького до площі О. Поля – на 588 пас./добу в одному напрямку, у північній частині досліджуваної області (до площі 40-річчя Перемоги) – на 86 пас./добу.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ДОСЛІДЖЕНЬ З ВЛАШТУВАННЯ ВІДОКРЕМЛЕНИХ СМУГ ДЛЯ ГРОМАДСЬКОМУ ТРАНСПОРТУ.....	8
1.1. Впровадження та дослідження відокремлених смуг руху для громадського транспорт у Україні.....	8
1.2. Світова практика дослідження відокремлених смуг руху для громадського транспорт	13
1.3. Висновки до розділу 1.	18
РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА.	19
2.1.Збір вихідних даних для моделювання.....	19
2.2. Типи польових обстежень.....	21
2.3. Оновлення даних транспортної моделі.....	24
2.4. Метод дослідження.....	26
2.5. Область дослідження.....	35
РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАПРОПОНОВАНИХ РІШЕНЬ	39
РОЗДІЛ 4. БЕЗПЕКА РУХУ ПРИ ВПРОВАДЖЕННІ РІШЕННЯ.....	42
ВИСНОВКИ.....	44
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	46
ДОДАТОК А. РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ.....	51

ВСТУП

Актуальність теми. Пріоритезація громадського транспорту є важливим засобом сприяння сталому розвитку міст, відіграючи значну роль у підвищенні якості послуг громадського транспорту, зменшенні заторів та покращенні якості повітря. Одним із заходів з пріоритезації громадського транспорту є облаштування спеціальних відокремлених смуг руху для громадського транспорту, які надають перевагу йому у часі.

Місто Кривий Ріг характеризується поліцентричною забудовою із наявністю магістральних доріг з трьома та чотирма смугами для руху в одному напрямку, які дозволяють переміщувати пасажирів на великі відстані. Завантаженість основних магістралей міста від проектної пропускної здатності знаходиться в діапазоні 40% - 60% протягом доби. Середня довжина маршруту на громадському транспорті – 18,5 км. Маршрути автомобільного транспорту мають загальну довжину до 40 км. Так, наприклад, у серпні 2023 року в експлуатацію було введено маршрут комунального автобусу № 8 із загальною довжиною 38,5 км в одному напрямку. За таких умов, одним із визначальних показників роботи громадського транспорту є швидкість сполучення на безрейковому громадському транспорті (автобуси, тролейбуси, маршрутні таксі). Іншим важливим фактором є перевищення обсягів перевезень пасажирів безрейковим транспортом обсягів перевезень міським рейковим транспортом (швидкісний трамвай та трамвай) у 4,7 разу за останні 5 років.

З урахуванням наявності запасу пропускної здатності по основним магістральним вулицям міста, великих відстаней перевезень громадським транспортом, значного перевищення обсягів перевезень безрейковим громадським транспортом порівняно з рейковим, відокремлення спеціальної смуги руху для безрейкового громадського транспорту постає як можливе рішення проблеми підвищення якості надання транспортних послуг у місті Кривий Ріг.

Мета і задачі дослідження. Аналіз можливості впровадження виділених смуг для руху громадського транспорту у місті Кривий Ріг з прогнозуванням перерозподілів попиту на індивідуальний та громадський транспорт.

Для досягнення даної мети необхідно:

1. Провести аналітичний огляд вітчизняного та світового досвіду з влаштування відокремлених смуг для громадському транспорту.
2. Провести транспортне моделювання міської транспортної системи Кривого Рогу за допомогою програмного забезпечення PTV VISUM із виробленими сценаріями з влаштування відокремлених смуг руху для громадського транспорту.
3. Провести аналіз ефективності рішень з відокремлення смуг руху для громадського транспорту.

Об'єкт дослідження – транспортна система міста Кривий Ріг.

Предмет дослідження – завантаженість міської мережі від індивідуального транспорту та пасажиропотоки на громадському транспорті.

Методи дослідження. Аналіз, огляд джерел, обробка статистичних даних, транспортне моделювання, перерозподіл на громадському транспорті, перерозподіл на індивідуальними транспорті, графоаналітичний метод.

Практичне значення одержаних результатів. Виконано прогноз перерозподілу потоків індивідуального та громадського транспорту при використанні розроблених рішень з влаштування відокремлених смуг для руху громадського транспорту у транспортній системи міста Кривий Ріг, що може бути використано у подальшому при впровадженні даних рішень.

Структура і обсяг роботи. Бакалаврська робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 35 найменувань. Загальний обсяг роботи – 50 с, у тому числі 16 рисунків та 1 таблиці та один додаток.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ДОСЛІДЖЕНЬ З ВЛАШТУВАННЯ ВІДОКРЕМЛЕНИХ СМУГ ДЛЯ ГРОМАДСЬКОМУ ТРАНСПОРТУ

1.1. Впровадження та дослідження відокремлених смуг руху для громадського транспорту в Україні

Практичне впровадження пріоритету руху громадського транспорту в Україні має поодинокі випадки, в основному, у великих обласних центрах та столиці [1, 2]. Так, у 2022 році Центр організації дорожнього руху при КМДА розробив проект з влаштування відокремлених смуг для руху громадського транспорту для 28 вулиць міста Київ загальною довжиною 54 км [8, 9]. Починаючи з 2020 року, у Львові проводиться реконструкція вулиць (вул. Шевченка, вул. Б. Хмельницького, вул. Хуторівка) для облаштування відокремлених смуг [10].

Завдання пріоритезації руху громадського транспорту актуальне для безрейкового міського транспорту, оскільки, якщо вести мову про відокремлення смуг руху, технічно це може забезпечуватись саме для даного виду транспорту. На основі аналізу перерозподілу пасажирських потоків між різними видами транспорту у місті Київ [2], можна бачити, що основна частина пасажирів перевозиться рейковим транспортом. Так, у 2022 році кількість пасажирів перевезених метрополітеном та трамваєм становила 204,1 млн. пас/рік, тоді як автобусним транспортом – 67,1 млн. пас/рік. Незважаючи на зменшення пасажиропотоку у 2022 році порівняно із 2019-2021 роками (на 54,3% порівняно з 2021 роком), спричиненим об'єктивними факторами (пандемія, військові дії), роль рейкового транспорту залишається домінуючою у столиці. Таким чином, навіть при «повній» пріоритезації громадського транспорту, наприклад, наявності відокремлених смуг для всіх маршрутів автомобільного транспорту та тролейбусів, що практично неможливо реалізувати на практиці, ефект від впровадження даних заходів можуть «відчути» лише 20% користувачів громадським транспортом Києва.

Це частково може пояснювати відсутність системного підходу до впровадження пріоритезації громадського транспорту.

Зовсім інший перерозподіл між видами громадського транспорту спостерігається у місті Кривий Ріг (Табл.1.1).

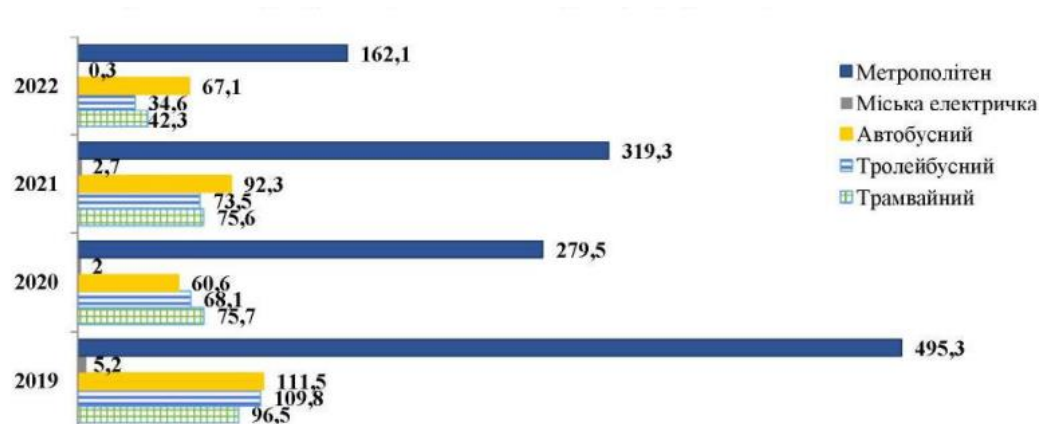


Рис.1.1. Пасажи́рські перевезення за видами громадського транспорту у місті Київ, млн. пас.

Табл.1.1

Загальна кількість перевезених пасажирів на громадському транспорті у місті Кривий Ріг, тис. пас.

	2019 рік	2020 рік	2021 рік	2022 рік	2023 рік (11 місяців)
КП «Швидкісний трамвай»	37513,7	25804,5	22635,5	20651,4	24259,3
КП «Міський тролейбус» (тролейбус)	20261,2	20077,8	20405,3	20359,3	28955,9
КП «Міський тролейбус» (тролейбус)	5558,6	5450,7	3952,2	4921,1	8318,4
Приватні перевізники (автобус)	-	-	62402,2	62405,1	-

У 2022 році автобусами приватних перевізників було переміщено 62,4 млн. осіб/рік, комунальними автобусами – 4,9 млн. осіб/рік, тролейбусами – 20,3 млн.

осіб/рік, що у сумі дає 97,6 млн. осіб/рік проти 20,5 млн. осіб/рік, переміщених трамваєм. Якщо обсяг перевезень безрейковим транспортом перевищує обсяг перевезень пасажирів рейковим транспортом у 4,7 разу, то впровадження рішення із надання пріоритету колісному громадському транспорту є актуальним для цього міста.

Дослідженню питання пріоритезації громадського транспорту присвячено останнім часом чимало наукових робіт. Так, у роботі професора Вдовиченка В.О. та ін. (ХНАДУ) [3] розглянутий зв'язок між параметрами руху транспортних засобів у міському громадському транспорті в умовах надання пріоритету та оцінки якості обслуговування пасажирів за часовими показниками, визначений на основі комплексу аналітичних моделей, що описують процес формування обміну пасажирів на зупинках та хронометричні параметри руху транспортних засобів. Встановлено, що значущу роль у підвищенні якості обслуговування пасажирів транспортом міського громадського транспорту відіграє впровадження пріоритету, зокрема, організація руху транспортних засобів по спеціальних смугах та забезпечення безперешкодного проїзду через регульовані перехрестя.

Переваги впровадження пріоритету для громадського транспорту в рамках координованого управління рухом присвячено роботу [4].

Надання пріоритету руху громадському транспорту також розглядається як інструмент підвищення екологічної стійкості міст [5]. Зазначається, що громадський транспорт, зокрема трамваї, вважається найбільш ефективним у використанні міського простору. Пропускна здатність однієї смуги руху шириною 3,5 метра для різних видів транспорту складає: для трамвая — 22 тисячі пасажирів на годину, для автобуса — 9 тисяч пасажирів на годину, тоді як для автомобіля ця здатність обмежується 2 тисячами пасажирів. Створення окремих смуг руху громадського транспорту є способом підвищення його, дозволяє автобусам та тролейбусам рухатися швидше.

У дисертаційній роботі Зубачика Р.М [6] розглянуті критерії для встановлення спеціальних смуг та розроблений метод, який надає автобусам пріоритет на перехрестях. Метод «спеціальна смуга в зоні перехрестя» базується на створенні просторових «коридорів» у зоні перехрестя за допомогою спеціально виділених смуг, що забезпечують вільний під'їзд автобусів до стоп-лінії. Автором запропоновано 6 типів таких смуг. Дослідження показали, що цей метод дозволяє зменшити затримки автобусів на 87% порівняно з адаптивним керуванням без пріоритету (рис.1.2, рис.1.3).

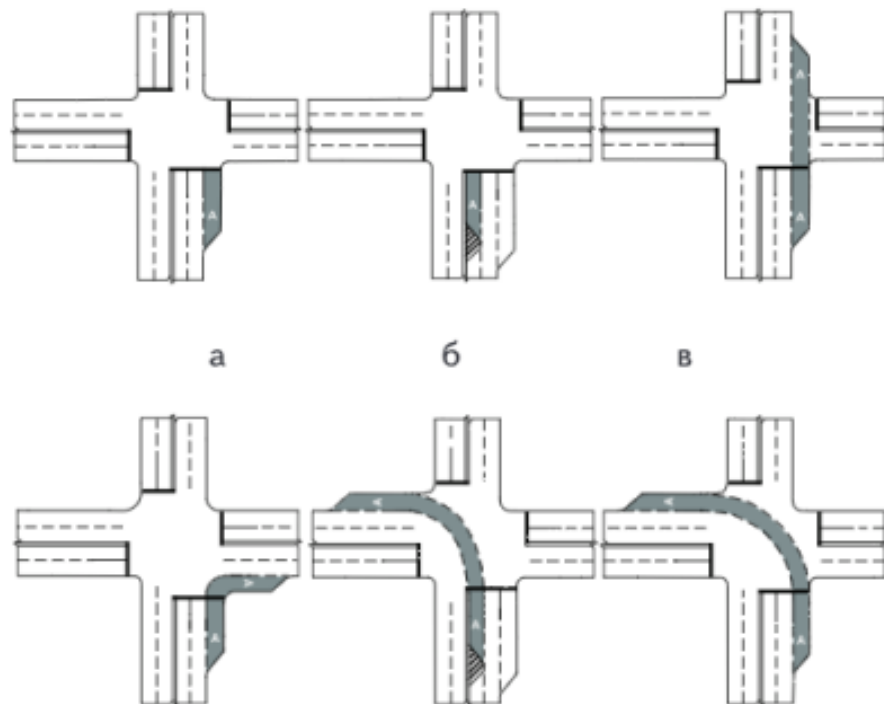


Рис.1.2. Типи спеціальних смуг в зоні перехрестя першої та другої групи: а – тип 1.1; б – 1.2; в – тип 2.1; г – 2.2; д – тип 2.3; е – 2.4 [7].

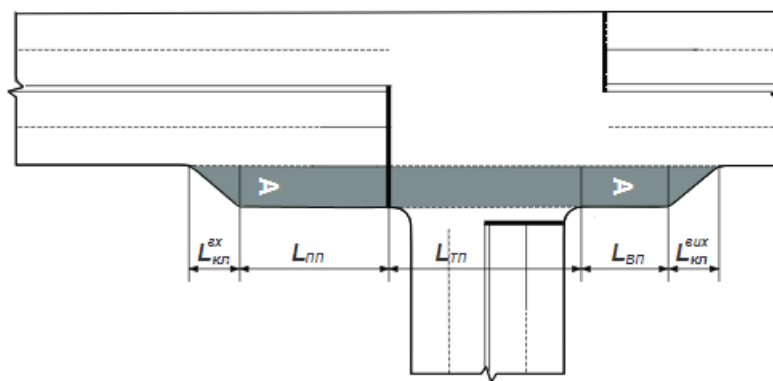


Рис.1.3. Геометричні елементи спеціальної смуги в зоні перехрестя [7].

Значна робота із вивчення можливостей облаштування відокремлених смуг руху громадського транспорту проведена науковцями НУ «Лвівська політехніка» (Є. Форнальчик, Ю.Ройко та ін.) [11]. Характерною особливістю запропонованої методики оцінки експлуатаційної ефективності виділених смуг є те, що використання системи GPS-моніторингу дозволяє відносно швидко визначити ділянки мережі, де спостерігаються найбільші затримки в русі в режимі реального часу. Після цього увага зосереджується на дослідженні основних факторів впливу та їх параметрів з подальшим моделюванням у програмному забезпеченні PTV VISSIM.

У національному стандарті ДБН В.2.3-5:2018 «Вулиці та дороги населених пунктів» передбачено звуження ширини смуг руху на дорогах, що опосередковано стосується виділених смуг для руху громадського транспорту [12]. Однак, як наголошують посадові особи, у чинних ДБН щодо проектування вулиць і доріг відсутні окремі рекомендації, як потрібно влаштовувати відокремлені смуги громадського транспорту, у якій смузі руху це краще робити, також не береться до уваги функціональне призначення вулиці, її оточення та інтенсивність [13]. Про необхідність впровадження таких норм та окремих рекомендацій мова ведеться з 2019 року.

1.2. Світова практика дослідження відокремлених смуг руху для громадського транспорту

Закордоном можна знайти чисельні приклади відокремлення смуг для руху громадського транспорту, що дозволяє говорити про даний метод пріоритезації громадського транспорту як про усталену практику. Приклади влаштування відокремлених смуг для громадського транспорту є у великих містах, таких як Сеул, Цюріх, Нью-Йорк, Берлін, Мехіко і т.д. [14]. Процес влаштування виділених смуг для руху громадського транспорту активно розвивається по всьому світу. Так, Управління доріг і транспорту Дубая (RTA) оголосило, що схвалило план будівництва виділених смуг для автобусів і таксі протяжністю 37 км протягом п'ятирічного періоду з 2023 по 2027 рік [15]. На рисунку 1.4 наведено приклад влаштування таких смуг.



Рис.1.4. Влаштування виділених смуг руху для автобусів та таксі.

Головним завданням планувальників транспорту у містах, що швидко розвиваються, є зменшення заторів, що виникають через перевищений попит на транспортні послуги при обмежених ресурсах. Оскільки розширення дорожнього простору часто не можливе, дорого або неефективне через зростання попиту, оптимізація громадського транспорту видається ефективною стратегією [16]. Стратегії пріоритетного розвитку громадського транспорту спрямовані на те, щоб мотивувати пасажирів вибирати громадський транспорт у центрі міста, що призводить до зменшення попиту на автомобілі та більш ефективного використання дорожнього простору [17].

Виділення автобусних смуг стало одним з ключових заходів пріоритезації громадського транспорту, завдяки своїй ефективності у зменшенні затримок автобусів, що виникають у зв'язку з транспортними потоками. Цей захід є відносно недорогим та швидким у впровадженні, а також сприяє підвищенню надійності роботи на автобусних маршрутах. Проте варто враховувати, що резервування простору для транзитного транспорту може зменшити доступне місце для нетранзитного руху, що може призвести до потенційних заторів у районах з обмеженим автобусним сполученням або місцями, де немає великого попиту на громадський транспорт. Це свідчить про те, що вибір місця для впровадження виділених автобусних смуг відіграє важливу роль у ефективності стратегії пріоритезації громадського транспорту.

У закордонній науковій літературі було запропоновано різні заходи у пріоритезації громадського транспорту. Серед них вдосконалення інфраструктури, таке як системи швидкісного автобусного транспорту (BRT) [18], застосування інтелектуальних технологій, наприклад, пріоритет транзитного сигналу (TSP), попередні сигнали, смуги для переходу з черги в чергу або контроль по периметру [19], а також планування ексклюзивного дорожнього простору, такого як смуги тільки для автобусів, автобусні смуги з переривчастим пріоритетом або смуги з динамічним пріоритетом [20]. Значний потенціал у стратегії пріоритезації

громадського транспорту, зокрема, було продемонстровано в численних дослідженнях, проведених за останні кілька десятиліть, які розглядали цю тему з різних точок зору та в різних масштабах.

Мікроскопічне моделювання дорожнього руху використовується для оцінки існуючих доріг та дорожніх мереж з врахуванням систем сигналізації автоматичного регулювання (САПР) [21], а також для аналізу альтернативних сценаріїв майбутнього розвитку (наприклад, автори [22] розробили систему динамічного розподілу та моделювання для оцінки та планування систем САПР шляхом інтеграції ексклюзивного дорожнього простору для автобусів. Автори провели мікроімітаційний аналіз реального коридору в Брісбені, Австралія, для оцінки впливу створення смуги для двоцільового швидкісного автобусного транспорту або транспортних засобів з великою кількістю пасажирів з метою максимізації використання доріг. Ху та ін. [23] також використовували мікроскопічне моделювання для вирішення проблеми розподілу та планування двоцільового швидкісного автобусного транспорту у двоцільовій постановці, застосувавши генетичні алгоритми для її вирішення. Фарид та ін. [24] розробили аналітичні моделі на основі теорії кінематичних хвиль для оцінки комбінованого впливу стратегій двоцільового швидкісного автобусного транспорту, черги-перехрестя та пріоритету транзитного сигналу на сигналізованих перехрестях за допомогою мікромоделювання.

Бассо та співавтори [25] використали чисельні моделі для вибору режиму руху та моделювання взаємодії автомобілів і автобусів на синтетичній дорозі з метою порівняння різних стратегій управління заторами, включаючи ціноутворення на затори і субсидування транзиту, оптимізуючи автобусні перевезення і надання послуг громадського транспорту для максимізації соціального добробуту. Хоча мікроскопічне моделювання може забезпечити аналіз з підвищеною точністю порівняно з макроскопічними або емпіричними моделями, воно часто є занадто витратним з точки зору обчислювальних ресурсів, щоб бути

включеним у систему оптимізації, особливо для великих мереж. Більшість цих досліджень стосується локального застосування стратегій пріоритезації громадського транспорту на конкретних магістральних дорогах, автомагістралях або невеликих коридорах, і їхні результати є результатом оцінки сценаріїв, а не добре налагодженого оптимального процесу проектування.

Крім того, були запропоновані методології стратегічного планування для розміщення виділених автобусних смуг, з особливим акцентом на врахуванні реакції пасажирів щодо вибору виду транспорту та маршруту. Зазвичай використовується дворівневе програмування, де на верхньому рівні планувальники дорожнього руху визначають соціально оптимальну мету розміщення виділених смуг, а на нижньому рівні – відповідну реакцію користувачів на ці рішення, враховуючи, що користувачі прагнуть максимізувати свою особисту вигоду, обираючи відповідний вид транспорту, маршрут та час відправлення. Месбах та ін. [26] змоделювали проблему вибору місця розташування відокремлених смуг руху як конкуренцію Стакельберга і застосували методи декомпозиції та відсікання площин для розв'язання відповідної дворівневої програми.

У роботі [27] розроблено дискретну бі-модальну задачу проектування мережі як дворівневу програму з обмеженнями рівноваги та кількома змінними рішення, включаючи будівництво нових доріг, додавання смуг, призначення напрямку руху та виділення смуг тільки для автобусів. Автори вирішили цю задачу за допомогою гібридних метаевристичних алгоритмів. Яо та співавтори [28] також сформулювали дворівневу модель програмування для встановлення двоцільового швидкісного автобусного транспорту та оптимізації частоти руху автобусів, використовуючи генетичні алгоритми для оптимізації. Сунь і Ву та Чжао та співавтори [29] також пропонували структури дворівневого програмування, зосереджені на кількох цілях та динаміці операційних перетинів, і використовували генетичні алгоритми для процесу розв'язання. Хоча дворівневе програмування інтегрує моделювання реакцій пасажирів на етапі стратегічного планування, воно

часто призводить до дуже складних формулювань проблем, що вимагають значних обчислювальних ресурсів, що ускладнює його застосування для великомасштабних мереж. Більше того, в таких формулюваннях зазвичай припускаються стаціонарні умови руху, а час у дорозі розраховується за емпіричними залежностями на основі функцій, запропонованих у Посібнику з пропускної спроможності автомобільних доріг (HCM) [30]. Однак, статичний розподіл руху не може врахувати ефекти утворення черг та зворотного поширення заторів, які можуть бути тісно пов'язані з наявністю відокремлених смуг руху, що призводить до потенційно нереалістичної оцінки продуктивності мережі.

Існують також цікаві дослідження з управління міським дорожнім простором на основі макроскопічного моделювання дорожнього руху, засновані на концепції макроскопічної фундаментальної діаграми (MFD), також відомої як мережева фундаментальна діаграма (NFD). Гонсалес [31] використовують концепцію MFD для управління міським простором і розподілу між конкуруючими видами транспорту і показують, що зарезервовані смуги для транзитних або багатомісних транспортних засобів можуть зменшити затримки, пов'язані з дорожнім рухом, навіть для неперіоритетних транспортних засобів. Чжен і Геролімініс [32] пропонують концепцію мультимодальної MFD для відображення динамічної взаємодії між конкуруючими видами транспорту в містах і розробляють основу для розподілу дорожнього простору, що оптимізує пасажиропотік. вивчають концепцію пасажирської MFD (p-MFD) як корисний інструмент для інтеграції в розробку оптимальних стратегій транзитних перевезень. Автори [33] пропонують концепцію MFD для оптимізації управління пропускною спроможністю доріг разом з транзитними операціями, інтегруючи вибір виду транспорту та динамічну рівновагу користувачів у моделюванні динаміки. Пізніше Андерсон і Геролімініс [34] вивчають вплив контрольованої автобусної смуги, яка дозволяє регулярним транспортним засобам в'їжджати за певних умов, відповідно до концепції динамічного управління, заснованої на моделюванні MFD.

1.3. Висновки до розділу 1.

Дослідження можливості влаштування відокремлених смуг руху для пріоритезації громадського транспорту в основному зосереджені на використанні мікроімітаційного моделювання для детальної проробки запропонованих рішень та потребує багато часу на виконання для транспортних мереж великих міст. Втім, якщо розглядати впровадження у міську транспорту систему відокремлених смуг для ГТ як стратегічний напрямок розвитку інфраструктури міста, макроскопічне моделювання є більш підходящим інструментом аналізу, оскільки воно дозволяє перевірити вплив рішення на перерозподіл транспортного попиту за видами транспорту, маршрутами, транспортними режимами у цілому по мережі.

Дана робота розвиває тематику минулорічної бакалаврської роботи, виконаної на кафедрі автомобільного транспорту Криворізького національного університету [33], щодо аналізу впливу заходів з пріоритезації руху ГТ у місті Кривий Ріг, тільки у частині влаштування відокремлених смуг руху для автобусних маршрутів комунального транспорту.

РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА.

2.1.Збір вихідних даних для моделювання.

Вибір найбільш підходящих методів збору даних значною мірою залежить від типу моделей, які будуть використовуватися в дослідженні; вони визначатимуть, який тип даних потрібен і, відповідно, які методи збору даних є найбільш прийнятними. Однак, практичні обмеження також матимуть значний вплив на визначення найбільш прийнятного типу обстеження для конкретної ситуації. Специфікація бажаної модельної системи та розробка плану дослідження є непростим завданням і вимагає значних навичок і досвіду.

У цьому відношенні варто розглянути два типи ситуацій:

Якщо розрахунковий рік дуже близький, як у випадку з тактичним транспортним дослідженням, часу на проведення дослідження буде небагато; це, ймовірно, означитиме необхідність використання певного типу інструменту аналізу, що, можливо, вимагатиме даних особливого типу.

З іншого боку, у стратегічних транспортних дослідженнях, як правило, горизонт дослідження становить 20 або більше років у майбутньому. Хоча, в принципі, це дає час для використання майже будь-якого типу аналітичного інструменту, це також означає, що помилки в прогнозуванні будуть відомі лише через 20 або більше років. Це вимагає гнучкості та адаптації, якщо ми хочемо досягти успішного процесу моніторингу та переоцінки.

Межі досліджуваної території. Тут важливо ігнорувати формальні адміністративні кордони і зосередитися на всій території, що становить інтерес. Необхідно також розрізняти цю територію і територію дослідження, як вона визначена у проектному запиті; перша зазвичай є більшою, оскільки ми очікуємо, що остання розвиватиметься впродовж, скажімо, 20 років. Визначення сфери

інтересів знову ж таки залежить від типу політики, що вивчається, та рішень, що приймаються.

Важливо знати, які комп'ютерні засоби рівня буде доступно для проведення дослідження; також важливо знати і які існують обмеження на їх використання. Загалом, наявний час і ресурси дослідження повинні бути сумірними з важливістю рішень, які будуть прийняті в результаті: чим більша ціна помилкового рішення, тим більше ресурсів має бути виділено на його прийняття.

Існує багато інших можливих обмежень на проведення транспортних досліджень, починаючи від фізичних (наприклад, розмір і топографія місцевості) і закінчуючи соціальними та екологічними.

Респонденти, якщо вони долучаються до дослідження, часто не бажають відповідати на «ще одну» анкету. Відповіді на запитання потребують часу і іноді можуть сприйматися як порушення особистого життя, що може призвести або до категоричної відмови відповідати, або до надання спрощених, але правдоподібних відповідей. У багатьох країнах необхідно отримати дозвіл від влади, перш ніж розпочати будь-яке дослідження дорожнього руху, яке може спричинити перешкоди для учасників руху.

Сучасні технології пропонують низку методів збору інформації про поїздки, місця призначення, способи пересування або вибір маршруту, наприклад, відстеження місцезнаходження мобільного телефону. Однак це створює проблеми конфіденційності, з якою потрібно поводитися обережно, і, звичайно, відповідно до законодавства. Крім того, такі методи відстеження не дають багато інформації про наміри, що лежать в основі поведінки, хоча деякі з них можуть бути визначені з показників місця і часу. Джерелом таких транспортних даних для міста Кривого Рогу могли б виступити дані про переміщення абонентів стільникового зв'язку «Київстар».

Під час повномасштабної військової агресії росії проти України, отримання польових даних обмежується відкритими джерелами, а проведення опитувань населення сильно ускладнено.

2.2. Типи польових обстежень

У багатьох містах, і особливо у мегаполісах, важливу роль відіграють дані опитувань про поїздки. У деяких ситуаціях цей вид даних використовується майже повністю через їх багатостороннє висвітлення існуючого стану, таким чином, допомагають аналітику виявити проблеми, пов'язані з транспортною системою. В інших випадках дані збираються в першу чергу для використання в стратегічному транспортному моделюванні, а отже, і прогнозуванні.

Розуміння використання даних є одним із ключових кроків у визначенні методології опитування будь-якого обстеження. Наприклад, моделі діяльності (activity models) вимагають великої кількості даних не лише про діяльність, яку виконують люди, але й про «інфраструктуру» діяльності. Однак, звичайна потреба в даних обстеження поїздок полягає у забезпеченні точного прогнозування, як правило, за допомогою моделі стратегічного транспортного планування. У цьому випадку ключовими елементами даних є поїздки між пунктами відправлення та призначення, а не поведінкові детермінанти.

Стофер і Джонс [35] показали набір елементів, які має враховувати сучасне транспортне дослідження. Зосереджуючись на деяких ключових елементах, необхідних для підвищення корисності даних як допоміжного засобу для калібрування сучасної моделі транспортного планування згідно з найкращою практикою, можна бачити, що набір даних, швидше за все, матиме наступні характеристики:

- зв'язок конкретних видів (режимів) транспорту з конкретними місцями/часом доби/тривалістю поїздки тощо;

- включення в дослідження всіх видів транспорту, у тому числі немоторизованого транспорту, що дозволяє відтворити мультимодальну транспорту модель;
- вимірювання неагрегованих рівнів цілей поїздок за шарами попиту;
- охоплення якомога більшого періоду часу обстеження, наприклад, 24 години на добу, сім днів на тиждень і, можливо, 365 днів на рік;
- отримання високоякісної інформації, достатньо надійної для використання навіть на неагрегованому рівні від усіх домогосподарств.

На жаль, збір даних на високому рівні точності є вельми складною задачею, і часто стає неможливим через труднощі в залученні достатньої кількості людей до такої роботи.

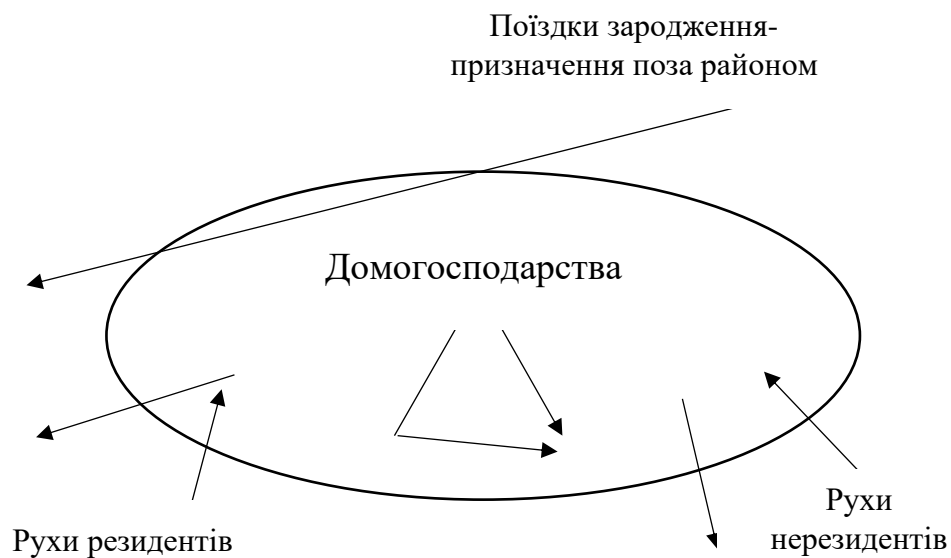


Рис.2.1. Обсяг збору даних, необхідних для дослідження поїздок зародження-призначення.

Рисунок 2.1 корисний для опису масштабу дослідження для охоплення всіх поїздок у місті. Спочатку необхідно визначити область дослідження. Зовнішня межа області дослідження відома як зовнішній кордон. Після цього територія

поділяється на райони для того, щоб мати чітке і просторово деталізоване уявлення про місця відправлення і призначення поїздок, і таким чином можна просторово кількісно визначити такі змінні, як чисельність населення та його зайнятість.

Територія за межами зовнішнього кордону також поділена на райони, але з меншим рівнем деталізації. Усередині досліджуваної території також можуть існувати інші внутрішні кордони (тобто штучний поділ вздовж природного або штучного кордону з невеликою кількістю перетинів, таких як річка або залізнична лінія). Не існує жорстких правил для визначення місця розташування зовнішнього кордону, а отже, і того, які території вважатимуться зовнішніми; це залежить від масштабу та рівнів прийняття рішень, прийнятих для дослідження.

З рисунку 2.1 випливає, що для дослідження необхідні наступні дані:

Опитування домогосподарств. Поїздки, здійснені всіма членами домогосподарства всіма видами транспорту як в межах досліджуваної території, так і за її межами. Обстеження має включати соціально-економічну інформацію, яка є дуже ефективною для отримання даних, які дозволяють оцінити моделі генерації поїздок та розподілу по видах транспорту.

Зовнішній кордон. Дані про людей, які перетинають кордон досліджуваної території, особливо про її нерезидентів. Такі дані також можуть бути використані для перевірки та доповнення даних домогосподарств про перетині досліджуваної території, оскільки зазвичай збирається лише невелика кількість даних, навіть під час дуже великих опитувань. Це коротші опитування, що проводяться в місцях перехоплення поїздок, респондентів, які прибувають і виїжджають з досліджуваної території: опитування на борту громадського транспорту або в пунктах пересадки на інший вид транспорту (наприклад, в аеропортах).

Перехресні обстеження, внутрішні кордони: необхідні для вимірювання поїздок нерезидентів, а також для певної перевірки даних про домогосподарства. Вони є важливими вхідними даними для інших моделей.

Підрахунки руху та кількості осіб: є недорогими і необхідні для калібрування, валідації та подальших перевірок інших обстежень. для подальших перевірок в інших дослідженнях.

Обстеження часу в дорозі: необхідні для калібрування та перевірки більшості моделей поїздок як індивідуальним, так і громадським транспортом.

Інші супутні дані: для створення надійних моделей прогнозування, необхідних у мегаполісах, також важливо мати методологію опитування, яка дозволяє інтегрувати пов'язані елементи даних, що впливають на поведінку пасажирів. Сюди ми включаємо:

- аналіз землекористування, включаючи житлові зони з визначенням щільності населення, комерційні та промислові зони з урахуванням типів підприємств, а також області для паркування та інші, є надзвичайно важливими для розробки моделей генерації поїздок;
- оцінка інфраструктури та наявних послуг, таких як мережі громадського та приватного транспорту, тарифи на проїзд, частота руху транспорту та розташування та час роботи світлофорів, є ключовою для калібрування моделей, зокрема моделей розподілу та призначення;
- інформація зі спеціальних опитувань про ставлення та еластичність попиту, таких як заявлені переваги та інші методи.

Кожен з вищезазначених компонентів дослідження вимагає детального планування разом з ретельно підбраною стратегією.

2.3. Оновлення даних транспортної моделі

Матриці та моделі, які відповідають поточному збору даних слід періодично оновлювати. Враховуючи конкретні матриці поїздок для всієї досліджуваної території, транспортні моделі необхідно оновлювати не частіше, ніж раз на 12-18 місяців, залежно від типу міста, яке досліджується.

Періодичне оновлення моделей і матриць, ймовірно, матиме ефект на зібрані дані. У цьому контексті може бути кілька елементів, які варто періодично оновлювати:

Генерація та моделі привабливості поїздок.

Матриці поїздок, що відображають диференціальне зростання в різних частинах досліджуваної території.

Розподіл видів транспорту, включаючи немоторизовані види транспорту, що відображає можливі впливи різних транспортних політик.

Рівні трафіку в різних частинах мережі, що дозволяє визначити диференціальне зростання у мережі.

Тенденції щодо володіння автомобілями та формування домогосподарств у різних районах міста.

Пріоритетність застосування кожного з цих індикаторів залежатиме від типу транспортної політики, що розглядається, необхідності моніторингу її ефективності та загальних потреб у моделюванні. Це також буде залежати від очікуваних темпів змін, їх важливості та витрат, пов'язаних зі збором даних для оновлення, включаючи соціальні витрати, пов'язані з турботою про користувачів транспортної системи.

Важливо також відзначити зручність оцінки інших типів моделей, які можуть знадобитися в майбутньому, таких як моделі вибору часу доби та динамічні моделі. З іншого боку, наявність даних, зібраних на постійній основі дозволяє відстежувати поведінку користувачів щодо радикальних втручань у транспортну систему. Прикладами можуть бути надзвичайні екологічні ситуації, коли збільшуються обмеження на в'їзд автомобілів, ремонтні роботи на магістральних дорогах, зміни цін на бензин, тарифів на проїзд чи паркування. плата за паркування. Реакція на таку політику (передбачувана чи ні) надає базову інформацію про поведінкові пороги користувачів і створює тимчасову базу даних, яка має полегшити розробку більш складніших моделей.

2.4. Метод дослідження

1. *Вступ.* Дана робота передбачає оцінку впровадження політики пріоритезації руху громадського транспорту у місті Кривий Ріг за рахунок відокремлених смуг руху на основних магістралях міста. Поставлене завдання виконується за допомогою транспортної моделі міста Кривий Ріг, реалізованої у програмному забезпеченні PTV VISUM [35].

В результаті розрахунків транспортної моделі можна отримати розподіл попиту на види транспорту та графічне зображення різниці пасажиропотоків та транспортних потоків для різних сценаріїв в залежності від обраної політики.

Модель використовує фіксовані матриці попиту, які містять транспортні та пасажирські потоки між зоною відправлення та зоною призначення. Потім виконується процедура вибору виду транспорту для розподілу попиту між індивідуальним, громадським транспортом, велосипедом та вантажним транспортом. Останнім кроком у процесі моделювання є виконання процедури, яка розподіляє поїздки по вулично-дорожній мережі.

Модель буде використана як інструмент для оцінки змін у пропозиції транспортної інфраструктури. Даний етап є важливим у транспортному плануванні для вимірювання впливу змін у системі транспортного обслуговування. Це допомагає особам, які приймають рішення, оцінити переваги нових змін і вирішити, чи вони матимуть позитивний вплив у контексті зменшення заторів, економічної вигідності, стійкості та інших факторів.

2. *Ідея в основі методу.* Пріоритезація громадського транспорту буде означати зменшення пропускної спроможності магістральних вулиць для індивідуального транспорту на 20% - 30%, якщо дорожній простір буде перерозподілено від загального дорожнього руху на користь активного або громадського транспорту, наприклад, шляхом відокремлення автомобільної смуги для руху комунальних автобусів. Очікується, що перенаправлення руху на

альтернативні маршрути буде першочерговою реакцією після перерозподілу, а також невеликий зсув від автомобілів до інших видів транспорту після перерахунку вибору виду транспорту.

Автомобільні та залізні дороги транспортної мережі PTV VISUM з'єднують вузли, такі як перехрестя в ІТ або пункти зупинки в ГТ. Кожна дорога відображається як нерівне ребро, вказуючи номер вузла, з якого вона починається (у термінології VISUM – «ІзВузла»), та номер вузла, на якому закінчується (у термінології VISUM – «Ввузол»). Дорожні напрямки в моделі мережі є самостійними об'єктами з однаковим номером дороги, протилежно розташованими номерами ІзВузла та Ввузол (вузол, що є ІзВузлом у одному напрямку, є Ввузол у протилежному напрямку). Це означає, що для кожного напрямку можна задати різні атрибути. Для кожного відрізка не потрібно вказувати припустимі системи транспорту ІТ та ОТ, які можуть використовувати цю інформацію. Таким чином, можна, наприклад, блокувати один з напрямків для транспортного руху і моделювати дорогу з одностороннім рухом.

PTV VISUM використовує атрибути відрізків для опису транспортно-технічних характеристик автомобілів. Крім цього, він надає можливість розділення вантажів на різні типи, які мають свої властивості у Типах відрізків, які в свою чергу, мають атрибути. Кожен відрізок за допомогою атрибута «Номер типу» відноситься до певного типу відрізка, який сприяє створенню класифікації мережі та забезпечують зазначення стандартних значень для наступних атрибутів відрізків відповідно до їх типів.

- Список доступних для встановлення параметрів на відрізки для пасажирських систем транспорту.
- Пропускна спроможність ІТ.
- Допустима швидкість ІТ ($ITv0$) при вільному руху транспортного потоку.
- Мінімальна швидкість.
- Кількість смуг руху.

- Ранг для визначення значимості відрізка.
- Максимальна допустима швидкість вМакс-СисТр для кожної системи транспорту ІТ.
- Специфічна для системи транспорту швидкість в ІТ для дорожнього збору.
- Специфічна для системи транспорту швидкість в-ОТСисТр для розрахунку часу руху транспорту ОТ, виходячи з довжини відрізка.
- Три норми затрат для кожної системи транспорту в ГТ для розрахунку витрат відрізка в рамках моделі перевезення.


Принципово значущі атрибути одного імені на відрізку не залежать від атрибутів, призначених конкретному типу відрізка. Це означає, що можна встановлювати атрибути для кожного відрізка незалежно від його типу. Однак рекомендується приймати значення саме типу відрізка. Це дозволить досягти максимальної уніфікації в моделюванні відрізка і зробити зміни в атрибутах простіше, оскільки ви вноситимете їх для типу відрізка, а не для кожного відрізка.

Пропускна спроможність доріг для поточної, або «базової» моделі визначається на основі стандартних значень пропускної здатності на одну смугу для різних типів відрізків.

Типова пропускна спроможність міської дороги становить 800 транспортних засобів на годину на одну смугу.

Пропускна спроможність у PTV VISUM – це атрибут відрізка, який називається «Пропускна спроможність PrT» (Capacity PrT), де PrT розшифровується як «Приватний транспорт». Тут місткість вказана в одиницях «PCU», що означає «одиниця легкового автомобіля» (per car unit) і є узагальненою одиницею, яка враховує розміри транспортних засобів.

3. Процедура зміни пропускної здатності відрізків.

У вікні редактора мережі потрібно перебувати в режимі редагування, клацнувши піктограму .

Переходячи до мережі та виділив відрізок, який потрібно налаштувати. Можна скористатися курсором миші та вибрати необхідний відрізок, як показано нижче (рис.2.2).

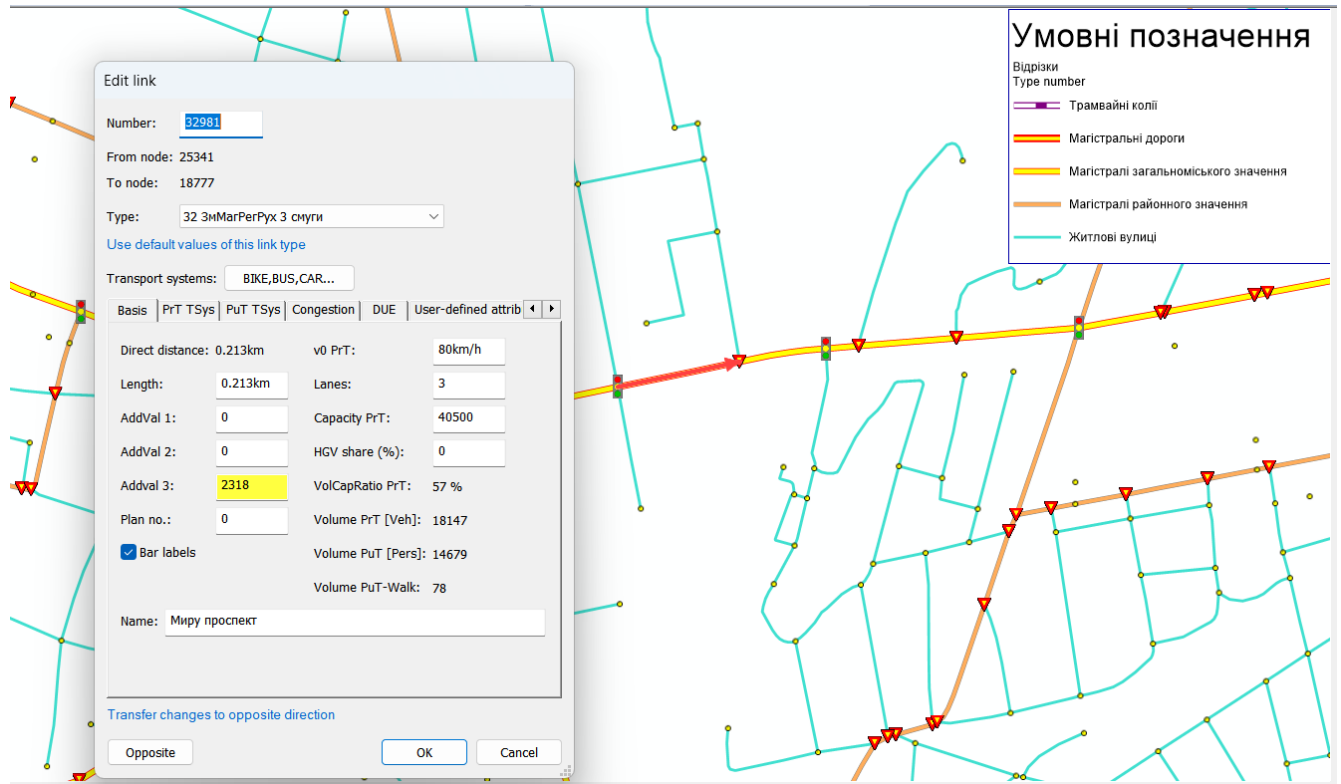


Рис.2.2. Редактор відрізка у моделі Кривого Рогу.

Обираються кілька відрізків, утримуючи клавішу Control на клавіатурі (ctrl) + клацнути лівою кнопкою миші.

Вибравши потрібні відрізки, потрібно клацнути правою кнопкою миші та вибрати у меню «Редагувати».

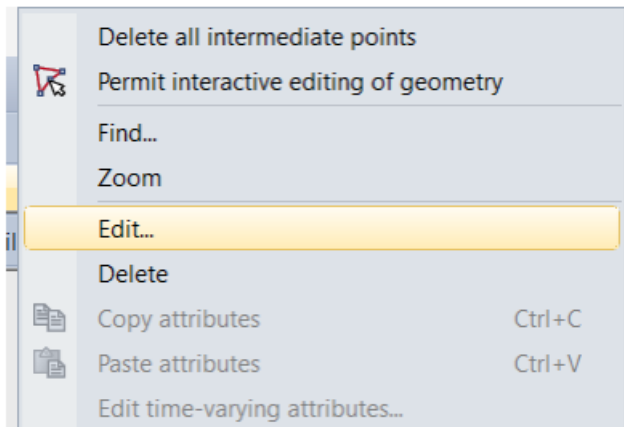



Рис.2.3. Реагування відрізків.

З'явиться вікно редагування відрізків, у якому можна внести зміни до багатьох відрізків одночасно. Якщо залишити позначку «Лише активні», буде змінено лише ті відрізки, які зараз активні.



Потрібно обрати атрибут, який потрібно змінити

У вікні вибору атрибутів необхідно вибрати «Capacity PrT».

Тепер можна застосовувати формулу для зменшення пропускної здатності на 20%. Натиснути «Розподіл» на «Формулі». Праворуч натиснути «Додати операнд» .

Додати атрибут «Capacity PrT» і помножити його на 0,8, як показано нижче:

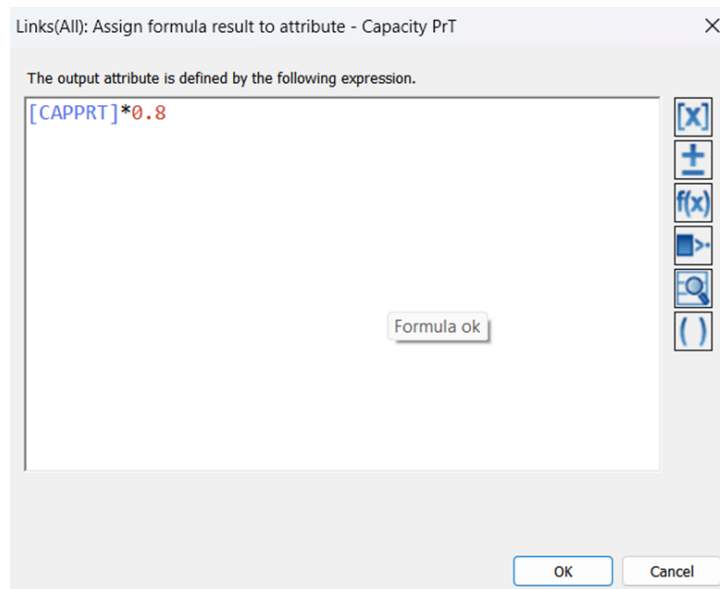


Рис.2.4. Зміна пропускної здатності доріг.

Пропускна здатність для активних відрізків буде змінена відповідно до формули вище. Це можна побачити у редакторі мережі з відображенням нових значень пропускної здатності.

Закрити вікно редагування відрізків, не вносячи подальших змін.

Виконати розрахунок активних процедур у послідовності (PROCEDURE SEQUENCE).

4. Порівняння сценаріїв.

Для оцінки результатів моделювання сценаріїв за допомогою порівняння файл-версій, необхідно відкрити оновлену модель і виконати такі дії:

У меню File вибрати COMPARE AND TRANSFER NETWORKS > VERSION COMPARISONS.

Натиснути кнопку Add, щоб створити нове порівняння.

У полі *Type of version comparison* вибрати *Use attributes from comparison network*.

Вибрати файл моделі, з яким необхідно порівняти поточну модель. Наприклад, файл версії KR_BASE.VER є незмінною моделлю.

Ввести код *Base* для порівняння версій. Атрибути порівняння об'єктів мережі пізніше будуть доступні під цим кодом.

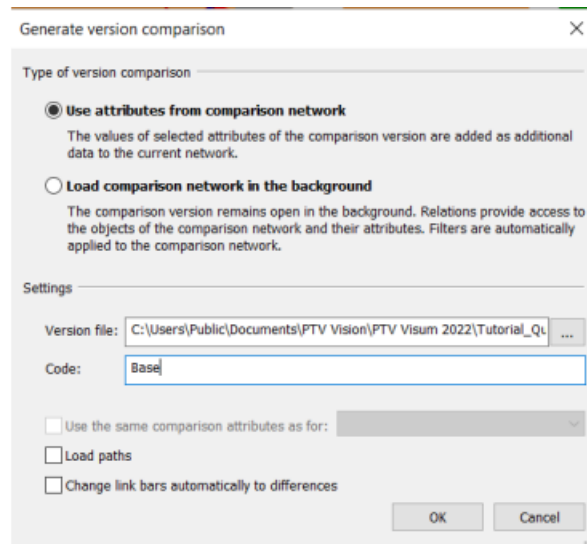


Рис.2.5. Порівняння версій моделі.

Підтвердити вибір натисканням кнопки ОК. З'явиться діалогове вікно *Generate version comparison* для вибору атрибутів.

Щоб обмежити порівняння версій відповідними атрибутами відрізків, натиснути кнопку OPEN SELECTION і вибрати файл LAYOUT_VERSIONCOMPARISON.NET. Повернутись до діалогового вікна вибору атрибутів атрибутів.

Підтвердити вибір за допомогою кнопки ОК. Порівняння версій буде створено. З'явиться діалогове вікно для керування порівнянням версій. Розгорнути запис у *Base* списку.

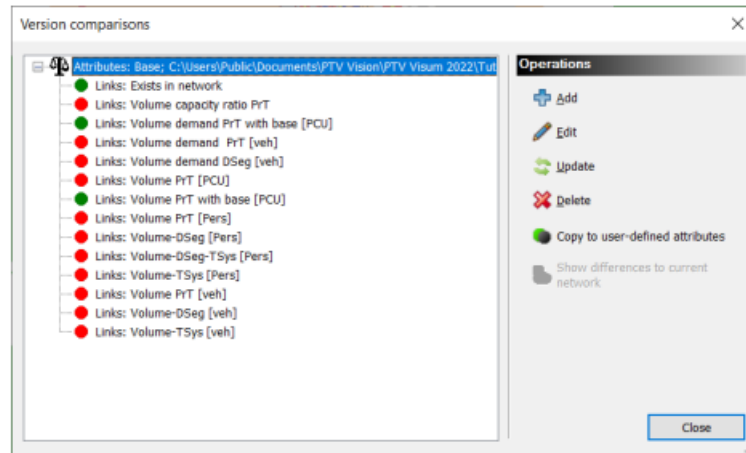


Рис.2.6 Налаштування порівняння версій.

Можна побачити, які атрибути посилань (керовані файлом верстки) були використані для порівняння версій.

5. Графічне порівняння зміни обсягів потоків.

Діаграми транспортних потоків індивідуального транспорту.

Обрати лівою кнопкою миші об'єкт типу Links.

Клацнути правою кнопкою миші, щоб відкрити контекстне меню, і вибрати пункт GRAPHIC PARAMETERS > BARS. Відкриється діалогове вікно Редагування графічних параметрів (*Edit graphic parameters*).

Двічі клацнути запис у рядку *Scale/MaxDimension*, щоб вибрати цей атрибут для редагування і ввести необхідне значення (наприклад, 5).

Переконатись, що атрибут Volume PrT [veh] - Base (AP) вибрано для відображення діаграми. Це розрахунковий атрибут, що містить різницю значень Volume PrT [veh] поточної мережі та аналогічного атрибута з мережі порівняння з кодом *Base*.

У таблиці клацнути запис у рядку *ScalingAttrID* і перевірте, чи виконується запис Volume PrT [veh] > Base > This network - Base в структурі дерева.

Діаграми пасажирських потоків громадського транспорту

Для відображення диференційної діаграми пасажиропотоків при редагуванні графічних параметрів відрізків необхідно обрати відповідний атрибут Volume PuT [Pers] - Base (AP), який містить різницю значень Volume PuT [Pers] поточної мережі та аналогічного атрибута з мережі порівняння з кодом *Base*.

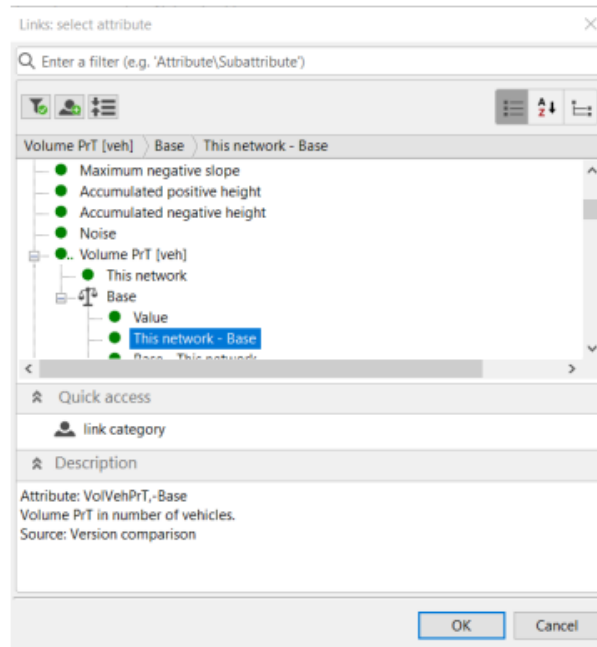


Рис.2.7. Вивід атрибутів

Кольори діаграм відрізків за замовчуванням не відповідають очікуванням, оскільки збільшення обсягів потоків транспорту (пасажирів) має, наприклад, відображатися червоним кольором, тоді як зменшення – зеленим. Це означає, що кольори класифікованого відображення повинні бути змінені на протилежні, що можна виконати за процедурою, описаною нижче.

Натиснути на кольори, показані поруч з пунктом «Заливка» (*Filling*), і перейти на вкладку «Стиль заливки» (*FILL STYLE*).

Переконатись, що для стилю заливки вибрано атрибут «Масштабування» (*Like scaling attribute*).

У правій таблиці вибрати зелений колір для значень ≤ 0 і червоний для значень > 0 .

Можна зменшити кількість класів, натиснувши на іконку з червоним хрестиком, як показано нижче, залишивши тільки два класи, як показано на другому зображенні. Натиснути ОК, щоб підтвердити.

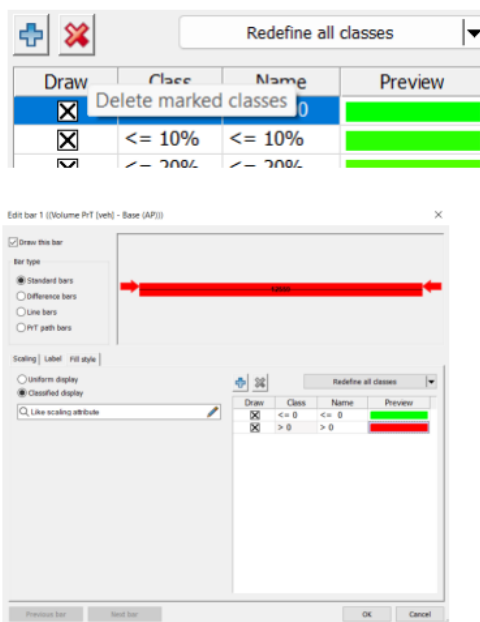


Рис.2.8. Налаштування графічного відображення діаграм.

Наведений вище приклад показує різницю в обсягах потоків між базовим та скоригованим сценарієм, коли було впроваджено відповідні заходи. Залежно від того, яка ділянка/відрізок змінюється, графік різниці покаже зміни у попиту.

2.5. Область дослідження

Область дослідження представляє собою магістральну вулицю у місті Кривий Ріг від перехрестя проспекту Миру з вулицею Кобилянського у Центрально-Міському районі міста до кругового перехрестя на пл. 40-річчя Перемоги у Тернівському районі. Загальна довжина вулиць області дослідження складає 30 км. На рис.2.9 показані відрізки у моделі Кривого Рогу в програмному

забезпеченні PTV VISUM, які входять в область дослідження і для яких буде змінено пропускну здатність.



Рис.2.9. Область дослідження транспортної моделі міста.

Основні ділянки області дослідження диференціюються наступним чином:

1. Ділянка 1 – від перехрестя проспекту Миру та вулиці Кобилянського до пл.30-річчя Перемоги – магістральна вулиця із 3 смугами в одному напрямку і пропускну здатністю – 40500 авт./доба (рис.2.10).

2. -Ділянка 2 – від пл.30-річчя Перемоги до перехрестя вулиць Едуарда Фукса з вулицею Георга Отса – магістральна вулиця із 4 смугами в одному напрямку і пропускну здатністю – 52500 авт./доба (рис.2.11).

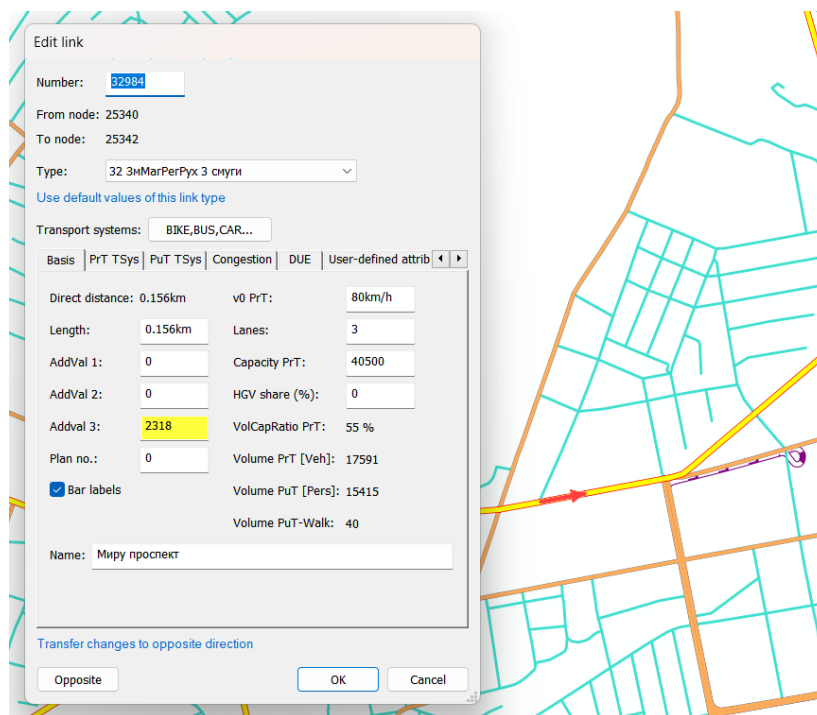


Рис.2.10. Пропускна здатність на ділянці 1 області дослідження.

3. Ділянка 3 – від перехрестя вулиць Едуарда Фукса з вулицею Георга Отса до перехрестя вулиць С.Колачевського та вул. Чарівна – магістральна вулиця із 3 смугами в одному напрямку і пропускною здатністю – 40500 авт./доба (рис.2.11).

4. Ділянка 4 – від перехрестя вулиць С. Колачевського та вул. Чарівна до пл. 40-річчя Перемоги – магістральна вулиця із 1 смугою в одному напрямку і пропускною здатністю – 15000 авт./доба.

Базова модель включатиме виконання процедур перерозподілу транспортного попиту для існуючого положення без влаштування відокремлених смуг для громадського транспорту.

Першій сценарій включатиме зменшення пропускної здатності магістральних вулиць по всій області дослідження на 20% для індивідуального транспорту із збереженням загальної кількості смуг руху, що має призвести до збільшення обсягів перевезень на громадському транспорті та частковому перенаправленню пасажирських потоків на магістральні вулиці. Після виконання

процедур перерозподілу проводиться аналіз завантаженості мережі від індивідуального транспорту та добові обсяги перевезень на громадському транспорті на всіх ділянках транспортної мережі міста.

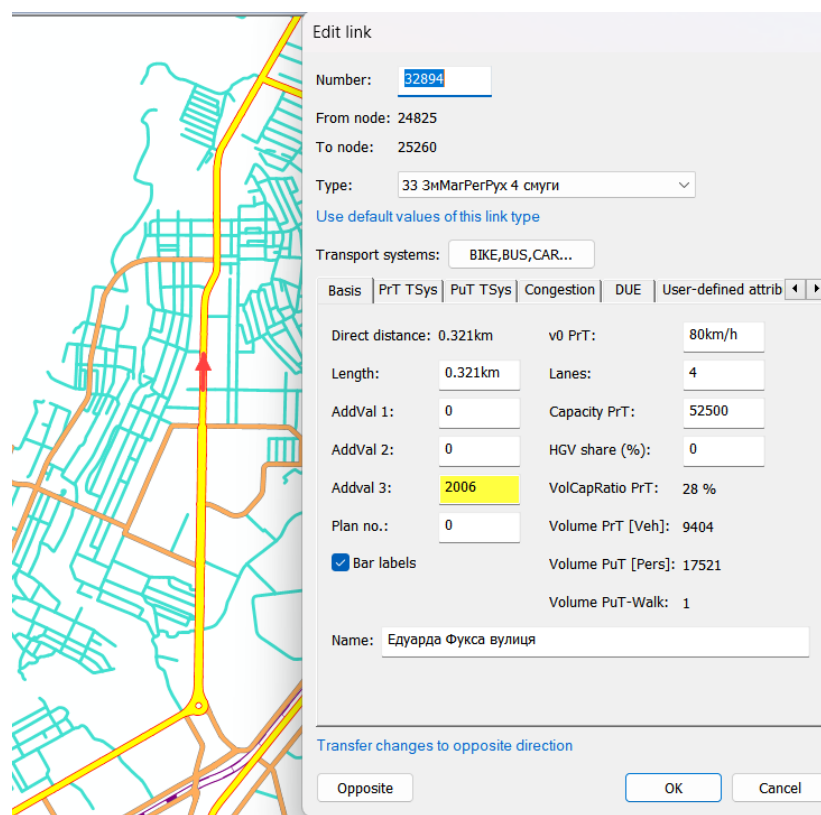


Рис.2.11. Пропускна здатність на ділянці 2 області дослідження.

Після цього, у разі потреби, зменшується загальна довжина області дослідження за рахунок видалення одної з ділянок із сценарію 1, тобто для цієї ділянки зменшення пропускної здатності вже не застосовуватиметься. Після нового перерозподілу проводиться аналіз показників перевезень та інтенсивності потоків транспортних засобів для нового сценарію. «Видалення» ділянок для нового сценарію відбуватиметься поки обсяги перевезень на ГТ на магістральних вулицях не задовольнятиме умові:

$$P_j > P_i$$

P_j – пасажиропотік на магістральних вулицях у сценарії j ; P_i – пасажиропотік на магістральних вулицях у попередньому сценарії i .

РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАПРОПОНОВАНИХ РІШЕНЬ

Оцінка ефективності запропонованих рішень із влаштування виділених смуг для руху громадського транспорту у місті Кривий Ріг проводилась за результатами транспортного моделювання у програмному забезпеченні PTV VISUM.

Для існуючого стану без влаштування виділених смуг для руху громадського транспорту розраховані картограми добової завантаженості мережі від індивідуального транспорту (рис.А.1) та перерозподілу пасажирських потоків на громадському транспорті (рис.А.2).

Як видно з рис.А.1, максимальний рівень завантаженості мережі від індивідуального транспорту спостерігається на ділянці від району Трампарку до ПівдГЗК, на перегоні між вул. Вільної Ічкерії та вул. В.Великого, на об'їзній дорозі убік мкрн.Східний-1, на дорозі Р74 убік району Божедарівки. При цьому рівень завантаженості ІТ магістральної вулиці, на якій планується влаштування відокремлених смуг для ГТ, знаходиться на рівні 0,4 – 0,6 на ділянці від перехрестя вулиці Кобилянського та проспекту Миру до перехрестя вулиць Марійської та В.Великого та на рівні 0,2 – 0,4 далі в області дослідження.

Найбільш завантажені ділянки за обсягом перевезених пасажирів приблизно в 21500 пас./добу – від перехрестя вулиці Кобилянського та проспекту Миру до перехрестя вулиць Марійської та В. Великого, що складає 50% від пропускної здатності магістральних вулиць на зазначеній ділянці.

У разі облаштування виділених смуг для руху громадського транспорту за сценарієм 1 від перехрестя вулиці Кобилянського та проспекту Миру до пл. 40-річчя Перемоги перерозподіл попиту на індивідуальний та громадський транспорт буде виглядати наступним чином.

Диференційна картограма добової завантаженості мережі від індивідуального транспорту (рис.А.3) показує, що перерозподіл інтенсивності руху індивідуального транспорту відбуватиметься з магістральних вулиць на вулицю

Світлогорська до 387 авт./добу, що є незначним показником. Таким чином, відокремлення смуг руху на користь громадського транспорту на магістралі міста не буде мати великого впливу на завантаженість мережі ІТ на ній.

Диференційна картограма перерозподілу пасажирських потоків на громадському транспорті (рис.А.4) говорить про те, що на основній магістралі міста Кривий Ріг прогнозується збільшення обсягів перевезень пасажирів громадським транспортом на 807 – 933 пас./добу для кожного з напрямків на ділянці від перехрестя Миру-вул. Кобилянського до пл.Горького, на 585 пас./добу на ділянці пл.Горького -пл. В.Великого. Від пл. В.Великого до перехрестя вул. Е.Фукса з вул. М. Світальського спостерігатиметься зменшення пасажирських потоків від 165 до 240 пас./добу. Перерозподіл – на користь об'їзних доріг вздовж мкрн. Вечірній Бульвар, мкрн. Сонячний (до 733 пас./добу). По вулиці Січеславській передбачається збільшення паспотоків до 213 пас./добу, по вул. Сергія Колачевського – до 91 пас./добу.

Фактор потенційного зменшення пасажирських потоків на ділянці від пл. В.Великого до перехрестя вул. Е.Фукса з вул. М. Світальського не дозволяє розраховувати на ефективність облаштування відокремлених смуг для громадського транспорту на даній ділянці (незважаючи на те, що на цій ділянці максимальний порівняно з іншими ділянками «запас» пропускнуої здатності). Далі на північ міста по вул. С.Колачевського збільшення паспотоків очкується незначним. У зв'язку з цим, необхідним стає перевірка та подальша оцінка сценарію 2 із влаштуванням відокремлених смуг руху від перехрестя вулиці Кобилянського та проспекту Миру до пл. 30-річчя Перемоги. Сценарій 2 показано на рис.3.1.

Для сценарію 2 диференційна картограма добової завантаженості мережі від індивідуального транспорту (рис.А.5) практично не відрізняється від диференційної картограми картограма добової завантаженості мережі від індивідуального транспорту для сценарію 1.



Рис.3.1. Сценарій 2.

Результати розрахунку пасажирських потоків для сценарію 2 із влаштуванням відокремлених смуг руху від перехрестя вулиці Кобилянського та проспекту Миру до пл. 30-річчя Перемоги показані на рис.А.6.

У разі реалізації даного сценарію очікується збільшення обсягів перевезень пасажирів на громадському транспорті на ділянці від перехрестя вулиці Кобилянського та проспекту Миру до пл. Горького на 936 пас./доба в одному напрямку руху, від пл. Горького до пл. О. Поля – на 588 пас./доба в одному напрямку, у північній частині області дослідження (до пл.40-річчя Перемоги) – на 86 пас./доба.

РОЗДІЛ 4. БЕЗПЕКА РУХУ ПРИ ВПРОВАДЖЕННІ РІШЕННЯ

Кількість автомобілів у містах суттєво зростає, що спричиняє такі проблеми: брак паркувальних місць, збільшення довжини черг у заторах транспортних засобів, перекриття вулиць по одній смузі через нелегальне паркування тощо. За таких умов водії виступають за розвиток дорожньої інфраструктури екстенсивним шляхом. Однак у центральній частині міста можливості для розширення інфраструктури обмежені.

Однак розширення бульварів і будівництво нових вулиць призведе до ще більшого збільшення кількості приватних автомобілів, що не вирішить проблему заторів у міській мережі.

Саме тому важливо визначити і впровадити політику, яка б збільшила кількість користувачів громадського транспорту і зменшила кількість приватних автомобілів. До тих пір, поки громадський транспорт залишатиметься другим кращим рішенням для задоволення потреб мешканців у мобільності, міста продовжуватимуть стикатися з серйозними проблемами, пов'язаними з заторами на дорогах.

Найбільш ефективними заходами для зменшення кількості приватних транспортних засобів у містах є:

- додаткова плата за проїзд через ділянку вулиць (з найбільшими заторами);
- надання більшого пріоритету розвитку громадського транспорту.

Перше рішення є непопулярною реформою. Друге рішення здається більш прийнятним для міста Кривий Ріг.

Виділена смуга призначена для надання пріоритету громадському транспорту, відокремлюючи його від інших видів транспорту і дозволяючи йому швидше та ефективніше пересуватися через місця масового скупчення людей.

Відокремлення автобусів і тролейбусів від інших транспортних засобів на виділених смугах захищає їх від заторів і затримок, а також підвищує надійність

надання транспортних послуг. Більш плавний рух також економить паливо і робить автобуси більш привабливим способом пересування в години пік.

У Кривому Розі громадський транспорт курсує разом із загальним рухом. Змішаний режим роботи значно знижує привабливість громадського транспорту, оскільки транспортні засоби потрапляють у затор, особливо в центральних районах. Таким чином, громадський транспорт можна охарактеризувати як небезпечний, повільний, неадекватний, переповнений і невідповідний до задоволення попиту мешканців.

У 2021 році було проведено моніторинг громадського транспорту на основних зупинках міста та визначені пікові години доби, коли попит на нього максимальний. Встановлено, що ранковий пік - це між 7:00- 09:00 та вечірній пік - між 16:00-19:00.

Впровадження відокремленої смуги руху є рішенням з найбільшими довгостроковими перевагами. Основним елементом успішності цього варіанту є фізичне відокремлення смуги громадського транспорту від смуг загального руху, яке надає такі переваги:

- дозволить збільшити середню швидкість громадського транспорту;
- дозволить скоротити час у дорозі щонайменше на кожному відрізку, де буде облаштована виділена смуга;
- заохотить мешканців міста користуватися громадським транспортом;
- звільнить тротуари від припаркованих автомобілів.

З точки зору безпеки дорожнього руху виділену смугу дозволено перетинати для повороту направо, в'їзду та виїзду з двору, але заборонено їхати по ній. Також заборонено зупинятися, стояти або паркуватися на виділеній смузі зі знаком «Зупинка заборонена» (3.34).

Знаком «Зупинку заборонено» (3.34) заборонено зупинку, стоянку або паркування на крайній смузі на окремих ділянках.

ВИСНОВКИ

У роботі виконано прогноз перерозподілу потоків індивідуального та громадського транспорту при влаштуванні відокремлених смуг для руху громадського транспорту (автобусів, тролейбусів, маршрутних таксі) на основних магістральних вулицях міста Кривий Ріг.

1. Актуальність теми даної роботи обумовлена рядом об'єктивних транспортно-планувальних факторів, що сприяють відокремленню смуг для руху громадського транспорту у місті Кривий Ріг: запасом пропускної здатності по відношенню до транспортного навантаження на магістральних вулицях (рівень завантаженості магістральних вулиць від 40% до 60%), значних відстаней перевезень міським громадським транспортом (до 40 км), перевищенням пасажирських потоків на безрейковому громадському транспорті пасажирських потоків на рейковому громадському транспорті у 4,7 разу (у 2022 р. автобусами приватних перевізників було переміщено 62,4 млн. осіб/рік, комунальними автобусами – 4,9 млн. осіб/рік, тролейбусами – 20,3 млн. осіб/рік, що у сумі дає 97,6 млн. осіб/рік проти 20,5 млн. осіб/рік, переміщених трамваєм). Основна мета з влаштування відокремлення смуг руху для громадського транспорту – підвищення швидкості сполучення, що може призвести до збільшення привабливості громадського транспорту та попиту на нього.

2. Область дослідження включала магістральну вулицю у місті Кривий Ріг від перехрестя проспекту Миру з вулицею Кобилянського у Центрально-Міському районі міста до кругового перехрестя на пл. 40-річчя Перемоги у Тернівському районі.

3. Пріоритезація громадського транспорту означала моделювання сценарію у програмному забезпеченні PTV VISUM із зменшення пропускної здатності магістральних вулиць для індивідуального транспорту на 20%, коли

дорожній простір буде перерозподілено від загального дорожнього руху на користь громадського транспорту.

4. За результатами розрахунку процедур перерозподілу індивідуального та громадського транспорту у PTV VISUM встановлено, що у разі реалізації сценарію із влаштуванням відокремлених смуг руху від перехрестя вулиці Кобилянського та проспекту Миру до пл. 30-річчя Перемоги очікується збільшення обсягів перевезень пасажирів на громадському транспорті на ділянці від перехрестя вулиці Кобилянського та проспекту Миру до пл. Горького на 936 пас./доба в одному напрямку руху, від пл. Горького до пл. О. Поля – на 588 пас./доба в одному напрямку, у північній частині області дослідження (до пл.40-річчя Перемоги) – на 86 пас./доба.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Чому такі важливі виділені смуги громадського транспорту. Електронний ресурс:https://censor.net/ru/blogs/3153800/chomu_tak_vajliv_vidlen_smugi_gromadskogo_transportu
2. Міська цільова програма розвитку транспортної інфраструктури міста Києва на 2024- 2025 роки.
3. Вдовиченко, В. О., Іванов , І. Є., Підлубний , С. Ю., & Васильєв , М. К. (2023). Оцінка впливу пріоритетного руху міського громадського пасажирського транспорту на якість обслуговування пасажирів. *Автомобільний транспорт*, (52), 54–63. <https://doi.org/10.30977/AT.2219-8342.2023.52.0.06>.
4. Ю.Ю. Євчук Переваги впровадження пріоритету для громадського транспорту за координованого управління рухом // Транспортні технології та безпека дорожнього руху. Збірник тез доповідей Третьої всеукраїнської науково-практичної конференції 16–17 червня 2022 р., Запоріжжя [Електронний ресурс]: <https://sci.ldubgd.edu.ua/bitstream/123456789/10921/1/%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%84.pdf>.
5. Вплив транспорту на екологію міста. Аналіз та стратегії для України. Електронний ресурс: https://ucn.org.ua/wp-content/uploads/2017/02/transport-ukr4_small.pdf
6. Зубачик Р.М. Вдосконалення методів забезпечення пріоритетного руху для маршрутних автобусів на вулично-дорожній мережі міста: дис...канд. техн. наук: 05.22.01. НУ «Львівська політехніка», Львів. 2015.185 с.
7. Зубачик, Р. М., & Вікович, І. А. (2013). Розробка методу забезпечення пріоритету автобусам на регульованих перехрестях. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5(3(65)), 27–33. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2013.18491>

8. Ще майже на 30 вулицях Києва планують зробити смуги для громадського транспорту. Електронний ресурс: <https://www.village.com.ua/village/city/city-news/330305-u-kievi-mayut-zrobiti-smugi-dlya-gromadskogo-transportu-na-sche-mayzhe-30-vulitsyah>

9. Розробка проектів (схем) організації дорожнього руху. Електронний ресурс: <https://codr.kyivcity.gov.ua/rozrobka-proektiv-shem>

10. «Смуги для громадського транспорту – це швидкість і циклічність руху, це перевезення більшої кількості пасажирів, це турбота про екологію» Львівська міська рада. Електронний ресурс: <https://city-adm.lviv.ua/news/city/transport/279831-smuhy-dlia-hromadskoho-transportu-tse-shvydkist-i-tsyklichnist-rukhu-tse-perevezennia-bilshoi-kilkosti-pasazhyriv-tse-turbota-pro-ekolohiiu-iryna-maruniak>

11. Fornalchuk, Yevhen & Vikovych, Ihor & Royko, Yurii & Hrytsun, Oleh. (2021). Improvement of methods for assessing the effectiveness of dedicated lanes for public transport. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 1. 29-37. 10.15587/1729-4061.2021.225397.

12. ДБН В.2.3-5:2018 «Вулиці та дороги населених пунктів».

13. Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства розробляє сучасні норми проектування відокремлених смуг для громадського транспорту. Електронний ресурс: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/2643948-minregion-rozroblae-sucasni-normi-proektuvanna-smug-dla-gromadskogo-transportu.html>

14. Вільні смуги громадського транспорту: де і як це уже можливо? Електронний ресурс: <https://ecoaction.org.ua/vilni-smuhy.html>

15. Dubai's RTA to construct 37km of dedicated bus and taxi lanes <https://www.intelligenttransport.com/transport-news/135771/dubais-rta-bus-taxi-lanes/>

16. Toth, G., 2007. Reducing growth in vehicle miles traveled: Can we really pull it off? In: Driving Climate Change. Elsevier, pp. 129–142.

17. Diakaki, C., Papageorgiou, M., Dinopoulou, V., Papamichail, I., & Garyfalia, M. (2015). State-of-the-art and-practice review of public transport priority strategies. *IET Intelligent Transport Systems*, 9(4), 391-406.
18. Joy Dahlgren, High occupancy vehicle lanes: Not always more effective than general purpose lanes, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Volume 32, Issue 2, 1998, Pages 99-114.
19. Levinson, H. S., Zimmerman, S., Clinger, J., & Gast, J. (2003). Bus Rapid Transit: Synthesis of Case Studies. *Transportation Research Record*, 1841(1), 1-11. <https://doi.org/10.3141/1841-01>.
20. Abdelghany, K.F., Mahmassani, H.S., Abdelghany, A.F., 2007. A modeling framework for bus rapid transit operations evaluation and service planning. *Transport. Plann. Technol.* 30 (6), 571–591.
21. Konstantinos Ampountolas, Nan Zheng, Nikolas Geroliminis, Macroscopic modelling and robust control of bi-modal multi-region urban road networks, *Transportation Research Part B: Methodological*, Volume 104, 2017, Pages 616-637.
22. M. Bayrak and S. I. Guler, "Optimizing Bus Lane Placement on Networks while Accounting for Queue Spillbacks," *2018 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, Maui, HI, USA, 2018, pp. 920-925, doi: 10.1109/ITSC.2018.8569375.
23. Khoo, H.L., Teoh, L.E., Meng, Q., 2014. A bi-objective optimization approach for exclusive bus lane selection and scheduling design. *Eng. Optim.* 46 (7), 987–1007.
24. Farid, Y. Z., Christofa, E., & Collura, J. (2015). Dedicated Bus and Queue Jumper Lanes at Signalized Intersections with Nearside Bus Stops: Person-Based Evaluation. *Transportation Research Record*, 2484(1), 182-192. <https://doi.org/10.3141/2484-20>.

25. Basso, L.J., Guevara, C.A., Gschwender, A., Fuster, M., 2011. Congestion pricing, transit subsidies and dedicated bus lanes: Efficient and practical solutions to congestion. *Transp. Policy* 18 (5), 676–684.
26. Mesbah, M., Sarvi, M., Currie, G., 2011. Optimization of transit priority in the transportation network using a genetic algorithm. *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.* 12 (3), 908–919.
27. Stirzaker, C., Dia, H., 2007. Evaluation of transportation infrastructure management strategies using microscopic traffic simulation. *J. Infrastruct. Syst.* 13 (2), 168–174.
28. Yao, J., Shi, F., Zhou, Z., Qin, J., 2012. Combinatorial optimization of exclusive bus lanes and bus frequencies in multi-modal transportation network. *J. Transport. Eng.* 138 (12), 1422–1429.
29. Zhao, J., Yu, J., Xia, X., Ye, J., Yuan, Y., 2019. Exclusive bus lane network design: A perspective from intersection operational dynamics. *Networks Spatial Econ.* 19 (4), 1143–1171.
30. Highway capacity manual. 2016. Transportation Research Board, The National Academy of Sciences.
31. Gonzales, E.J., Geroliminis, N., Cassidy, M.J., Daganzo, C.F., 2010. On the allocation of city space to multiple transport modes. *Transport. Plann. Technol.* 33 (8), 643–656.
32. Geroliminis, N., Zheng, N., Ampountolas, K., 2014. A three-dimensional macroscopic fundamental diagram for mixed bi-modal urban networks. *Transport. Res. Part. Emerg. Technol.* 63, 51–70.
33. Zhang, F., Zheng, N., Yang, H., Geroliminis, N., 2018. A systematic analysis of multimodal transport systems with road space distribution and responsive bus service. *Transport. Res. Part C: Emerg. Technol.* 96, 208–230.

34. Anderson, P., Geroliminis, N., 2020. Dynamic lane restrictions on congested arterials. *Transport. Res. Part A: Policy Practice* 135, 224–243. Arasan, V.T., Vedagiri, P., 2010.

35. <https://www.ptvgroup.com/en/products/ptv-visum>

ДОДАТОК А. РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ

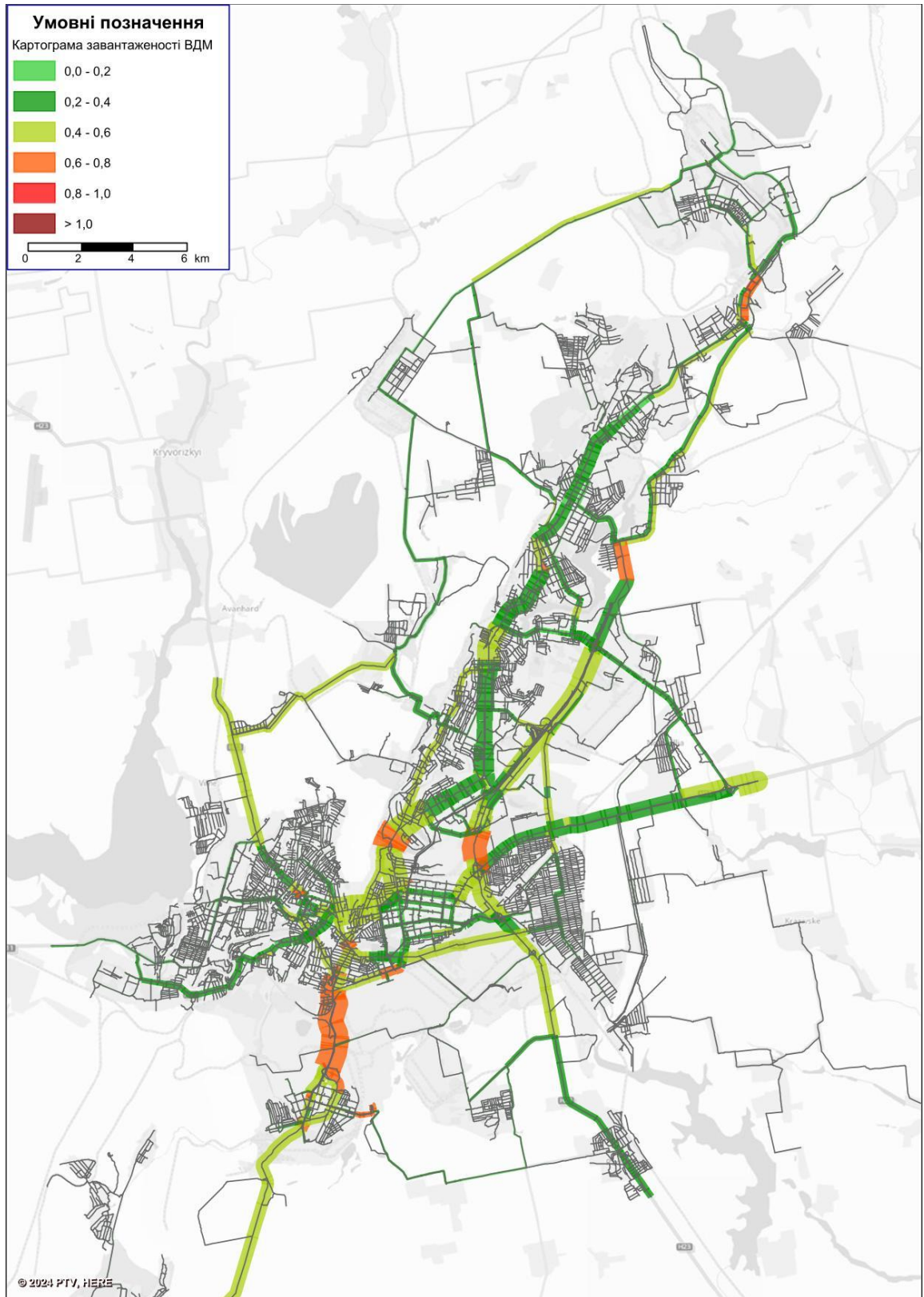


Рис. А.1. Картограма завантаженості мережі для існуючого положення.

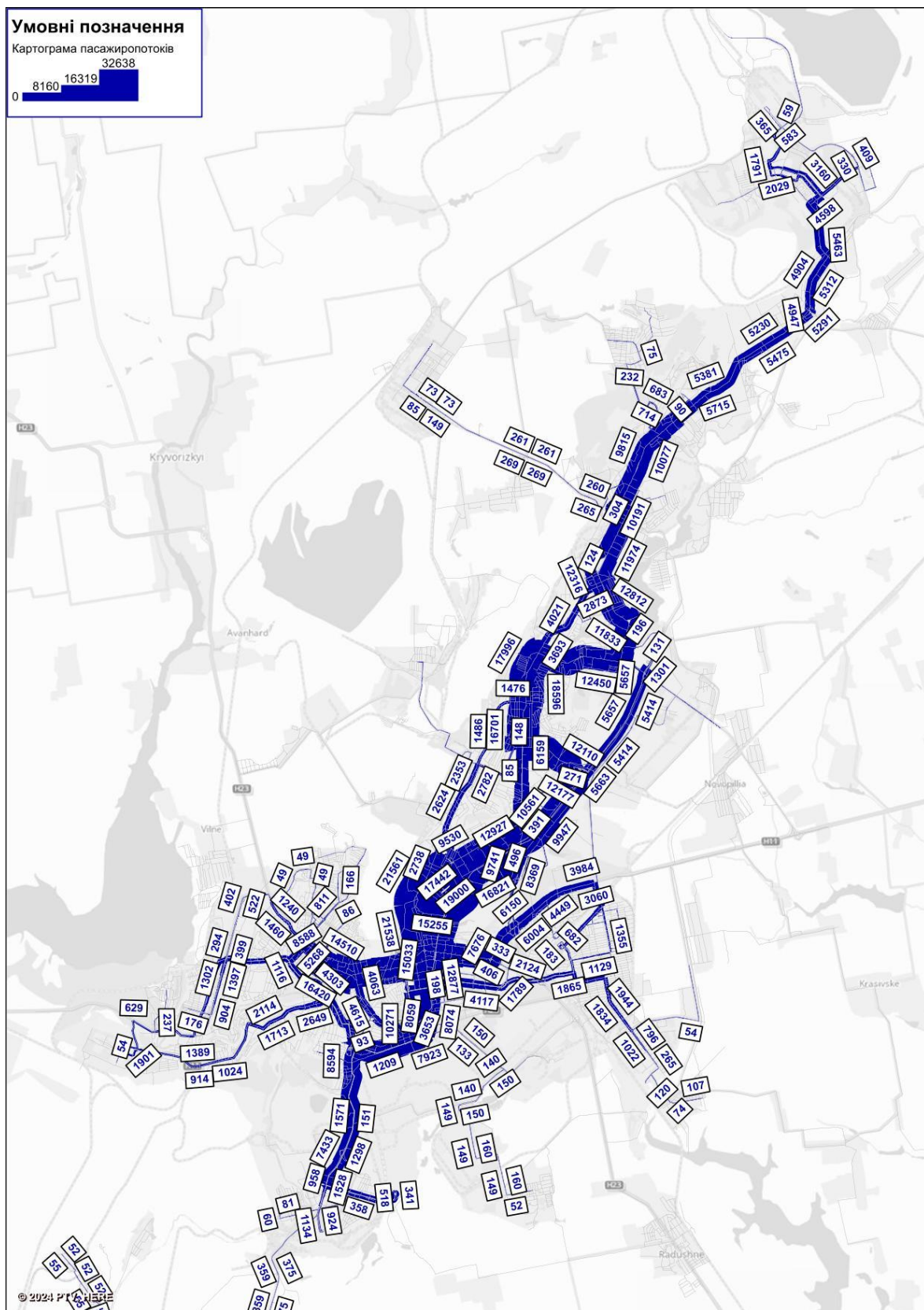


Рис.А.2. Картограма паспотоків на громадському транспорті в існуючому положенні.

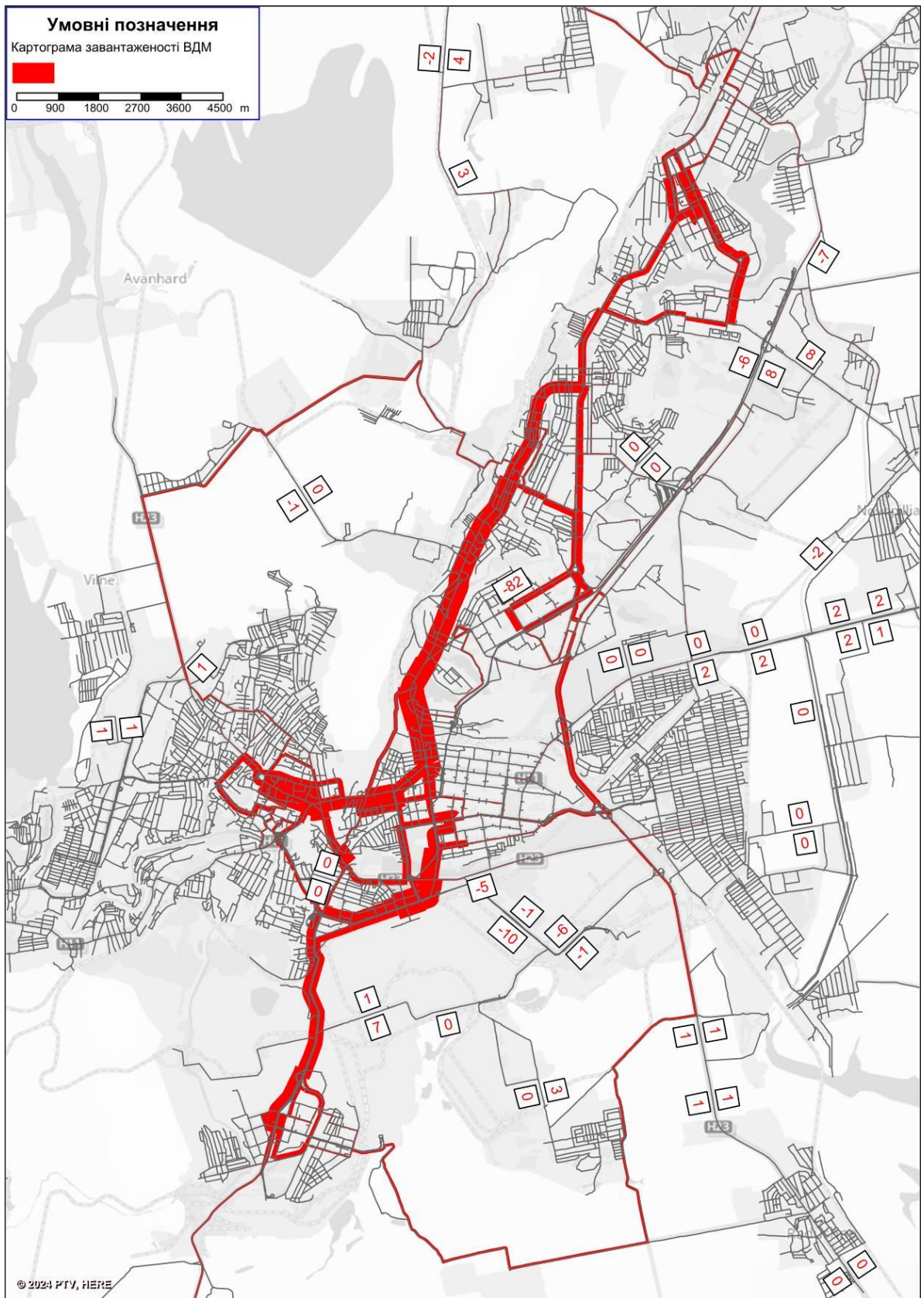


Рис. А.3. Диференційна картограма завантаженості мережі для сценарію 1.

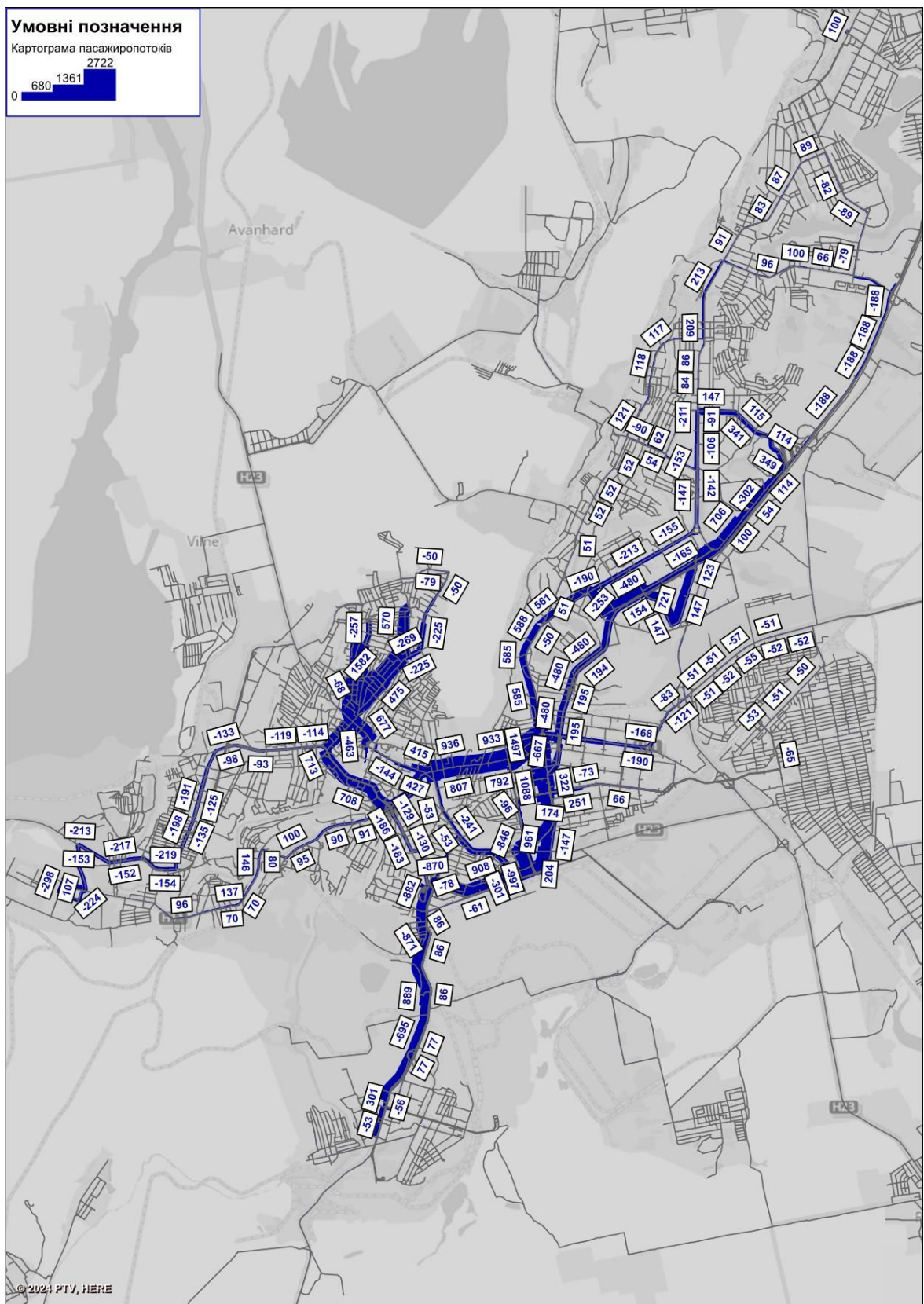


Рис.А.4. Диференційна картограма пасажирських потоків на громадському транспорті при застосуванні сценарію 1.

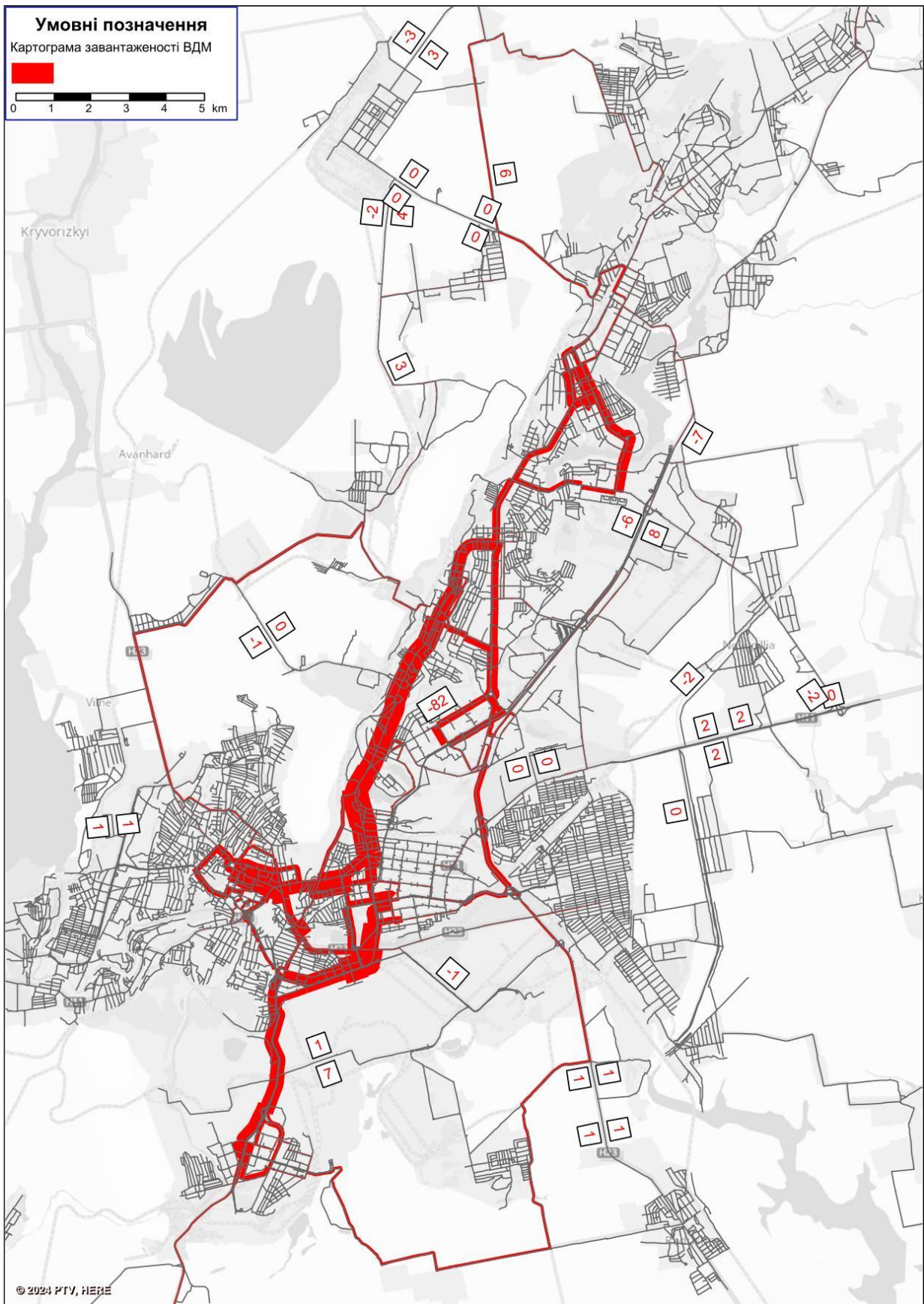


Рис. А.4. Диференційна картограма завантаженості мережі для сценарію 2.

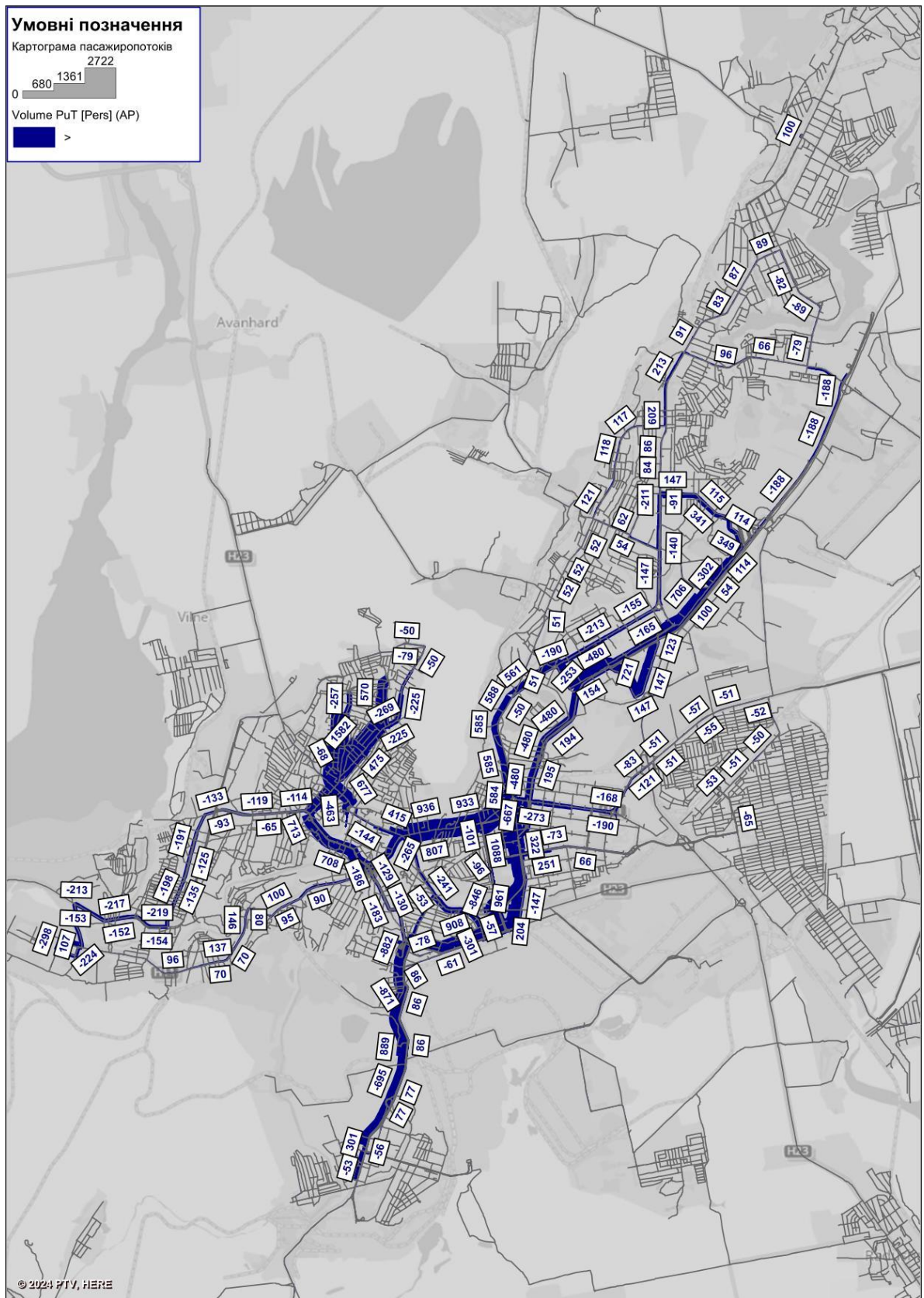


Рис.А.6. Диференційна картограма пасажирських потоків на громадському транспорті при застосуванні сценарію 2.