

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

## ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до випускної роботи бакалавра

на тему: *Моделювання попиту на перевезення різними режимами транспорту  
відповідно до актуального стану транспортної системи Кривого Рогу*

Виконав:

студент 4 курсу, групи ТТ-20 \_\_\_\_\_ М.Д. Бабенко

(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

*Бабенко Максима Денисовича*

1. Тема *Моделювання попиту на перевезення різними режимами транспорту відповідно до актуального стану транспортної системи Кривого Рогу*  
керівник проекту Сістук В.О., к.т.н., доцент  
затверджені 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. Аналіз літературних джерел 2. Розрахунково-дослідницька частина 3. Оцінка перерозподілу після введення у мережу автобусного маршруту 4. Безпека міської мобільності.
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	Аналіз літературних джерел	15.04-19.04	
2	Розрахунково-дослідницька частина	22.04 – 03.05.	
3	Оцінка перерозподілу після введення у мережу автобусного маршруту	06.05 – 10.05	
4	Безпека міської мобільності	12.05 – 14.05	
5	Оформлення пояснювальної записки і презентації	15.05 – 25.05	

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

М.Д. Бабенко

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

В.О. Сістук

## РЕФЕРАТ

У роботі виконано моделювання попиту на перевезення різними режимами (видами) транспорту у програмному забезпеченні PTV VISUM з урахуванням сучасного стану транспортної мережі міста Кривого Рогу.

Окреслені фактори, які впливають на вибір режиму транспорту, до яких відносяться особливості користувачів, характеристики поїздок та транспортної інфраструктури.

Описані різні типи математичних моделей вибору видів транспорту: моделі кінцевого пункту поїздки, евристичні моделі режимно-розділених пересадок, моделі розподілу та модально-розділені моделі.

У транспортній моделі міста Кривий Ріг вибір режиму транспорту обчислюється на основі функції корисності (Кіркгофа) як лінійної комбінації параметрів опору.

У серпні 2023 року в місті Кривий Ріг введено у мережу пасажирського транспорту новий комунальний автобус 8.

За результатами транспортного моделювання у програмному забезпеченні PTV VISUM встановлено, що кількість пасажирів, що користуються швидкісним трамваем на ділянці від станції Вечірній бульвар до станції Будинок Рад, збільшилась до 1700 пасажирів на добу, тоді як на маршрутах автобусів 201, 210 та 223 кількість перевезених пасажирів скоротилась. Потоки на тролейбусі №24 майже не змінилися. Кількість пасажирів, що користуються автобусом №8 по вулиці Водоп'янова, становила на 200 пас./доба, при цьому пасажиропотік з північних районів міста досяг 1100 пас./ доба.

Середньодобовий потік на даному маршруті автобуса 8, за результатами моделювання, становить 12700 пас./доба.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	8
1.1. Світовий досвід вивчення перерозподілу режимів міського та позаміського транспорту .....	8
1.2. Ретроспективний аналіз моделей вибору режиму транспорту .....	13
РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА. ....	21
2.1. Структура моделювання транспортного попиту у програмі PTV VISUM. ...	21
2.2. Процедура вибору виду транспорту .....	24
2.3. Результати розрахунків розподілу за видами транспорту у моделі існуючого стану .....	27
2.4. Дослідження вибору режиму при зміні транспортної пропозиції.....	30
РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА ПЕРЕРОЗПОДІЛУ ПІСЛЯ ВВЕДЕННЯ У МЕРЕЖУ АВТОБУСНОГО МАРШРУТУ .....	33
РОЗДІЛ 4. БЕЗПЕКА МІСЬКОЇ МОБІЛЬНОСТІ.....	36
ВИСНОВКИ.....	41
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	43
ДОДАТОК А. РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ ДО ЗМІНИ ТРАНСПОРТНОЇ ПРОПОЗИЦІЇ НА ГРОМАДСЬКОМУ ТРАНСПОРТІ .....	46
ДОДАТОК Б. РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ ПІСЛЯ ЗМІНИ ТРАНСПОРТНОЇ ПРОПОЗИЦІЇ НА ГРОМАДСЬКОМУ ТРАНСПОРТІ .....	56

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Питання вибору виду транспорту є найважливішим елементом транспортного планування та формуванні транспортної політики, впливаючи на загальну ефективність, з якою ми можемо пересуватися містом, кількість міського простору, відведеного для транспортних потреб, а також на те, чи є у учасників руху широкий вибір. Це питання не менш важливе для міжміських перевезень.

Для мешканців міста Кривий Ріг вплив на вибір режиму транспорту мають не тільки загальновідомі фактори, пов'язані із особливостями користувачів мережі, транспортною інфраструктурою і т.д., а й специфічні міські умови.

Кривий Ріг відзначається мережею поліцентричної забудови, що охоплює наявність головних вуличних магістралей, які сприяють зручному переміщенню пасажирів на великі відстані громадським транспортом. Цілі поїздки мають чи не вирішальний вплив на вибір режиму транспорту. Так, для робочих поїздок типу «дім - робота- дім» велика перевага надається швидкісному трамваю. Віддалені райони міста, які не прилягають до основних магістралей характеризуються низькою транспортною доступністю, що також значно впливає на спосіб пересування мешканців міста. У вечірній час доби доступність громадського транспорту обмежена.

Під час пандемії COVID-19 та війни, починаючи з 2021 року, відбулись певні зміни у транспортній пропозиції маршрутної мережі пасажирського транспорту міста Кривий Ріг: було скорочено маршрути автобусів приватних перевізників, внесені зміни у розклад практично на всіх маршрутах громадського транспорту, введені в експлуатацію новий автобусний маршрут, розроблено мобільний додаток для користування громадським транспортом для покращення його привабливості та зручності. Дані зміни не могли не відобразитись на виборі режимі транспорту, поновому перерозподіливши транспортний попит.

Враховуючи вищесказане, для визначення актуальної транспортної поведінки мешканців Кривого Рогу доцільно провести моделювання попиту на перевезення

різними режимами транспорту відповідно до сучасного стану транспортної системи Кривого Рогу.

**Мета і задачі дослідження.** Моделювання попиту на перевезення різними режимами транспорту відповідно до актуального стану транспортної системи Кривого Рогу.

Для досягнення даної мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Вивчити світовий досвід з питань досліджень різних режимів транспорту міст, у тому числі, з використанням транспортного моделювання.
2. Виконати транспортне моделювання міської мережі Кривого Рогу у програмному забезпеченні PTV VISUM.
3. Дослідити попит на перевезення різними режимами транспорту у Кривому Рогу, якому відповідає актуальному стану транспортної мережі міста.

**Об'єкт дослідження** – транспортна система міста Кривий Ріг.

**Предмет дослідження** – матриці витрат та матриці попиту для різних режимів транспорту у місті Кривий Ріг.

**Методи дослідження.** Аналіз, огляд джерел, транспортне моделювання, перерозподіл попиту на різних режимах транспорту.

**Практичне значення одержаних результатів.** Отримані результати дозволяють врахувати новий перерозподіл транспортного попиту у мережі Кривого Рогу та врахувати його при впровадженні відповідних політик та рішень на міському транспорті.

**Структура і обсяг роботи.** Бакалаврська робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 26 найменувань. Загальний обсяг роботи – 45 с, у тому числі 10 рисунків та двох додатків.

## РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

### 1.1. Світовий досвід вивчення перерозподілу режимів міського та позаміського транспорту

У великих містах Західної Європи та Японії добре розвинена багаторівнева мережа міського громадського транспорту стала одним з основних способів щоденного пересування мешканців міст. На противагу цьому, в країнах, що розвиваються, швидке та інтенсивне будівництво транспортних мереж все ще триває. Вивчення закордонного досвіду перерозподілу видів транспорту у транспортній мережі є важливою задачею.

Вибір виду транспорту (режиму) є важливим не тільки у контексті переміщень у центральних районах міста, а й переміщень до передмістя. Поїздки між містом і передмістям – це переміщення між основними частинами міста (міським районом/головним районом) і передмістям міста (новим містом). Поїздки між містом і передмістям зазвичай охоплюють більшу відстань і час, і, можливо, мають більше пересадок, ніж ті, що починаються і закінчуються в центральних або приміських районах. Диференціація між міськими та приміськими районами в комплексній транспортній структурі також ускладнює процес вибору способу пересування. Учасники руху повинні приймати рішення на основі різноманітних факторів.

Наразі існує небагато досліджень щодо вибору міжміських та приміських поїздок, особливо з огляду на доступність послуг громадського транспорту та вплив нових приміських залізниць на вибір способу пересування.

Еспіно та ін. [1] використовували метод RP/SP (виявлена перевага/заявлена перевага) для дослідження пасажирів приміських залізничних сполучень і проаналізували вплив декількох політик на частку режимів громадського транспорту. Монсон і Гонсалес [2] спрогнозували пасажиропотік першого року



роботи пасажирського коридору N-III в Мадриді і виявили, що частка різних видів транспорту в коридорі значно зміниться.

Тянь і Яодун [3] дослідили зручність громадського транспорту для приміських переміщень у Пекіні в 2021 р. Використовуючи модель структурного рівняння, вони виявила різне сприйняття зручності для пасажирів з різними характеристиками та висунули пропозиції щодо просування приміського громадського транспорту.

У деяких країнах, що розвиваються, або регіонах, де склад систем громадського транспорту відрізняється від розвинених країн, вибір виду транспорту для міських та приміських поїздок також може відрізнятися. Наразі в регіонах, що розвиваються, проводиться лише кілька досліджень щодо поведінки пасажирів у приміському транспорті. Данапур та ін. [4] вивчали вплив високошвидкісної залізниці на попит на маршрути Тегеран-Ісфахан і використовували метод опитування SP для з'ясування ставлення пасажирів до переходу на високошвидкісну залізницю. Дахлан і Фращик [5] провели дослідження перед запуском системи швидкісного громадського транспорту (ШГТ) в Джакарті шляхом опитування в Джакарті, Індонезія, і трьох прилеглих районах, і виявили, що більшість респондентів висловили готовність перейти на ШГТ. Автори дослідження [6] вивчали готовність людей пересісти на метро за допомогою опитування групи потенційних користувачів метро, розташованих поблизу запланованої лінії метро в Салаї, за 20 км від центру Бангкока, Таїланд.

Хоча потенційні переваги громадського та активного транспорту добре задокументовані, успіх політики сталого розвитку міського транспорту значною мірою залежить від розуміння загальних мотивів вибору людей [7]. Наприклад, зростання кількості власників автомобілів було визначено як ключовий фактор, що пояснює тенденції до зниження рівня користування громадським транспортом [8]. Очікується, що зростання доходів збільшує кількість поїздок та їхню середню тривалість. Але воно також збільшує кількість власників автомобілів, а отже,

матиме вторинний і негативний вплив на попит на громадський транспорт через володіння автомобілями [9]. У населених пунктах з великою кількістю автомобілів навіть рішучі заходи з покращення громадського транспорту самі по собі можуть бути недостатніми для підвищення рівня користування ним.

На вибір виду транспорту також впливають такі фактори, як індивідуальні особливості, спосіб життя і, перш за все, сприйняття якості послуг [10]. У цьому сенсі громадський транспорт може привабити користувачів приватних автомобілів, покращивши якість своїх послуг, хоча ці покращення також залежатимуть, головним чином, від мотивації використання приватних автомобілів [11]. Приватні автомобілі, як правило, сприймаються як більш комфортні, гнучкі, швидкі, що відповідають сучасному стилю життя, а також генерують афективні та символічні відчуття статусу, автономії та безпеки [12]. Насправді, суб'єктивне відчуття безпеки виявилось важливим фактором, що впливає на вибір користувачами виду транспорту і спонукає їх пересісти на громадський транспорт [13].

Іншим важливим мотивом, що впливає на вибір громадського транспорту, є час, витрачений на оцінку автобусного сполучення та досягнення кінцевого пункту призначення (час пішки), час очікування на зупинці (час очікування), вартість проїзду, час, проведений у транспортному засобі або на пересадці (час перебування в транспортному засобі), а також доступність для якомога більшої кількості людей [14]. Час у дорозі, який включає час пішки, час очікування та час у транспортному засобі, значною мірою залежать від просторового розподілу автобусних зупинок, частоти руху автобусів та надання точної інформації про розклад руху автобусів. Збільшення відстані автобусних зупинок від дому або місця призначення, що визначає доступність громадського транспорту, має тенденцію до зменшення використання громадського транспорту [15]. У свою чергу, надання інформації може потенційно зменшити невизначеність, пов'язану з поїздками громадським транспортом, і покращити загальний рівень обслуговування [16].

Дослідження, проведені в розвинених країнах, показують, що ходьба та їзда на велосипеді є альтернативними видами транспорту для тих, хто подорожує на короткі відстані, особливо для молодих та освічених людей, але їхнє поширення значною мірою залежить від створення належної інфраструктури, наприклад, забудованого середовища, відокремлених велосипедних доріжок або системи прокату [17]. Погодні умови, такі як велика кількість опадів і екстремальні температури, також мають тенденцію зменшувати використання активного транспорту [18]. Фізичний стан і ставлення до здоров'я та навколишнього середовища також мають важливе значення, як і сприйняття безпеки [19]. Більшість користувачів також можуть вирішити не обирати активний вид транспорту, якщо рівень злочинності в їхньому районі високий, навіть якщо забудова є сприятливою для пішоходів [20]. Покращення сприйняття мешканцями велосипедного середовища також може допомогти, наприклад, завдяки кращому інформуванню про велосипедні маршрути та регулярним громадським велосипедним заходам для ознайомлення мешканців з велосипедною інфраструктурою у їхньому районі [21].

Резюмуючи, фактори, що впливають на вибір режиму, можна поділити на три групи.

1. Особливості пасажера. Вважається, що важливими є такі характеристики:

- наявність та/або володіння автомобілем;
- наявність водійських прав; структура домогосподарства (молода пара, пара з дітьми, пенсіонери, самотні тощо);
- дохід;
- рішення, що приймаються в інших сферах, наприклад, необхідність користуватися автомобілем на роботі, відвозити дітей до школи тощо;
- щільність забудови.

2. Характеристики подорожі. На вибір виду транспорту сильно впливають:

- мета поїздки; наприклад, поїздки на роботу зазвичай легше здійснити громадським транспортом ніж інші поїздки через його регулярність та можливість коригування в довгостроковій перспективі;

- час доби, коли здійснюється поїздка; пізні поїздки важче здійснити громадським транспортом;

- чи здійснюється поїздка наодинці або з іншими особами.

3. Характеристики транспортної інфраструктури. Їх можна розділити на дві категорії. По-перше, кількісні фактори, такі як

- складові часу подорожі: час у транспортному засобі, час очікування та час пішого пересування для кожного виду транспорту;

- складові грошових витрат (вартість проїзду, плата за проїзд, паливо та інші операційні витрати)

- наявність та вартість паркування;

- надійність часу в дорозі та регулярність руху.

По-друге, якісні фактори, які важче (або неможливо) виміряти на практиці, такі як

- комфорт і зручність;

- безпека, захист, захищеність;

- можливість займатися іншими видами діяльності під час подорожі (користуватися телефоном, читати тощо).

Багатшою концепцією є концепція турів з поїздками як їхніми складовими. Зрозуміло, що вибір способу пересування здійснюється більше на основі туру (тобто враховуючи вимоги всіх поїздок), ніж на основі окремої подорожі. Якщо хтось обирає автомобіль для першого етапу туру, він, швидше за все, залишиться таким і для інших етапів. Ефективна модель вибору виду транспорту може базуватися принаймні на простих турах (з дому і назад) і повинна включати найважливіші з цих факторів.

## 1.2. Ретроспективний аналіз моделей вибору режиму транспорту

Вибір виду транспорту є, мабуть, одним з найважливіших етапів класичної моделі транспортного планування. Це пов'язано з ключовою роллю, яку відіграє громадський транспорт у формуванні транспортної політики. Поїздки громадським транспортом більш ефективно використовують дорожній простір і спричиняють менше аварій та викидів шкідливих речовин, ніж користування приватним автомобілем. Крім того, метро та інші види рейкового транспорту не потребують додаткового дорожнього простору (хоча можуть потребувати певного резерву), а отже не сприяють виникненню заторів на дорогах. Більше того, якщо деяких водіїв вдасться переконати користуватися громадським транспортом замість автомобілів, решта користувачів автомобілів виграють від покращення рівня обслуговування.

### *Моделі кінцевого пункту поїздки.*

У минулому, зокрема в США, вважалося, що особистісні характеристики є найбільш важливими визначальними факторами вибору способу пересування, і тому були спроби застосувати режимно-розділені моделі одразу ж після генерації поїздок. Таким чином, можна було зберегти різні характеристики індивідів і використати їх для оцінки розподілу за видами транспорту: наприклад, різні групи після застосування моделі категорійного аналізу. Оскільки на цьому рівні не було жодних вказівок на те, куди ці поїздки можуть бути спрямовані, характеристики подорожі та способи пересування були пропущені.

Такий підхід відповідав загальній концепції планування, згідно з якою зі зростанням доходів більшість людей придбають автомобілі і захочуть ними користуватися. Метою транспортного планування було спрогнозувати таке зростання попиту на автомобільні поїздки, щоб можна було спланувати інвестиції для його задоволення. Це було охарактеризовано як підхід до транспортного планування за принципом «передбачити і забезпечити», який сьогодні вважається небезпечним шляхом. Тогочасні моделі розділення видів транспорту пов'язували

вибір виду транспорту лише з такими характеристиками, як дохід, щільність населення та наявність автомобіля. У деяких випадках наявність прийняттого громадського транспорту враховувалася у вигляді індексу доступності.

У короткостроковій перспективі ці моделі можуть бути дуже точними, зокрема, якщо громадський транспорт є однаково доступним на всій досліджуваній території і затори є незначними. Однак цей тип моделей є значною мірою є програвшим в тому сенсі, що вони не чутливі до політичних рішень; здається, що особа, яка приймає рішення, не може вплинути на вибір способу пересування. Покращення громадського транспорту, обмеження паркування, стягнення плати за користування дорогами – жодне з цих заходів не вплине на розподіл видів транспорту згідно з моделлю кінцевого пункту поїздки. Бракувало лише способу врахувати сукупні характеристики альтернативних видів транспорту, щоб зробити вибір більш чутливим до політики.

*Евристичні моделі режимно-розділених пересадок.*

Майже з самого початку в Європі в режимно-розділеному моделюванні домінували пост-розподільчі моделі; тобто моделі, що застосовуються після гравітаційної або іншої моделі розподілу. Це має перевагу в тому, що полегшує врахування характеристик подорожі та альтернативних видів транспорту, доступних для її здійснення. Однак, вони ускладнюють включення характеристик особи, яка здійснює поїздки, оскільки вони можуть бути вже агреговані в матриці (або матрицях) поїздок.

Перші моделі включали лише одну або дві характеристики поїздки, як правило, час у дорозі (у транспортному засобі). Було помічено, що S-подібна крива краще відображає таку поведінку, як на рисунку 1.1, де показано співвідношення поїздок видом транспорту 1 ( $T_{ij}^1 / T_{ij}$ ) по відношенню до різниці у вартості або часі.

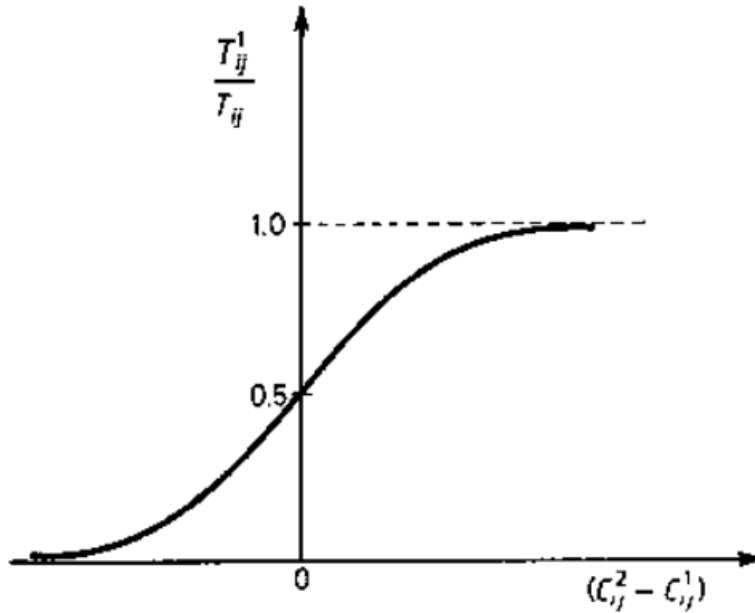


Рис.1.1. Емпірична крива розподілу режиму

Дані емпіричні криві побудовані за аналогічним підходом до кривих, що використовуються для оцінки того, яка частка подорожуючих буде перерозподілена на використання (довшого, але швидшого) об'їзного маршруту, звідси їх назва - криві перерозподілу. Наприклад, у роботі [22] використані криві перерозподілу для поїздок до центральної частини міста і нецентральної поїздок (перші, швидше за все, здійснюються громадським транспортом), а також для різних цілей поїздок.

Інший підхід полягає у використанні, за аналогією, версії формули Кірхгофа в електроенергетиці. У цьому випадку частка осіб, які здійснюють поїздки між пунктом відправлення і та пунктом призначення  $j$ , що обирають модель  $k$ , розглядається як функція від відповідних узагальнених витрат за моделлю  $k$ ,  $C_{ij}^k$  задається формулою:

$$P_{ij}^k = \frac{(C_{ij}^k)^{-n}}{\sum_1^k (C_{ij}^k)^{-n}} \quad (1.1)$$

де  $n$  – параметр, який потрібно відкалібрувати або перенести з іншого місця або часу (значення для  $n$  між 4 до 9 були запропоновані як для моделей вибору виду транспорту, так і для моделей вибору маршруту). Модель Кірхгофа можна вивести з принципів максимізації ентропії, припускаючи, що узагальнені витрати описуються логарифмом.

Модель (1.1) іноді вважається підходящою, оскільки вибір виду транспорту (або маршруту) залежить від відношення витрат (до потужності), а не від їх різниці.

Звичайним обмеженням даних моделей є те, що вони можуть бути використані лише для матриць поїздок учасників руху, які мають можливість вибору. Це часто означає матрицю розподілу на індивідуальному транспорті, хоча перерозподіл режиму також може бути застосований до вибору між різними видами громадського транспорту.

Наведені вище моделі мають обмежену теоретичну базу, а тому їхня інтерпретація та прогнозна здатність до інтерпретації та прогнозування мають бути під сумнівом. Крім того, оскільки ці моделі є агрегованими, вони навряд чи повністю моделюють обмеження та характеристики режимів, доступних для окремих домогосподарств.

*Моделі розподілу та модально-розділені моделі.*

Підхід, що максимізує ентропію, може бути використаний для генерації моделей розподілу та вибору режиму для одночасної генерації моделей розподілу та вибору режиму. Для цього потрібно сформулювати задачу максимізації ентропії в термінах, наприклад, двох режимів наступним чином:

$$\text{Maximise } \log W\{T_{ij}^k\} = - \sum_{ijk} (T_{ij}^k \log T_{ij}^k - T_{ij}^k) \quad (1.2)$$

$$\sum_{jk} T_{ij}^k - O_i = 0 \quad (1.3)$$



$$\sum_{ik} T_{ij}^k - D_j = 0 \quad (1.4)$$

$$\sum_{ijk} T_{ij}^k C_{ij}^k - C = 0 \quad (1.5)$$

Неважко помітити, що ця проблема веде до її вирішення:

$$T_{ij}^k = A_i O_i B_j D_j \exp(-\beta C_{ij}^k) \quad (1.6)$$

$$P_{ij}^1 = \frac{T_{ij}^1}{T_{ij}} = \frac{\exp(-\beta C_{ij}^1)}{\exp(-\beta C_{ij}^1) + \exp(-\beta C_{ij}^2)} \quad (1.7)$$

де  $P_{ij}^1$  – частка поїздок, що здійснюються з району  $i$  до  $j$  за допомогою способу 1. Функціональна форма (1.7) відома як Логіт-модель, яка має такі властивості:

- генерує S-подібну криву, подібну до деяких емпіричних кривих перерозподілу, показаних на Рис.1.1;
- якщо  $C_1 = C_2$ , то  $P_1 = P_2 = 0,5$ ; якщо  $C_2$  набагато більший за  $C_1$ , то  $P_1$  прагне до 1,0;
- модель можна легко розширити до кількох режимів транспорту.

$$P_{ij}^1 = \frac{\exp(-\beta C_{ij}^1)}{\sum_k \exp(-\beta C_{ij}^k)} \quad (1.8)$$

Очевидно, що в цьому формулюванні  $\beta$  відіграє подвійну роль: це параметр, що контролює дисперсію при виборі режиму, а також при виборі між пунктами призначення на різних відстанях від початку.

В багатьох дослідженнях використовується більш практична модель спільного розподілу/розділення видів транспорту. Вона має такий вигляд (Уілсон, 1974):

$$T_{ij}^{kn} = A_i^n O_i^n B_j D_j \exp(-\beta_n K_{ij}^n) \frac{\exp(-\lambda_n C_{ij}^k)}{\sum_k \exp(-\lambda_n C_{ij}^{k'})} \quad (1.9)$$

де  $K_{ij}^n$  – комбінована вартість подорожі між  $i$  та  $j$ , як вона сприймається особою типу  $n$ . Дана комбінована вартість може бути визначена різними способами, наприклад, як мінімальна з двох витрат або як середньозважене значення цих витрат:

$$K = \sum_k P^k C^k \quad (1.10)$$

Однак цікаво відзначити, що деякі з формулювань, які використовуються в багатьох ранніх дослідженнях, насправді є недоречними. Компонент вибору режиму або розщеплення режимів є бінарною моделлю вибору, що має вигляд

$$P_{ij}^1 = \frac{\exp(-\lambda C_{ij}^1)}{\exp(-\lambda C_{ij}^1) + \exp(-\lambda C_{ij}^2)} = \frac{1}{1 + \exp(-\lambda(C_{ij}^2 - C_{ij}^1))} \quad (1.11)$$

З правої частини рівняння чітко видно, що частка обраного виду транспорту залежить лише від різниці в узагальнених витратах.

*Розподіл та режимно-розділені структури.*

Вільямс показав, що єдиною характеристикою поведінки, яка узгоджується з панівною теорією раціонального вибору, є така:

$$K_{ij}^n = \frac{-1}{\lambda_n} \log \sum_k \exp(-\lambda_n C_{ij}^k) \quad (1.12)$$

де має бути виконано наступне обмеження:

$$\beta_n \leq \lambda_n$$

Важливість витрат є більш критичною при виборі виду транспорту, ніж при виборі місця призначення. Якщо це не так, то модель (1.9), одночасна чи послідовна, буде недоречною. Комбінована міра витрат (1.10) має наступні властивості:

$$K \leq \text{Min}_k \{C^k\}$$

$$\lim_{\lambda \rightarrow \infty} K = \text{Min}_k \{C_k\}$$

$$\frac{dK}{dC^k} = P^k$$

Перша з цих властивостей означає, що коли додається нова альтернатива, навіть якщо вона дуже неприваблива в принципі, сукупні витрати або мають зменшатися (комусь це має подобатися), або, щонайбільше, залишаться незмінними.

Друга властивість підкреслює важливість  $\lambda_n$  як ваги, що надається при виборі узагальнених витрат. Для дуже великих  $\lambda_n$  модель прогнозуватиме вибір за принципом «все або нічого» з найменшими узагальненими витратами.

Модель 1.12 часто зустрічається на практиці в агрегованих додатках, зокрема в міських територіях. Однією з проблем на практиці, однак, є те, що розробники моделей іноді не перевіряють, чи виконується наведені обмеження. Оскільки моделі вибору пункту призначення та виду транспорту могли бути відкалібровані незалежно один від одного, цілком можливо, що обмеження не виконується. Якщо це так, то комбіновані моделі (гравітація і вибір режиму) дадуть невірні результати.

Вище приведена структура, яку часто позначають як G/D/MS/A (генерація, розподіл, розподіл режимів і призначення), була б неправильною, якби  $\beta > \lambda$ ; у цьому випадку структура G/MS/D/A, ймовірно, була б правильною.

На практиці було виявлено, що сама структура може бути різною для різних цілей поїздки. Як правило, правильною структурою буде G/D/MS/A для поїздки на роботу і G/MS/D/A для інших цілей. Це відображає ситуацію, коли легше змінити пункт призначення, скажімо, на шопінг, ніж змінити режим.

У випадку структури G/MS/D/A починають з розрахунку комбінованих витрат за видами транспорту  $n$  досягнення всіх пунктів призначення з кожного пункту відправлення  $i$ :

$$K_i^n = \frac{-1}{\beta} \log \left( \sum_j \exp(-\beta C_{ij}^n) \right) \quad (1.13)$$

Потім ці складні витрати використовуються для отримання розподілів за видами транспорту  $i$ .

$$P_i^1 = \frac{1}{1 + \exp(-\lambda(K_i^2 - K_i^1))}$$

Окремі гравітаційні моделі розробляються з генеруванням поїздки для конкретного виду транспорту, але закінчується розщеплення на поїздки призначення. Дана модель вибору виду транспорту на основі генерації поїздки враховує витрати на досягнення кожного пункту призначення кожним видом транспорту.

## РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА.

### 2.1. Структура моделювання транспортного попиту у програмі PTV VISUM.

Програмне забезпечення PTV VISUM є світовим професійним стандартом з транспортного макромоделювання [23].

Попит на транспорт виникає, коли послідовні дії (від дому до роботи, потім до магазину та назад додому) неможливо виконати в одній локації, що вимагає переміщення з одного місця до іншого. Попит на транспорт у PTV VISUM зберігається у матриці, де кожен стовпчик та рядок представляють всі транспортні райони, що охоплюються моделлю транспортного руху.

Елемент матриці попиту індивідуального транспорту (PrT) відображає кількість автомобільних подорожей, а елемент громадський транспорт (PuT) відображає кількість пасажирських поїздок. Вони показують кількість запитів на поїздки з одного району руху в іншій.

Матриця попиту на перевезення розподіляється за часовими інтервалами, тобто містить лише поїздки, які відбуваються протягом певного періоду.

Поїздки в матриці попиту можуть відноситися до різних видів транспорту (пішохідний, велосипедний, громадський, автомобільний), до різних груп осіб (працівники, студенти, пенсіонери) або до різних цілей (робота, покупки, відпочинок).

Кожному сегменту попиту в матриці присвоюється лише один ідентифікатор. Сегмент попиту описує групу учасників дорожнього руху з однаковою поведінкою на дорозі.

Попит на транспортні послуги можна розділити на досліджуваний і розрахунковий попит, а також на сьогоднішній і майбутній попит.

Вивчений попит на транспортні послуги описує кількість поїздок і розподіл поїздок протягом фіксованого часового інтервалу для існуючої системи

транспортного забезпечення, є моментальним знімком поточної транспортної ситуації і практично не може бути відтворений знову. Точне дослідження поточного попиту на транспортні послуги в районі, що нас цікавить, на практиці неможливе, оскільки потрібно було б опитати всіх пасажирів одночасно. З цієї причини для визначення попиту на перевезення з метою планування перевезень опитується лише репрезентативна, випадкова вибірка подорожуючих. З цього опитування потім вираховується матриця сьогоденного попиту на перевезення, що представляє попит на перевезення для існуючої системи пропозиції.

Розрахований попит на перевезення містить припущення щодо кількості поїздок та розподілу поїздок. Для розрахунку попиту на перевезення використовуються моделі попиту, які, наприклад, розрізняють три етапи: генерування поїздок, розподіл поїздок і вибір виду транспорту. Розрахований попит на перевезення може називатися по-різному в залежності від використаних вхідних даних.

Розрахований попит на перевезення називається сьогоденним попитом на перевезення, якщо вхідними даними для розрахунку попиту є сьогодення структура землекористування, сьогодення структура населення та економіки, а також сьогодення система транспортного забезпечення.

У PTV VISUM можна розрахувати всі 4 етапи класичної транспортної моделі (4-етапна модель), окрім розподілу транспортних потоків (вибір та обсяг маршруту для переміщення із зони відправлення до зони призначення), а також інші три етапи: генерація поїздок, розподіл поїздок та вибір способу пересування (вибір виду (режиму) транспорту).

На першому кроці класичної моделі, генерації поїздок, виробництво і привабливість (транспортний потік із зони відправлення і призначення) кожної зони визначається на основі соціально-демографічних даних (наприклад, кількість жителів і робочих місць). Ці показники виробництва та залучення визначають підсумки матриці загального попиту, яка визначається за допомогою відповідних

вихідних даних (наприклад, час у дорозі, вартість проїзду тощо) на другому кроці – розподіл поїздок. На третьому кроці матриця загального попиту розподіляється на різні види транспорту (наприклад, громадський транспорт, електричка) на основі зрізів для конкретних видів транспорту. На четвертому кроці отримані матриці попиту, що залежать від виду транспорту, можуть бути призначені пропозиції (мережі PTV VISUM) за допомогою процедур призначення PrT і PuT, щоб отримати обсяги на відрізках мережі і нові матриці витрат. Ці дані можуть бути знову використані як вхідні дані для розподілу поїздок або вибору режиму для нового розрахунку попиту. Функція «Перейти до процедури» дозволяє виконувати розрахунки до тих пір, поки не буде виконано критерій збіжності щодо обсягів на відрізках мережі або значень матриці.

PTV VISUM містить три альтернативні розрахункові моделі для моделювання попиту.

- Стандартна 4-крокова модель базується на північноамериканській практиці моделювання агрегованого попиту.
- Модель EVA відрізняється від стандартної 4-крокової моделі одночасним розподілом поїздок і вибором виду транспорту, а також особливим методом збалансування різниці між пасажиропотоком з пункту відправлення до пункту призначення.
- При розрахунку матриць попиту модель на основі турів (модель генерації руху в містах) враховує ланцюжки активності, які однорідні за поведінкою групи користувачів (наприклад, працівники з автомобілем або без нього, учні, студенти) здійснюють протягом дня.

Редактор матриць, інтегрований у PTV VISUM, підтримує обробку матриць і надає гравітаційну модель.

## 2.2. Процедура вибору виду транспорту

Вибір виду транспорту розподіляє поїздки з пункту відправлення до пункту призначення, отримані в результаті розподілу поїздки за доступними видами транспорту (рис.2.1). На цьому кроці оцінюється вибір між видами транспорту на основі характеристик особи, яка здійснює поїздки (дохід, наявність автомобіля, вік), самої поїздки (мета поїздки, пункт відправлення та пункт призначення) та характеристик способу пересування (вартість проїзду, витрати на експлуатацію транспортного засобу, час у дорозі, наявність та вартість паркування, надійність). Результатом цього етапу є оцінка поїздки усіма доступними видами транспорту між усіма транспортними районами, за окремими цілями поїздки.

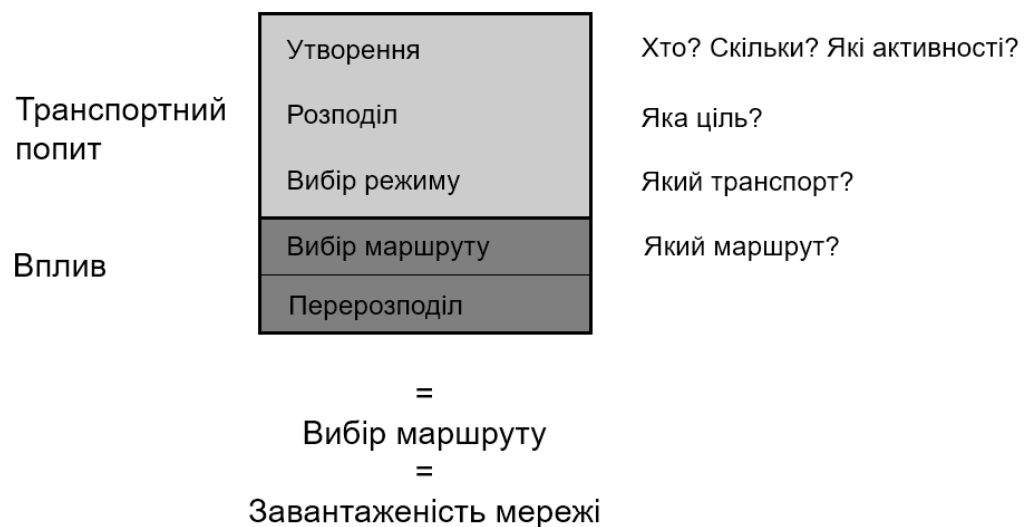


Рис.2.1. Перерозподіл індивідуального транспорту, вбудований у процес моделювання.

Розробка моделей вибору виду транспорту зазвичай спирається на таку інформацію, як спостережуваний вибір виду транспорту (з даних опитувань або інших джерел), характеристики людей, які здійснюють поїздки (вік, зайнятість



статус, навчання і на якому рівні, наявність ліцензії) та характеристики видів транспорту (доступність, частота, ціна, надійність).

Процедура вибору режиму застосовується в рамках 4-крокової моделі з розрахунком на кілька кроків.

Перший крок вибору режиму розділяє всю аналізовану інформацію (включаючи загальну матрицю кореспондентських ліній) для кожного рівня графіка на окремі транспортні режими (наприклад, індивідуальний транспорт, громадський транспорт) на основі різних параметрів для кожного режиму (таких як час у дорозі, витрати і т. д.).

Для конкретного режиму  $m$  спочатку обчислюється корисність як лінійна комбінація параметрів опору.

$$U_{ijm} = \sum_g \beta_g \cdot c_{ijmg}$$

$g$  – опір витрат для переміщення із району  $i$  в район  $j$  у режимі  $m$ .

Виходячи з корисності різних режимів виводяться їхні частки в поїздках для кожного відношення.

Функція вірогідності вибору може бути представлена як функція нормального розподілу (пробіт-модель):

$$F(\varepsilon_n) = \frac{1}{1 + e^{-\mu\varepsilon_n}}$$

Функція логістичного розподілу – логіт-модель:

Для двох величин вибору (бінарна модель)

$$P_n(i) = P[\varepsilon_n \leq V_n] = \frac{1}{1 + e^{-\mu(V_n - V_{jn})}}$$

Для декількох величин вибору

$$P_n(i) = \frac{e^{U_n(i)}}{\sum_k e^{U_n(k)}}$$

Оцінка бінарної моделі вибору здійснюється відповідно до

$$U_g(m, i, j) = C_{gm} - p_{1_{gm}} \cdot \text{traveltime}_{mij} - p_{2_{gm}} \cdot \text{cost}_{mij}$$

Загальна ймовірність результатів усіх спостережень (виборів):

$$L^*(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_K) = \prod_{n=1}^N P_n(i)^{y_{in}} P_n(j)^{y_{jn}}$$

Параметри від  $\beta_1$  до  $\beta_K$  тепер можна розрахувати так, щоб  $L^*$  стала максимальною (метод максимальної правдоподібності).

Типове формулювання моделі вибору у VISUM:

$$P_n(i) = \frac{e^{U_n(i)}}{\sum_k e^{U_n(k)}}$$

$$\begin{aligned} U_g(m, i, j) = & C_{gm} \\ & - \beta_{1_{gm}} \cdot \text{InVehicleTime}_{mij} \\ & - \beta_{2_{gm}} \cdot \text{WalkTime(withParking)}_{mij} \\ & + \beta_{3_{gm}} \cdot \ln(\text{DirectDist}_{ij}) \\ & - \beta_{4_{gm}} \cdot \text{WaitTime}_{mij} \\ & - \beta_{5_{gm}} \cdot \text{NumberOfTransfers}_{mij} \\ & - \beta_{6_{gm}} \cdot \text{Costs}_{mij} \end{aligned}$$

У транспортній моделі Кривого Рогу, яка є класичною 4-коковою моделлю, функція корисності вибору режиму калібрується за допомогою калібрувального коефіцієнт, щоб переконатися, що розподіл за видами транспорту відповідає цільовим значенням.

### 2.3. Результати розрахунків розподілу за видами транспорту у моделі існуючого стану

Частка видів транспорту означає частку поїздок, здійснених кожним видом транспорту порівняно із загальним попитом, тобто загальної кількості поїздок. Її можна розрахувати за наступною формулою:

- Частка видів транспорту [вид транспорту  $x$ ] = (Кількість поїздок, здійснених видом транспорту  $x$ ) / (Загальна кількість поїздок).

Щоб визначити кількість поїздок для кожного виду транспорту, можна розрахувати суму поїздок, що відправляються з кожного пункту і прямують до нього.

У мультимодальній моделі Кривого Рогу містить 17 шарів попиту (рис.2.2), 14 з яких – у моделі пасажирських перевезень (рис.2.3).

Number	Code	Name	DemandModelCode	DSegSet	PersonGroupCodes	Bike_Const	BIKE_TTCOEFF	C_Const	C_TTCoeff	Ped_TTCOEFF	PuT_Const	PuT_JRTCoef
1	001_HW_KrR	Home - Work	PM	...	KrR	0.00	0.05	0.00	0.30	0.60	0.00	0.60
2	002_WH_KrR	Work - Home	PM	...	KrR	0.00	0.05	0.00	0.30	0.60	0.00	0.50
3	003_HS_KrR	Home - Study	PM	...	KrR	0.00	0.00	0.00	0.03	2.00	0.00	0.40
4	004_SH_KrR	Study - Home	PM	...	KrR	0.00	0.00	0.00	0.05	2.00	0.00	0.60
5	005_HO_KrR	Home - Other	PM	...	KrR	0.00	0.07	0.00	0.30	1.30	0.00	0.30
6	006_OH_KrR	Other - Home	PM	...	KrR	0.00	0.07	0.00	0.30	1.30	0.00	0.30
7	007_WO_KrR	Work - Other	PM	...	KrR	0.00	0.01	0.00	0.20	2.00	0.00	0.80
8	008_OW_KrR	Other - Work	PM	...	KrR	0.00	0.01	0.00	0.40	1.70	0.00	0.80
9	009_WW_KrR	Work - Work	PM	...	KrR	0.00	0.00	0.00	2.20	0.10	0.00	0.80
10	010_OO_KrR	Other - Other	PM	...	KrR	0.00	0.20	0.00	0.30	2.00	0.00	0.60
11	011_HHE_KrR	Home - Higher education	PM	...	KrR	0.00	0.00	0.00	0.01	1.50	0.00	0.70
12	012_HEH_KrR	Higher education - Home	PM	...	KrR	0.00	0.00	0.00	0.01	1.50	0.00	0.70
13	013_HD_KrR	Home - Dacha	PM	...	KrR	0.00	0.01	0.00	0.20	1.00	0.00	0.70
14	014_DH_KrR	Dacha - Home	PM	...	KrR	0.00	0.01	0.00	0.20	1.00	0.00	0.70
15	IA_FT1	Light trucks - Internal Attraction	FT	...	FT1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16	IA_FT2	Medium trucks - Internal Attraction	FT	...	FT2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17	IA_FT3	Heavy trucks - Internal Attraction	FT	...	FT3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Рис.2.2. Шари попиту транспортної моделі.

Select demand model

Basis | Person groups | Activity pairs | Demand strata

Number:	Code	Name	Type	Modes
1	PM	Passenger Model/Модель пасажирського транспорту	Standard 4-step	BIKE,CAR,PED,PuT
2	FT	Freight transport model/Модель вантажного транспорту	Standard 4-step	FT1,FT2,FT3

Рис.2.3. Моделі пасажирських перевезень та вантажна модель.

Parameters: Mode choice

Set any result demand matrix to 0 prior to calculation

	Key	Demand stratum	Mode	Utility function	Function type	a	b	c	Input demand ma
1	001_HW_KrR/BIKE	001_HW_KrR Home - Work	BIKE BIKE	Matrix([NO] = 55)* CONTEXT[DEMA ...	Kirchhoff	0	0	1 ...	Matrix([DModelCode] = CONTEXT[DModelCode] & [DStratCode
2	001_HW_KrR/CAR	001_HW_KrR Home - Work	CAR Car	Matrix([NO] = 69)* CONTEXT[DEMA ...	Kirchhoff	0	0	1 ...	Matrix([DModelCode] = CONTEXT[DModelCode] & [DStratCode
3	001_HW_KrR/PED	001_HW_KrR Home - Work	PED Pedestrians	Matrix([NO] = 83)* CONTEXT[DEMA ...	Kirchhoff	0	0	1 ...	Matrix([DModelCode] = CONTEXT[DModelCode] & [DStratCode
4	001_HW_KrR/PuT	001_HW_KrR Home - Work	PuT Public transport	Matrix([NO] = 97)* CONTEXT[DEMA ...	Kirchhoff	0	0	1 ...	Matrix([DModelCode] = CONTEXT[DModelCode] & [DStratCode
5	002_WH_KrR/BIKE	002_WH_KrR Work - Home	BIKE BIKE	Matrix([NO] = 56)* CONTEXT[DEMA ...	Kirchhoff	0	0	1 ...	Matrix([DModelCode] = CONTEXT[DModelCode] & [DStratCode
6	002_WH_KrR/CAR	002_WH_KrR Work - Home	CAR Car	Matrix([NO] = 70)* CONTEXT[DEMA ...	Kirchhoff	0	0	1 ...	Matrix([DModelCode] = CONTEXT[DModelCode] & [DStratCode
7	002_WH_KrR/PED	002_WH_KrR Work - Home	PED Pedestrians	Matrix([NO] = 84)* CONTEXT[DEMA ...	Kirchhoff	0	0	1 ...	Matrix([DModelCode] = CONTEXT[DModelCode] & [DStratCode
8	002_WH_KrR/PuT	002_WH_KrR Work - Home	PuT Public transport	Matrix([NO] = 98)* CONTEXT[DEMA ...	Kirchhoff	0	0	1 ...	Matrix([DModelCode] = CONTEXT[DModelCode] & [DStratCode
9	003_HS_KrR/BIKE	003_HS_KrR Home - Study	BIKE BIKE	Matrix([NO] = 57)* CONTEXT[DEMA ...	Kirchhoff	0	0	1 ...	Matrix([DModelCode] = CONTEXT[DModelCode] & [DStratCode
10	003_HS_KrR/CAR	003_HS_KrR Home - Study	CAR Car	Matrix([NO] = 71)* CONTEXT[DEMA ...	Kirchhoff	0	0	1 ...	Matrix([DModelCode] = CONTEXT[DModelCode] & [DStratCode
11	003_HS_KrR/PED	003_HS_KrR Home - Study	PED Pedestrians	Matrix([NO] = 85)* CONTEXT[DEMA ...	Kirchhoff	0	0	1 ...	Matrix([DModelCode] = CONTEXT[DModelCode] & [DStratCode
12	003_HS_KrR/PuT	003_HS_KrR Home - Study	PuT Public transport	Matrix([NO] = 99)* CONTEXT[DEMA ...	Kirchhoff	0	0	1 ...	Matrix([DModelCode] = CONTEXT[DModelCode] & [DStratCode
13	004_SH_KrR/BIKE	004_SH_KrR Study - Home	BIKE BIKE	Matrix([NO] = 58)* CONTEXT[DEMA ...	Kirchhoff	0	0	1 ...	Matrix([DModelCode] = CONTEXT[DModelCode] & [DStratCode
14	004_SH_KrR/CAR	004_SH_KrR Study - Home	CAR Car	Matrix([NO] = 72)* CONTEXT[DEMA ...	Kirchhoff	0	0	1 ...	Matrix([DModelCode] = CONTEXT[DModelCode] & [DStratCode
15	004_SH_KrR/PED	004_SH_KrR Study - Home	PED Pedestrians	Matrix([NO] = 86)* CONTEXT[DEMA ...	Kirchhoff	0	0	1 ...	Matrix([DModelCode] = CONTEXT[DModelCode] & [DStratCode
16	004_SH_KrR/PuT	004_SH_KrR Study - Home	PuT Public transport	Matrix([NO] = 100)* CONTEXT[DEMA ...	Kirchhoff	0	0	1 ...	Matrix([DModelCode] = CONTEXT[DModelCode] & [DStratCode
17	005_HO_KrR/BIKE	005_HO_KrR Home - Other	BIKE BIKE	Matrix([NO] = 59)* CONTEXT[DEMA ...	Kirchhoff	0	0	1 ...	Matrix([DModelCode] = CONTEXT[DModelCode] & [DStratCode
18	005_HO_KrR/CAR	005_HO_KrR Home - Other	CAR Car	Matrix([NO] = 73)* CONTEXT[DEMA ...	Kirchhoff	0	0	1 ...	Matrix([DModelCode] = CONTEXT[DModelCode] & [DStratCode
19	005_HO_KrR/PED	005_HO_KrR Home - Other	PED Pedestrians	Matrix([NO] = 87)* CONTEXT[DEMA ...	Kirchhoff	0	0	1 ...	Matrix([DModelCode] = CONTEXT[DModelCode] & [DStratCode
20	005_HO_KrR/PuT	005_HO_KrR Home - Other	PuT Public transport	Matrix([NO] = 101)* CONTEXT[DEMA ...	Kirchhoff	0	0	1 ...	Matrix([DModelCode] = CONTEXT[DModelCode] & [DStratCode
21	006_OH_KrR/BIKE	006_OH_KrR Other - Home	BIKE BIKE	Matrix([NO] = 60)* CONTEXT[DEMA ...	Kirchhoff	0	0	1 ...	Matrix([DModelCode] = CONTEXT[DModelCode] & [DStratCode
22	006_OH_KrR/CAR	006_OH_KrR Other - Home	CAR Car	Matrix([NO] = 74)* CONTEXT[DEMA ...	Kirchhoff	0	0	1 ...	Matrix([DModelCode] = CONTEXT[DModelCode] & [DStratCode
23	006_OH_KrR/PED	006_OH_KrR Other - Home	PED Pedestrians	Matrix([NO] = 88)* CONTEXT[DEMA ...	Kirchhoff	0	0	1 ...	Matrix([DModelCode] = CONTEXT[DModelCode] & [DStratCode
24	006_OH_KrR/PuT	006_OH_KrR Other - Home	PuT Public transport	Matrix([NO] = 102)* CONTEXT[DEMA ...	Kirchhoff	0	0	1 ...	Matrix([DModelCode] = CONTEXT[DModelCode] & [DStratCode
25	007_WO_KrR/BIKE	007_WO_KrR Work - Other	BIKE BIKE	Matrix([NO] = 61)* CONTEXT[DEMA ...	Kirchhoff	0	0	1 ...	Matrix([DModelCode] = CONTEXT[DModelCode] & [DStratCode
26	007_WO_KrR/CAR	007_WO_KrR Work - Other	CAR Car	Matrix([NO] = 75)* CONTEXT[DEMA ...	Kirchhoff	0	0	1 ...	Matrix([DModelCode] = CONTEXT[DModelCode] & [DStratCode
27	007_WO_KrR/PED	007_WO_KrR Work - Other	PED Pedestrians	Matrix([NO] = 89)* CONTEXT[DEMA ...	Kirchhoff	0	0	1 ...	Matrix([DModelCode] = CONTEXT[DModelCode] & [DStratCode
28	007_WO_KrR/PuT	007_WO_KrR Work - Other	PuT Public transport	Matrix([NO] = 103)* CONTEXT[DEMA ...	Kirchhoff	0	0	1 ...	Matrix([DModelCode] = CONTEXT[DModelCode] & [DStratCode

Рис.2.4. Фрагмент вікна параметрів вибору режиму.

Для розрахунку перерозподілу видів транспорту використовується 56 залежностей із функцією корисності Кіркгофа. Результуючі матриці перерозподілу зібрані у відповідній процедурі Mode chose.

Процедура вибору матриці прописана для кожного шару попиту (рис.2.5).

Select matrix

Select matrix directly

Select matrix by properties

**i** The selection is limited to Demand matrices for Zones, without formula. Further criteria from matrix reference:

Matrix (

```
[DMODELCODE] = CONTEXT[DMODELCODE]
& [DSTRATCODE] = CONTEXT[DSTRATCODE]
& [MODECODE] = CONTEXT[MODECODE]
```

)

Number: 3	Attribute	Variant
1	DModelCode	CONTEXT[DMODELCODE] ...
2	DStratCode	CONTEXT[DSTRATCODE] ...
3	ModeCode	CONTEXT[MODECODE] ...

Рис.2.5. Вибір матриці для шару попиту.

Результати перерозподілу у вигляді матриць перерозподілу 132 – 187. Модель включає 238 транспортних районів, відповідно, кожна матриця вибору режиму за кожною взаємодією між шарами попиту має розмір 238x238.

Так, наприклад, для легкових автомобілів та шару попиту «дім-робота» фрагмент результуючий матриці показано на рис.2.6.

238 x 238		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19		
Name		івський	івський	івський	івський	івський	рурґійний	урґійний	урґійний	урґійний	урґійний	урґійний	урґійний	урґійний	урґійний	урґійний	цвський	цвський	цвський	цвський		
Sum		598.82	2975.07	18.86	64.07	0.00	209.13	249.73	120.00	1948.89	519.58	323.42	1189.88	1527.45	1322.09	344.64	176.93	75.61	411.50	443.89		
1	Тернівський район	2007.06	89.42	408.53	3.47	6.04	0.00	0.00	2.15	2.59	1.30	21.45	6.00	3.79	13.70	17.88	15.49	4.29	2.19	0.98	4.81	5.47
2	Тернівський район	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	Тернівський район	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	Тернівський район	45.80	1.22	9.81	0.05	0.15	0.00	0.05	0.06	0.03	0.50	0.13	0.08	0.30	0.39	0.33	0.10	0.05	0.02	0.11	0.12	0.12
5	Тернівський район	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	Металургійний район	246.21	0.55	2.53	0.02	0.06	0.00	0.85	0.71	0.41	4.89	1.75	1.27	3.32	5.29	4.64	1.44	0.73	0.31	1.64	1.76	1.76
7	Металургійний район	74.83	0.18	0.88	0.01	0.02	0.00	0.20	0.22	0.12	1.66	0.46	0.29	1.12	1.44	1.42	0.35	0.18	0.08	0.42	0.45	0.45
8	Металургійний район	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	Металургійний район	201.15	0.54	2.47	0.01	0.06	0.00	0.48	0.58	0.33	4.57	1.22	0.74	2.85	3.78	3.49	0.85	0.43	0.19	1.04	1.11	1.11
10	Металургійний район	306.39	0.84	3.49	0.02	0.09	0.00	0.96	0.90	0.48	6.81	1.97	1.26	4.07	5.73	5.26	1.45	0.74	0.32	1.70	1.83	1.83
11	Металургійний район	511.34	1.40	6.03	0.04	0.15	0.00	1.84	1.50	0.89	10.91	3.36	2.29	6.81	10.08	8.51	2.49	1.26	0.53	2.85	3.08	3.08
12	Металургійний район	724.96	2.02	8.64	0.05	0.22	0.00	1.92	2.31	1.20	16.84	4.31	2.71	11.48	13.24	12.51	3.04	1.55	0.65	3.87	4.12	4.12
13	Металургійний район	484.77	1.34	5.45	0.04	0.14	0.00	1.55	1.51	0.73	11.32	3.08	2.04	6.71	9.44	8.00	2.20	1.13	0.48	2.68	2.79	2.79
14	Металургійний район	110.83	0.30	1.25	0.01	0.03	0.00	0.35	0.39	0.17	2.70	0.73	0.44	1.64	2.07	2.13	0.45	0.24	0.10	0.59	0.60	0.60
15	Металургійний район	209.09	0.61	2.60	0.02	0.07	0.00	0.79	0.68	0.36	4.79	1.46	0.95	2.91	4.15	3.32	1.07	0.53	0.22	1.21	1.27	1.27
16	Довгинцівський район	227.55	0.65	2.81	0.02	0.07	0.00	0.86	0.74	0.40	5.17	1.57	1.01	3.13	4.48	3.69	1.11	0.58	0.23	1.30	1.35	1.35
17	Довгинцівський район	260.68	0.79	3.39	0.02	0.09	0.00	0.98	0.86	0.46	6.05	1.84	1.16	3.57	5.19	4.26	1.25	0.64	0.27	1.45	1.52	1.52
18	Довгинцівський район	295.62	0.83	3.55	0.02	0.09	0.00	1.10	1.02	0.55	7.15	2.10	1.33	4.51	6.17	5.24	1.47	0.75	0.31	1.62	1.72	1.72
19	Довгинцівський район	953.15	2.84	11.99	0.07	0.31	0.00	3.58	3.30	1.75	23.09	6.82	4.31	14.47	19.35	16.18	4.66	2.35	0.98	5.18	5.88	5.88
20	Довгинцівський район	48.52	0.16	0.65	0.00	0.02	0.00	0.15	0.19	0.09	1.31	0.34	0.21	0.81	0.96	0.89	0.19	0.10	0.04	0.28	0.28	0.28
21	Довгинцівський район	510.57	1.62	6.90	0.04	0.18	0.00	1.49	1.85	0.88	12.85	3.30	2.09	8.19	9.39	8.93	1.92	0.98	0.47	2.88	3.04	3.04
22	Металургійний район	156.64	0.31	1.48	0.01	0.03	0.00	0.43	0.43	0.24	3.50	1.07	0.75	2.25	3.20	2.80	0.82	0.43	0.18	0.91	1.00	1.00
23	Металургійний район	340.57	0.67	3.10	0.02	0.08	0.00	0.99	1.11	0.55	8.80	2.48	1.64	5.40	7.10	6.00	1.74	0.92	0.38	2.01	2.14	2.14
24	Металургійний район	132.65	0.27	1.26	0.01	0.03	0.00	0.38	0.43	0.21	3.44	0.96	0.64	2.12	2.75	2.38	0.68	0.36	0.15	0.80	0.85	0.85
25	Металургійний район	73.67	0.14	0.65	0.00	0.02	0.00	0.22	0.23	0.11	1.74	0.51	0.33	1.06	1.48	1.24	0.35	0.18	0.08	0.39	0.41	0.41
26	Металургійний район	242.31	0.77	2.96	0.02	0.07	0.00	0.69	0.73	0.39	5.85	1.66	1.10	3.81	5.12	4.93	1.22	0.63	0.27	1.33	1.53	1.53
27	Металургійний район	155.87	0.44	1.92	0.01	0.05	0.00	0.61	0.55	0.27	3.89	1.19	0.77	2.36	3.28	2.59	0.81	0.42	0.17	0.97	1.01	1.01
28	Металургійний район	4.76	0.01	0.04	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.01	0.12	0.03	0.02	0.08	0.10	0.09	0.02	0.01	0.01	0.03	0.03	0.03
29	Інгулецький район	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	Інгулецький район	291.69	0.40	1.91	0.01	0.04	0.00	0.88	0.79	0.43	5.98	1.72	1.03	3.74	5.16	4.91	1.12	0.57	0.24	1.18	1.27	1.27
31	Інгулецький район	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
32	Інгулецький район	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
33	Інгулецький район	104.46	0.15	0.69	0.00	0.02	0.00	0.31	0.30	0.16	2.29	0.66	0.37	1.40	1.98	1.81	0.40	0.21	0.08	0.45	0.47	0.47

Рис.2.6. Фрагмент матриці вибору режиму для автомобільних перевезень за шаром попиту «дім-робота».

Для візуалізації результатів моделювання використовуємо відповідні діаграми потоків, які використовуються у PTV VISUM для фільтрації та графічного відображення навантажених шляхів (отриманих в результаті перерозподілу) за різними критеріями. Завантажені маршрути є результатом розрахунку призначення і характеризуються наступними властивостями:

- складаються з маршруту від зони відправлення до зони призначення.
- мають тип транспортної системи (PrT, PuT або PuT-Sys).
- показують обсяг (пасажирів, транспортні засоби).

#### 2.4. Дослідження вибору режиму при зміні транспортної пропозиції

Проведемо оцінку стану маршрутної мережі пасажирського транспорту міста Кривий Ріг з урахуванням мобільності мешканців мікрорайонів Східний-1,2,3. Район обслуговують швидкісний трамвай, маршрут тролейбуса 24, маршрути автобусів приватних перевізників 201, 223, 210.

У серпні 2023 року у маршрутну мережу міста Кривий Ріг було введено маршрут комунального автобусу великої пасажиромісткості №8 «Пл. Толстого (17й квартал) – ст. Кривий Ріг Головний», який проходить через об'їзну дорогу на мкрн. Східний- 2,3 та простягається на суміжних ділянках мережі «Сонячний – бульвар Вечірній», що знаходяться у пішій доступності для мешканців Східний-1 [24].

Завданням є дослідити вплив нового маршруту на вибір режиму транспорту користувачами мережі з мкрн. Східний-1,2,3.

Попередньо, проведемо оцінку стану транспортного попиту до введення нового маршруту автобуса з акцентом на транспортні райони 62 (Східний -1) та 59 (Східний-2,3).

Отримані в результаті моделювання картограми потоків для індивідуального та громадського транспорту (із виділенням маршрутів), які зароджуються у мкрн. Східний-1,2,3 та місцями призначення яких є дані мікрорайони міста, показані на рис. А.3 – рис.А.10.

Основними виїздами/заїздами з житлового масиву Східний-1,2,3 по пасажиропотоку приходяться на:

1) ділянку від перехрестя вул. Вечірній бульвар та Об'їзної дороги до дворівневої розв'язки по Дніпровському шосе.

Кількість перевезених пасажирів (округлено) на даній ділянці:

- виїзд зі Східного – тролейбус - 1900 пас/добу, маршрутки – 2100 пас/добу;
- заїзд у бік Східного – тролейбус –1600 пас/добу, маршрутки – 2700 пас/добу.

2) ділянку «Об'їзна дорога-вулиця Івана Авраменка» – 2000 пас/добу на маршрутних таксі.

За кількісними показниками кореспонденцій домінуючими напрямками переміщень мешканців ж/м Східного-1,2,3 є райони ВАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

Найбільші добові пасажиропотоки в сторону Східний-1 - від кільця Автовокзалу до вулиці Водоп'янова від 1190 до 1370 пас/добу.

Відмінності між паспотоками індивідуального транспорту (вело, автомобіль) та громадського транспорту в сторону Східний-1 полягають у наступному:

- Більш інтенсивне використання індивідуального транспорту у дирекції від просп. Миру- вул. Кобилянського через пл. Горького та пл. О. Поля до вул. Бикова (від 412 до 620 пас/добу).

- Використання ІТ Нікопольського шосе для руху від ПівдГЗК.
- Використання дороги Н-23 від смт. Радушного.
- Використання Об'їзної дороги при русі від північних районів.

Найбільші добові пасажиропотоки від Східний-1 приходяться від вулиці Водоп'янова до кільця Автовокзалу від 1170 до 1362 пас/добу.

Відмінності між паспотоками ІТ та ГТ від Східний-1 ті самі, як і на заїзд на Східний-1 плюс використання вулиці Гетьманської для виїзду.

Найбільші добові пасажиропотоки в сторону Східний-2,3 приходяться від ст. шт. Будинок Рад до ст. шт. 2-га Міська лікарня –1751 пас/добу.

Відмінності між паспотоками ІТ та ГТ в сторону Східний-2,3 ті самі, що і на заїзд до мкрн. Східний-1та інтенсивне використання вул. Водоп'янова-Лісового (1865 пас/добу).

Найбільші добові пасажиропотоки від Східний-2,3:

- від ст. шт. 2-га Міська лікарня до ст. шт. Будинок Рад – від 1953 до 2216 пас/добу;

- вул. Симонова – від 1482 до 1520 пас/добу.

Відмінності між паспотоками ІТ та ГТ *від Східний-2,3* ті самі, що і на виїзд з мкрн. Східний-2,3 та інтенсивне використання вул. Водоп'янова-Лісового.

Мешканці Східний-1,2,3 вибирають переважно безпересадковий спосіб поїздки.

Швидкісний трамвай відіграє більшу роль для мешканців Східного-2,3 ніж для жителів Східного-1 (обумовлено доступністю зупинок швидкісного трамваю, кількістю населення). Добовий паспотік 1952 пас/добу (зародження) на більш завантаженій ділянці проти 350 пас/добу. Маршрути швидкісного трамваю 3М, 4М по відношенню до області аналізу використовуються переважно для виїзду з ж/м Східний-2,3. Швидкісний трамвай забезпечує перевезення мешканців ж/м Східного-2,3 в основному в район Соцміста. Центрами зародження-призначення поїздок є станції Будинок Рад, пр. Металургів та 2-га міська лікарня. На даній ділянці паспотік на маршрутах 1м, 2м – близько 1500 пас/добу, 3м, 4м – 400 пас/добу.

ВАТ АрселлорМіттал (від 3-ї дільниці до вулиці Польової) є основним місцем зародження-притягнення поїздок для мешканців ж/м Східний-1,2,3. При наявній пропозиції для здійснення таких переміщень використовується маршрут 210.

Основний паспотік (від 290 до 880 пас/добу) на тролейбусному маршруті 24 приходить на ділянку «3-а дільниця - ж/м Східний-1,2,3». Маршрут тролейбусу 24 використовується резидентами Східний-1,2,3 для поїздок в район Автовокзал, 95 кв., 3 дільниця, а маршрут 210 – в район між Рудничною та Збагачувальною.

Паспотоки в інші райони міста з/убік ж/м Східний-1,2,3, такі як Центральноміський район, 44 кв. не перевищують 100-150 пас/добу, район ПівдГЗК - 200 -280 пас/добу. Існує попит на переміщення у район Військового містечка-33 (вул. Батурінська) від Східний-1–200 пас/добу, від Східний-2,3 – 308-356 пас/добу, який задовільняється тільки ІТ.



### РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА ПЕРЕРОЗПОДІЛУ ПІСЛЯ ВВЕДЕННЯ У МЕРЕЖУ АВТОБУСНОГО МАРШРУТУ

Транспортна пропозиція у міській мережі пасажирського транспорту змінилась після введення нового автобусного маршруту №8 великої пасажиромісткості у серпні 2023 року [24]. Даний маршрут (line route) для обоїх напрямків руху було введено у транспорту модель у програмному забезпеченні PTV VISUM (рис.3.1). Після цього сформований time profile та внесено розклад руху на маршруті у будні дні (рис.3.2).

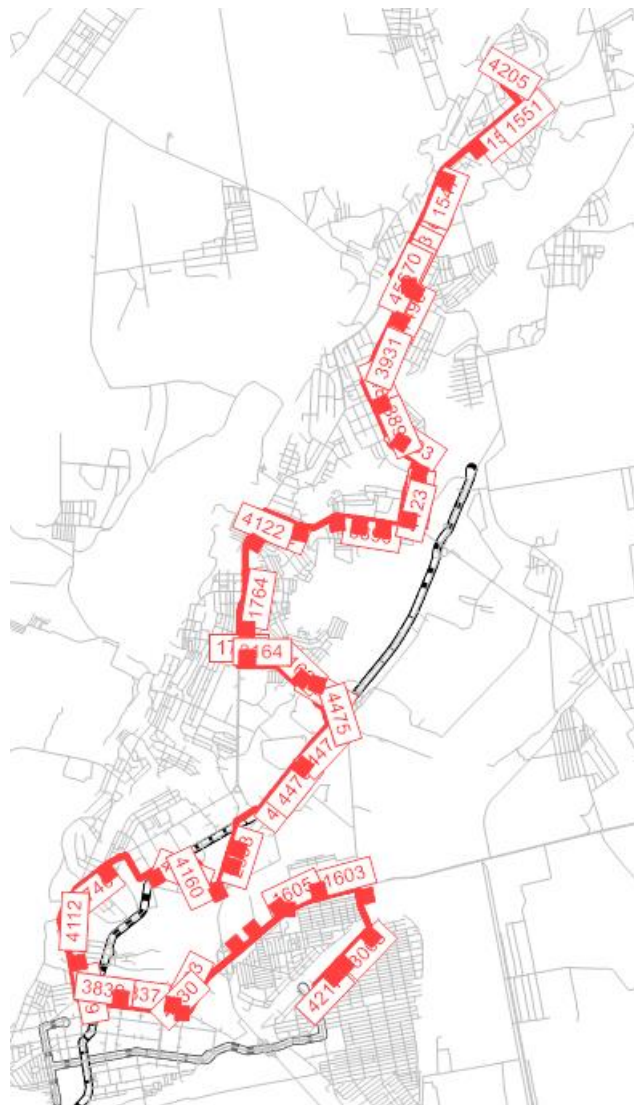


Рис.3.1. Маршрут автобусу №8 в моделі PTV VISUM

34 vehicle journeys															
No	33728	33729	33730	33731	33732	33733	33734	33735	33736	33737	33738	33739	33740	33741	
Name	A_№8_ст.Кри														
LineName	A_№8_ст.Кри														
DirectionCode	>														
Concatenate:VehJourneySection	Ежедн.	Ежедн.	Ежедн.	Ежедн.	Ежедн.	Ежедн.	Ежедн.	Ежедн.	Ежедн.	Ежедн.	Ежедн.	Ежедн.	Ежедн.	Ежедн.	
FromTPProfileIdentifier	23: 1775	23: 1775	23: 1775	23: 1775	1: 3005	1: 3005	1: 3005	1: 3005	1: 3005	1: 3005	1: 3005	1: 3005	1: 3005	1: 3005	
Dep	04:43:39	05:17:39	05:41:39	06:10:00	05:40:00	06:09:00	06:38:00	07:08:00	07:52:00	08:21:00	08:50:00	09:09:00	10:19:00	10:48:00	
Arr	05:18:30	05:52:30	06:16:30	06:44:51	07:01:22	07:30:22	07:59:22	08:29:22	09:13:22	09:42:22	10:11:22	09:55:01	11:40:22	12:09:22	
ToTPProfileIdentifier	42: 4205	42: 4205	42: 4205	42: 4205	42: 4205	42: 4205	42: 4205	42: 4205	42: 4205	42: 4205	42: 4205	23: 1775	42: 4205	42: 4205	
OperatorIdentifier															
CountVehJourneySections	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
IsCoupled	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
34 vehicle journey sections															
VehCombiIdentifier	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
ValidDaysIdentifier	1 Ежедн.	1 Ежедн.	1 Ежедн.	1 Ежедн.	1 Ежедн.	1 Ежедн.	1 Ежедн.	1 Ежедн.	1 Ежедн.	1 Ежедн.	1 Ежедн.	1 Ежедн.	1 Ежедн.	1 Ежедн.	
FromTPProfileIdentifier	23: 1775	23: 1775	23: 1775	23: 1775	1: 3005	1: 3005	1: 3005	1: 3005	1: 3005	1: 3005	1: 3005	1: 3005	1: 3005	1: 3005	
Dep	04:43:39	05:17:39	05:41:39	06:10:00	05:40:00	06:09:00	06:38:00	07:08:00	07:52:00	08:21:00	08:50:00	09:09:00	10:19:00	10:48:00	
Arr	05:18:30	05:52:30	06:16:30	06:44:51	07:01:22	07:30:22	07:59:22	08:29:22	09:13:22	09:42:22	10:11:22	09:55:01	11:40:22	12:09:22	
ToTPProfileIdentifier	42: 4205	42: 4205	42: 4205	42: 4205	42: 4205	42: 4205	42: 4205	42: 4205	42: 4205	42: 4205	42: 4205	23: 1775	42: 4205	42: 4205	
PrePrepTime	0min	0min	0min	0min	0min	0min	0min	0min	0min	0min	0min	0min	0min	0min	
PostPrepTime	0min	0min	0min	0min	0min	0min	0min	0min	0min	0min	0min	0min	0min	0min	

Рис.3.2. Фрагмент розкладу руху на маршруті автобуса №8.

Процедура перерозподілу громадського транспорту проводилась на основі часових інтервалів (headway-based).

Для розрахунку результатів виконані всі закладені у моделі процедури, у тому числі, з оновленням матриць витрат, вибору режиму і т.д.

Результати перерозподілу з урахуванням змін у транспортній пропозиції показані у Додатку Б.

Пасажи́рські потоки із зародженням та призначенням з та до мікрорайону Східний-1 після введення нового маршруту автобуса суттєво відрізняються від пасажирських потоків до введення нового маршруту. Так, збільшилась кількість перевезених пасажирів швидкісний трамвай на ділянці від ст. Вечірній бульвар до ст. Будинок Рад. до 1700 пас./доба, зменшилась кількість перевезених пасажирів на маршруті автобусів 201, 210 та 223. Потоки на тролейбусі 24 практично не змінилися. При цьому частина транспортного попиту перерозподілена в сторону маршруту автобуса 8 з кількістю пасажирів по вулиці Водоп'янова у 200-500 пас./доба, які є мешканцями Східний-1, з північний районів міста на рівні 1100 пас./доба.

Для перерозподілу пасажирських потоків мікрорайону Східний-2,3 характерні такі особливості після зміни транспортної пропозиції.

Збільшується кількість перевезених пасажирів за добу на найбільш завантаженій ділянці швидкісного трамваю від 1900 до 2300 пас./ доба.

Зменшення паспотоків на тролейбусному маршруті 24 з 800 до 400 пас./ доба. на ділянці Східний-1 (вул. Симонова-Водоп'янова).

Пасажирські потоки автобуса 8 по вулиці Водоп'янова становили 200 пас./доба, які є мешканцями Східний-2,3, з північний районів міста на рівні 1100 пас./доба.

Таким чином, перерозподіл транспортного попиту за видами транспорту суттєво змінився після введення маршруту комунального автобуса 8. Середньодобовий потік на даному маршруті становить, за результатами моделювання, 12700 пас./доба.

## РОЗДІЛ 4. БЕЗПЕКА МІСЬКОЇ МОБІЛЬНОСТІ

Для підвищення безпеки та ергономіки подорожей для міської мобільності можна вжити наступні заходи [25]:

1. Розробка конкретних інновацій для користувачів: створення нових технологій та продуктів, що полегшують та забезпечують безпеку міської мобільності, таких як системи автоматичного гальмування, покращені системи орієнтації та інші інноваційні рішення.

2. Впровадження превентивних заходів для уникнення нещасних випадків: розробка та впровадження систем моніторингу та попередження нещасних випадків, таких як системи розпізнавання пішоходів та велосипедистів для автомобілів, а також системи безпеки на велосипедах та електроскутерах.

3. Покращення мобільності вразливих або немічних користувачів: розробка і впровадження інфраструктури та транспортних засобів, які забезпечують безпечний доступ до транспорту для людей з обмеженими можливостями.

4. Дослідження причин нещасних випадків та травм: проведення детального аналізу нещасних випадків для виявлення причин та розробки стратегій їх запобігання.

5. Розробка та оцінювання інноваційних заходів та пристроїв: систематична розробка та випробування нових технологій та пристроїв, спрямованих на покращення безпеки та ергономіки міської мобільності.

Говорячи про міську мобільність, завжди слід брати до уваги поняття ризику. Ризик, пов'язаний, зокрема, з великою кількістю суб'єктів на обмежених територіях. Дійсно, якщо багато людей пересуваються пішки, автомобілем, мотоциклом, автобусом або велосипедом, виникає висока щільність руху, а отже, непередбачувані події, що вимагають підвищеної пильності. Незалежно від того, чи стоїть автомобіль, чи переходять дорогу пішоходи, чи ведуться дорожні роботи, небезпеки численні, і їх не завжди можна передбачити. З цієї причини необхідна

адаптована інфраструктура, щоб підтримувати цей рух, гарантувати безпеку користувачів і зменшити вплив на навколишнє середовище, пов'язаний зі збільшенням руху людей.

Зміни, які стосуються пішохідних переходів, стають дедалі більш інноваційними та спрямованими на підвищення безпеки пішоходів. Наприклад, у 2018 році встановлено систему освітлення біля міста Анже (Франція), яка вмикається одночасно з муніципальним освітленням та освітлює пішохідний перехід двома синіми смугами з боків. Кожна смуга має шпильку з точкою, що світиться, на кожному кінці. Це допомагає привернути увагу водіїв і захистити пішоходів в нічний час або у складних погодних умовах.

Також були створені «буферні зони», мета яких - змусити водіїв зупинитися на відстані від двох до п'яти метрів від пішохідного переходу, коли пішоходи бажають перейти його. Це дозволяє створити безпечніші умови для пішоходів і зменшити ризик нещасних випадків на дорогах.

У Парижі в 2018 році відкрили перший 3D-пішохідний перехід, виготовлений з білої фарби, що створює ефект рельєфу. Це ефективна оптична ілюзія, добре помітна навіть вночі, має на меті заохотити водіїв зменшити швидкість, посилити безпеку пішоходів у 30-кілометровій зоні [25]. Принцип світловідбивання (позначення світла, відбитого від розмітки на проїжджій частині) на дорожньому знаку може також використовуватися на певних пішохідних переходах у міському середовищі, завжди з метою привернути увагу автомобілістів і змусити їх сповільнити рух. Відбиття, наприклад, на знаку із забороненим напрямком руху, може зменшити кількість автомобілів, які рухаються вулицею в неправильному напрямку, що зазвичай є причиною заторів і навіть аварій.

Все більше муніципалітетів різних країн випробовують так звані «розумні» світлофори, щоб поліпшити транспортний потік і гарантувати більшу безпеку на дорозі, зокрема таких, які змінюють колір з червоного на зелений залежно від швидкості руху автомобілістів. Принцип простий: у світлофорі встановлені датчики

швидкості, і якщо водій дотримується швидкісного режиму, світло загоряється зеленим кольором. З іншого боку, якщо водій досягає швидкості понад 50 км/год, світло стає червоним. Ідея полягає в тому, щоб винагороджувати хорошу поведінку. Чим більше швидкість автомобіля, тим довше водій чекає на світлофорі.



Рис.1.4. Об'ємна розмітка пішохідного переходу

Незахищеність міської мобільності також полягає у страху користувачів перед крадіжками транспортних засобів. Дійсно, крадіжки та пошкодження стримують розвиток велосипедного руху в містах. Як результат, щоб зменшити затори на дорогах, уникнути нещасних випадків, безпечно паркувати велосипеди і таким чином заохотити людей користуватися ними, багато гравців та операторів пропонують інтелектуальні велопарковки, особливо біля залізничних станцій та курортів, щоб забезпечити легкий доступ до безпечних місць в освітленому, легкодоступному приміщенні під відеоспостереженням.

Іноді дорога погано освітлена, туман або дощ можуть ускладнити пересування містом, або ж користувачі велосипедів, скутерів та інших транспортних засобів можуть бути недостатньо помітними для водіїв. Ось чому з'являється все більше і більше обладнання, покликаного забезпечити безпеку

користувачів, зменшуючи ризик нещасних випадків на дорозі, і, таким чином, зробити міську мобільність менш небезпечною з кожним днем.

Підключений шолома поєднує в собі функції превентивної безпеки, покращуючи не тільки видимість користувачів транспортних засобів, але й активну безпеку, оскільки він ідеально захищає користувача в разі аварії. Цей пробісковий шолом оснащений потужним переднім ліхтарем, а також кількома кольоровими світлодіодами з боків і ззаду. Переднє освітлення може працювати в 3 режимах: середній, сильний і переривчастий, а світлодіоди з кожного боку можна контролювати незалежно. Таким чином, користувач може вибрати почергове блимання синього і червоного кольорів, обох разом або у фіксованому положенні. Таким чином, цей шолом дозволяє користувачеві бачити достатньо далеко, щоб їхати зі швидкістю від 20 до 25 км/год.

Щоб забезпечити безпеку користувачів на дорозі, Velco випустила Wink Bar, своє перше підключене кермо з інтегрованою системою GPS-навігації на основі світла, системою геолокації на випадок крадіжки та інтелектуальними фарами. Встановлений на будь-який велосипед і керований зі смартфона, він пропонує інтуїтивно зрозумілий і безпечний досвід для кінцевого користувача.

Спочатку, завдяки системі відстеження, інтегрованій в кермо, а також системі попередження в разі підозрілого руху, Wink Bar реагує на проблеми, пов'язані з крадіжками. Користувач може визначити місцезнаходження свого транспортного засобу в режимі реального часу.

Завдяки інтелектуальній системі освітлення керма Wink Bar, дві фари, інтегровані в передню частину керма з різними режимами роботи, дозволяють велосипедисту бути добре помітним для інших учасників дорожнього руху. Фари вмикаються в залежності від навколишнього освітлення і можуть бути налаштовані на постійне (завжди увімкнене), миготливе або автоматичне світло. Три функції для захисту користувача в міських умовах, незалежно від того, в яких умовах він чи вона пересувається.

Поява нових транспортних засобів, таких як EDPM (Personal Powered Mobility Machines): електросамокати, моноколеса, гіроскутери та гіроборди пропонують нові рішення для щоденного пересування, що вимагає регулювання з міркувань безпеки для їхніх користувачів та інших користувачів.

Так, EDPM у країнах Європейського союзу повинні бути обладнані передніми та задніми фарами, світлоповертаючими пристроями та звуковим сигналом. Їх швидкість не повинна перевищувати 25 км/год, а користувачі можуть використовувати їх на велодоріжках або зелених насадженнях, а рух тротуарами заборонено. Якщо дозволено рух на дорогах з максимальним обмеженням швидкості 80 км/год, то користувач повинен носити шолом, світлоповертаючі пристрої і рухатися з увімкненими фарами з максимальною швидкістю 25 км/год. Крім того, паркування на тротуарі цих транспортних засобів не повинно перешкоджати руху пішоходів.

Серед додатків, покликаних забезпечити безпеку користувачів у містах, Waze є яскравим прикладом [25]. Подібно до Google Maps та інших картографічних додатків, Waze пропонує користувачам можливість дізнатися про обмеження швидкості на різних ділянках, ідентифікувати всі види інцидентів на дорозі, затори та отримати доступ до їх точного місцезнаходження. Додаток також пропонує більш швидкі навігаційні маршрути, щоб зменшити затори на дорогах. Для громадського транспорту у місті Кривий Ріг з 2023 року працює додаток «Зручний маршрут» [26].

Щільність дорожнього руху та небезпека в міських районах вимагають постійного перегляду відповідних заходів, щоб зробити пересування всіх користувачів більш безпечним. Досягнення та основні інновації впроваджуються в інфраструктурі, аксесуарах та обладнанні, правилах та послугах під спільним імпульсом усіх, хто бере участь у міській мобільності. М'яка мобільність повинна відігравати важливу роль у транспортній пропозиції завтрашнього дня, що стане можливим лише за умови подальшого підвищення безпеки в містах.



## ВИСНОВКИ

У роботі виконано моделювання попиту на перевезення різними режимами транспорту відповідно до актуального стану транспортної системи Кривого Рогу.

У серпні 2023 року в місті Кривий Ріг розпочав курсувати новий комунальний автобус з великою пасажиромісткістю під номером 8, який з'єднує площу Толстого (17-й квартал) зі станцією Кривий Ріг Головний. Цей маршрут проходить через об'їзну дорогу на мікрорайоні Східний-2,3 та охоплює прилеглі ділянки маршрутів «Сонячний – бульвар Вечірній», що зручно розташовані для мешканців Східних мікрорайонів. Виникає задача з вивчення питання, як введення нового маршруту вплинуло на вибір режимів транспорту у мешканців мікрорайонів Східний-1,2,3.

Після введення нового маршруту автобуса значно змінилися пасажирські потоки до та з мікрорайону Східний-1. За результатами транспортного моделювання у програмному забезпеченні PTV VISUM встановлено, що кількість пасажирів, що користуються швидкісним трамваєм на ділянці від станції Вечірній бульвар до станції Будинки Рад, зросла до 1700 пасажирів на добу, тоді як на маршрутах автобусів 201, 210 та 223 кількість перевезених пасажирів скоротилась. Потоки на тролейбусі №24 майже не змінилися. Одночасно частина транспортного попиту перерозподілилась на користь маршруту автобуса №8, особливо на вулиці Водоп'янова, де кількість пасажирів становила до 200-500 на добу, при цьому пасажиропотік з північних районів міста на маршруті 8 до/з мкрн.Східний-1 досяг 1100 пасажирів на добу.

Після зміни транспортної пропозиції у мікрорайоні Східний-2,3 відзначаються наступні особливості щодо перерозподілу пасажирських потоків:

1. Кількість перевезених пасажирів на ділянці швидкісного трамваю Вечірній Бульвар-Будинки Рад зросла з 1900 до 2300 пасажирів на добу.

2. На тролейбусному маршруті №24 на ділянці Східний-1 (вул. Симонова-Водоп'янова) спостерігається зменшення пасажирських потоків з 800 до 400 пасажирів на добу.

3. Кількість пасажирів, що користуються автобусом №8 по вулиці Водоп'янова, становила на 200 пасажирів на добу, при цьому пасажиропотік з північних районів міста досяг 1100 пасажирів на добу.

Отже, в результаті введення маршруту комунального автобусу №8 значно змінився перерозподіл транспортного попиту за видами транспорту. Середньодобовий потік на даному маршруті автобуса 8, за результатами моделювання, становить 12700 пасажирів на добу.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Espino R, de Dios OJ, Román C (2007) Understanding suburban travel demand: flexible modelling with revealed and stated choice data. *Trans Res Part A Policy Pract* 41:899–912. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2007.03.002>
2. Monzon A and Gonzales J (2000) Travel demand impacts of a new privately operated suburban rail in the Madrid n-iii corridor. *Planning & Management of Public Transport Systems Proceedings of Seminar E*.
3. Tiantian J, Yaodong Z (2020) Research on the development of beijing suburban public transportation based on SEM. *J Phys Conf Ser* 1549(2):022027.
4. Danapour M et al (2018) Competition between high-speed rail and air transport in Iran: the case of Tehran-Isfahan. *Case Stud Transport Policy* 6(4):456–461.
5. Dahlan A, Fraszczyk A (2019) Public perceptions of a new MRT service: a pre-launch study in Jakarta. *Urban Rail Transit* 5:278–288. <https://doi.org/10.1007/s40864-019-00116-0>.
6. Ali Aden W, Zheng J, Ullah I, Safdar MN (2022) Public preferences towards car sharing service: the case of Djibouti. *Front Environ Sci* 10:449.
7. Bösehans, G.; Walker, I. ‘Daily Drags’ and ‘Wannabe Walkers’ - Identifying dissatisfied public transport users who might travel more actively and sustainably. *Journal of Transport and Health*, v. 3, n. 3, 2016.
8. Bresson, G. et al. Economic and structural determinants of the demand for public transport: An analysis on a panel of French urban areas using shrinkage estimators. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 38, n. 4, p. 269-285, 2004.
9. Paulley, N. et al. The demand for public transport: The effects of fares, quality of service, income and car ownership. *Transport Policy*, v. 13, n. 4, p. 295-306, 2006.

10. Beirão, G.; Sarsfield CabraL, J. A. Understanding attitudes towards public transport and private car: A qualitative study. *Transport Policy*, v. 14, n. 6, p. 478-489, 2007.
11. Redman, L. et al. Quality attributes of public transport that attract car users: A research review. *Transport Policy*, v. 25, p. 119-127, 2013.
12. Bergstad, C. J. et al. Affective-symbolic and instrumental-independence psychological motives mediating effects of socio-demographic variables on daily car use. *Journal of Transport Geography*, v. 19, n. 1, p. 33-38, 2011.
13. Jain, S. et al. Identifying public preferences using multi-criteria decision making for assessing the shift of urban commuters from private to public transport: A case study of Delhi. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, v. 24, p. 60-70, 2014.
14. Polat, C. The demand determinants for urban public transport services: a review of the literature. *Journal of Applied Sciences*, v. 12, n. 12, p. 1211-1231, 2012.
15. Krygsman, S.; Dijst, M.; Arentze, T. Multimodal public transport: An analysis of travel time elements and the interconnectivity ratio. *Transport Policy*, v. 11, n. 3, p. 265-275, 2004.
16. Cats, O.; Loutos, G. Real-time bus arrival information system: An empirical evaluation. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, v. 20, n. 2, p. 138-151, 2016.
17. Ruiz, T.; Bernabé, J. C. Measuring factors influencing valuation of nonmotorized improvement measures. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 67, p. 195-211, 2014.
18. Parkin, J.; Wardman, M.; Page, M. Estimation of the determinants of bicycle mode share for the journey to work using census data. *Transportation*, v. 35, n. 1, p. 93-109, 2008.
19. Beaudoin, J.; Farzin, Y. H.; Lin Lawell, C. Y. C. Public transit investment and sustainable transportation: A review of studies of transit's impact on traffic congestion and air quality. *Research in Transportation Economics*, v. 52, p. 15-22, 2015.

20. Jain, S. et al. Identifying public preferences using multi-criteria decision making for assessing the shift of urban commuters from private to public transport: A case study of Delhi. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, v. 24, p. 60-70, 2014.
21. Ma, L.; Dill, J. Associations between the objective and perceived built environment and bicycling for transportation. *Journal of Transport and Health*, v. 2, p. 248-255, 2015.
22. Wilson, A.G. and Kirby, M.J. (1980) *Mathematics for Geographers and Planners*. Clarendon Press, Oxford.
23. <https://www.ptvgroup.com/en/products/ptv-visum>
24. <https://dnipro.tv/news-dnipro/u-kryvomu-rozi-z-iavyvsia-novyi-avtobusnyi-marshrut/>
25. <https://velco.tech/en/urban-mobility-safety/>
26. <https://kpcep.dp.ua/mobilnyj-dodatok/>

# ДОДАТОК А. РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ ДО ЗМІНИ ТРАНСПОРТНОЇ ПРОПОЗИЦІЇ НА ГРОМАДСЬКОМУ ТРАНСПОРТІ

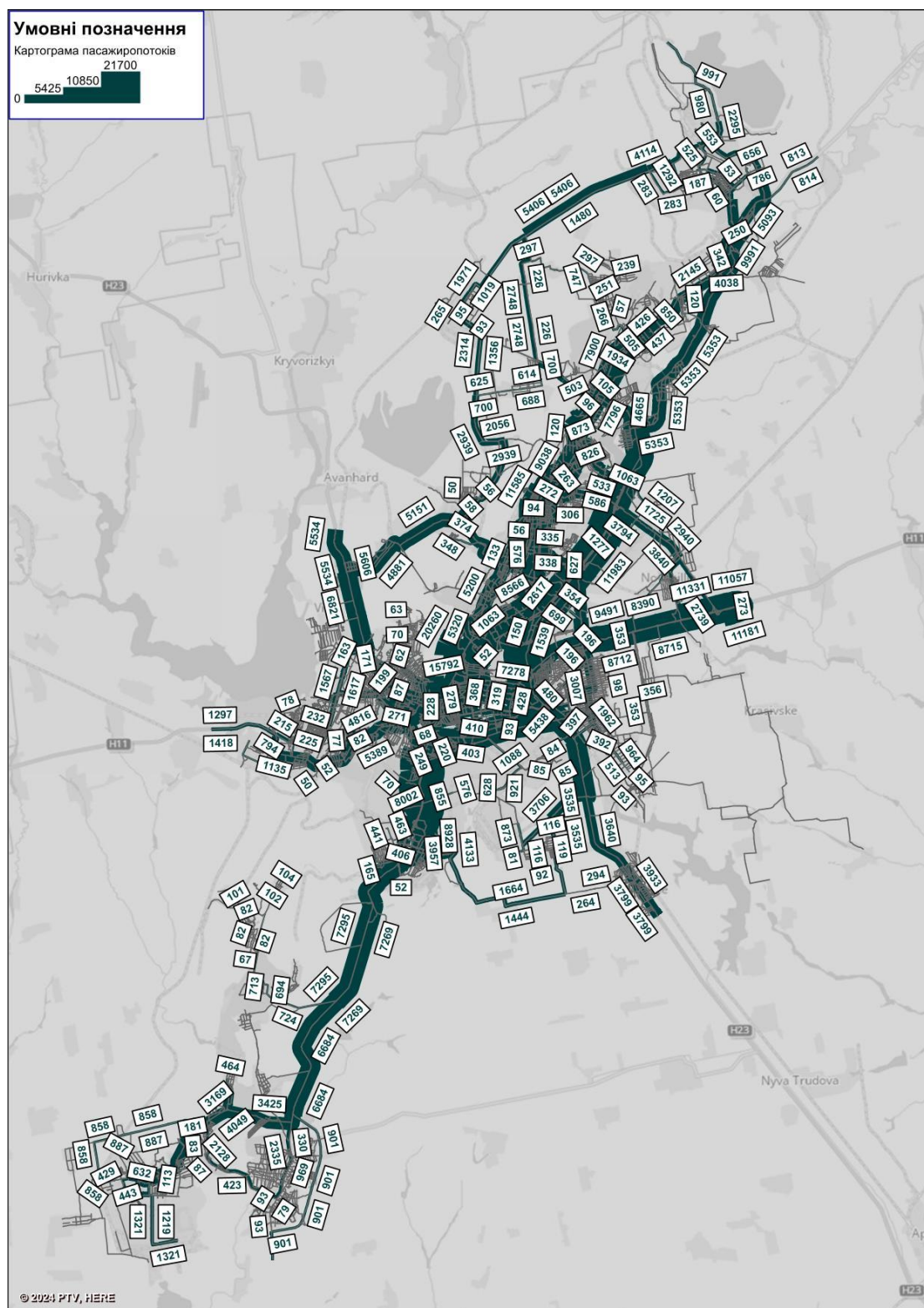


Рис.А.1. Результати розподілу на індивідуальному транспорті (осіб/доба).

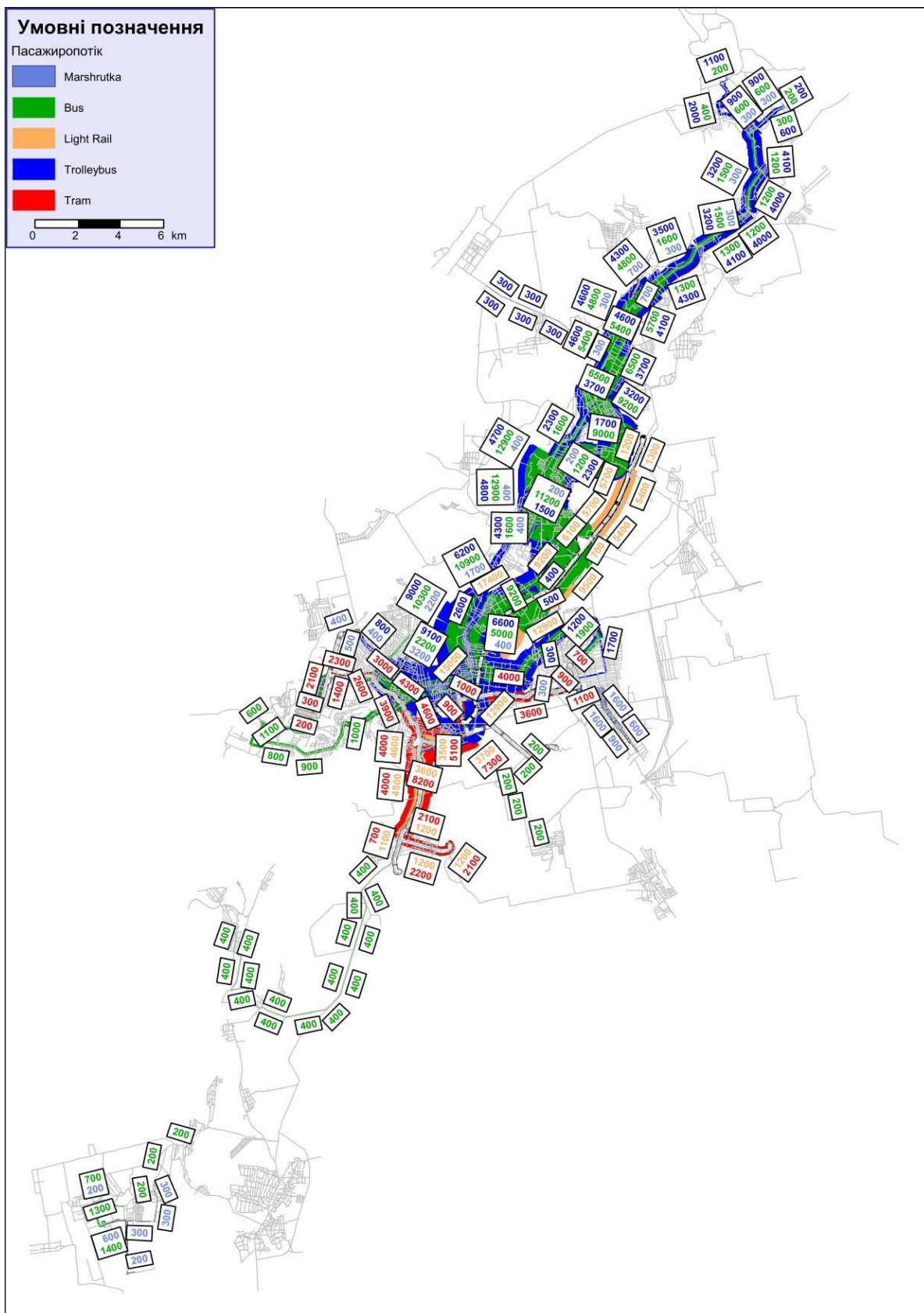


Рис.А.2. Результати розподілу за видами громадського транспорту (осіб/доба).

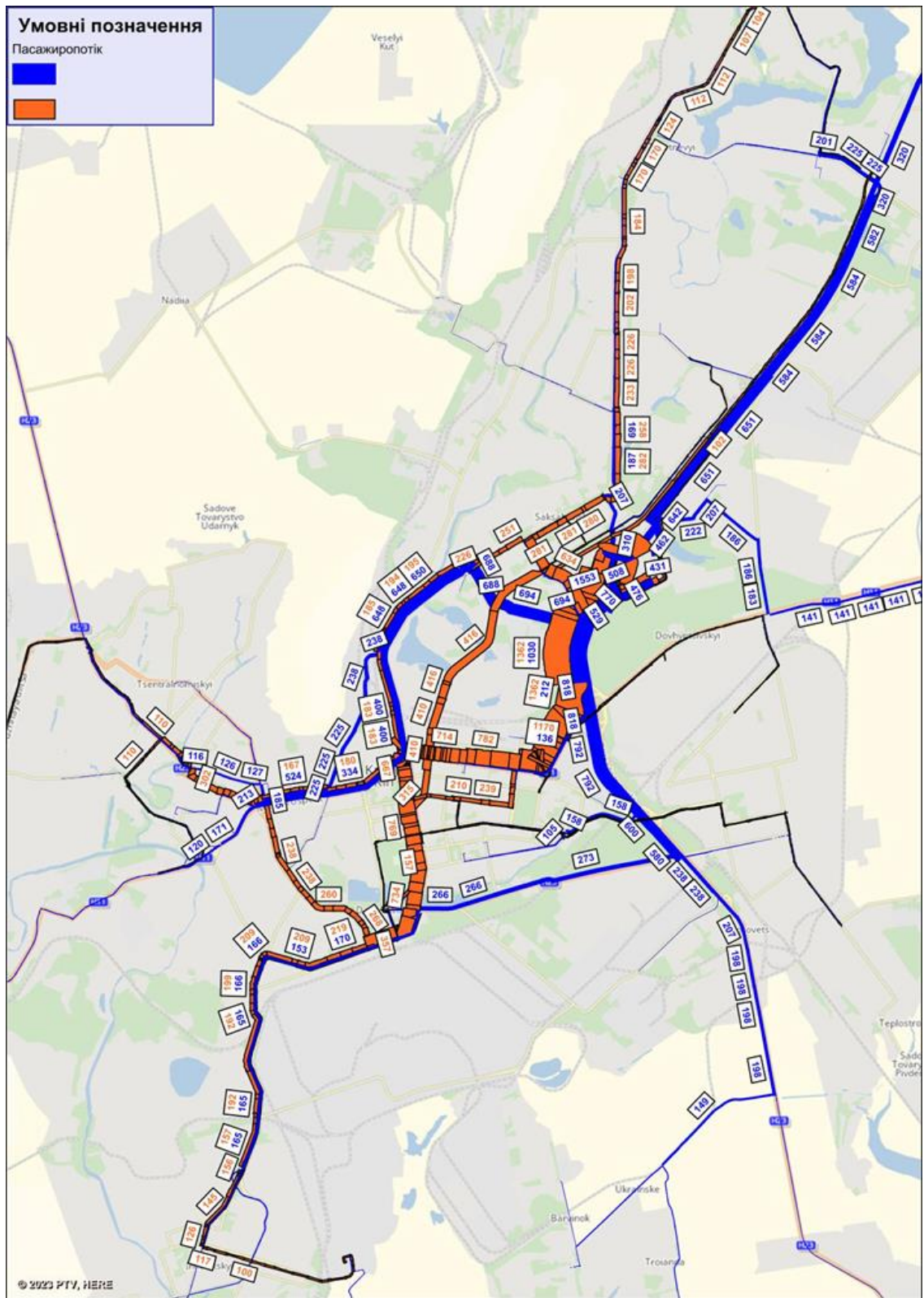


Рис.А.3. Картограма паспотоків індивідуального (синій колір) та громадського транспорту (оранжевий колір), що утворюються з мкрн. Східний-1



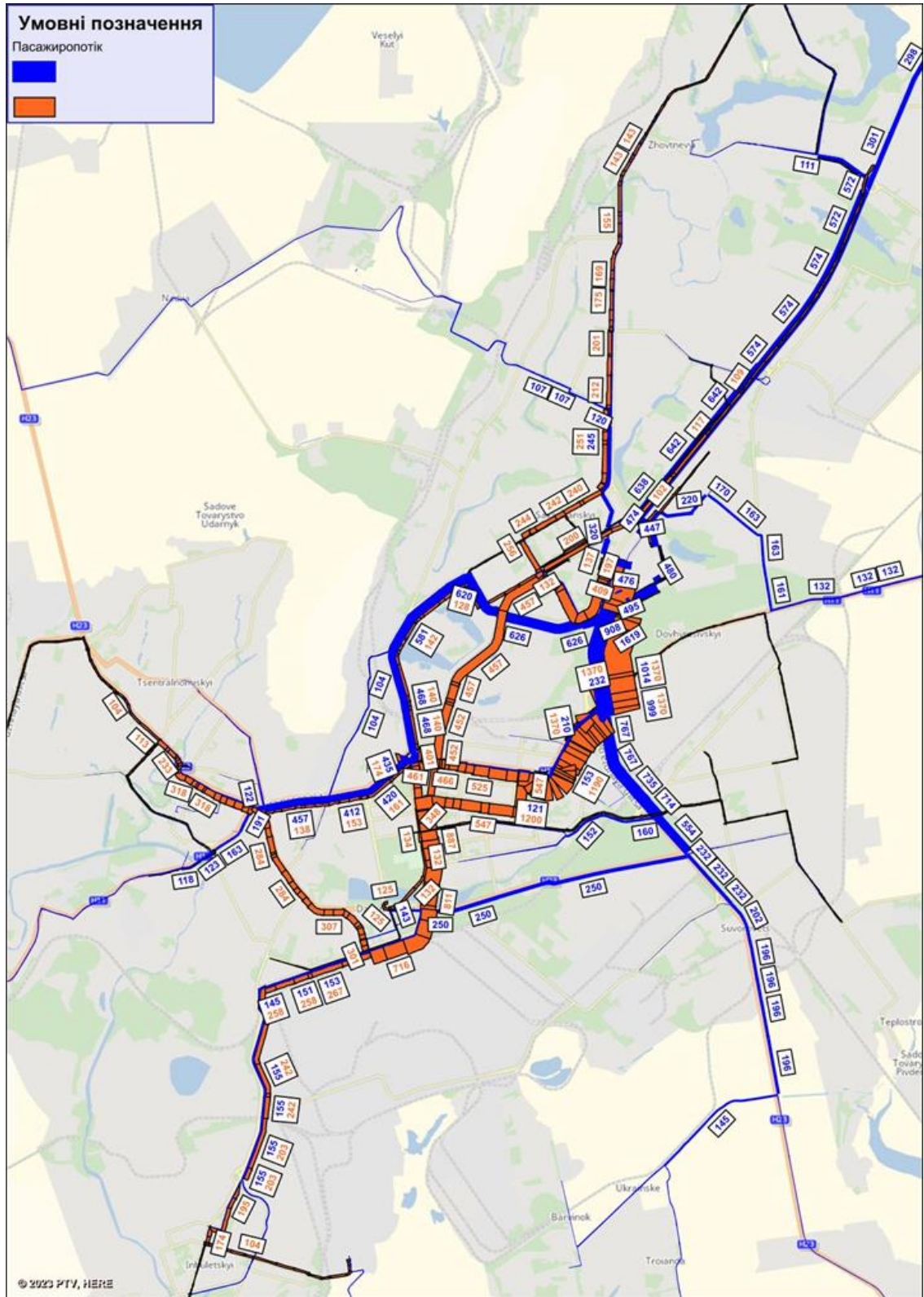


Рис.А.4. Картограма паспотоків індивідуального (синій колір) та громадського транспорту (оранжевий колір) із призначенням до мкрн. Східний-1

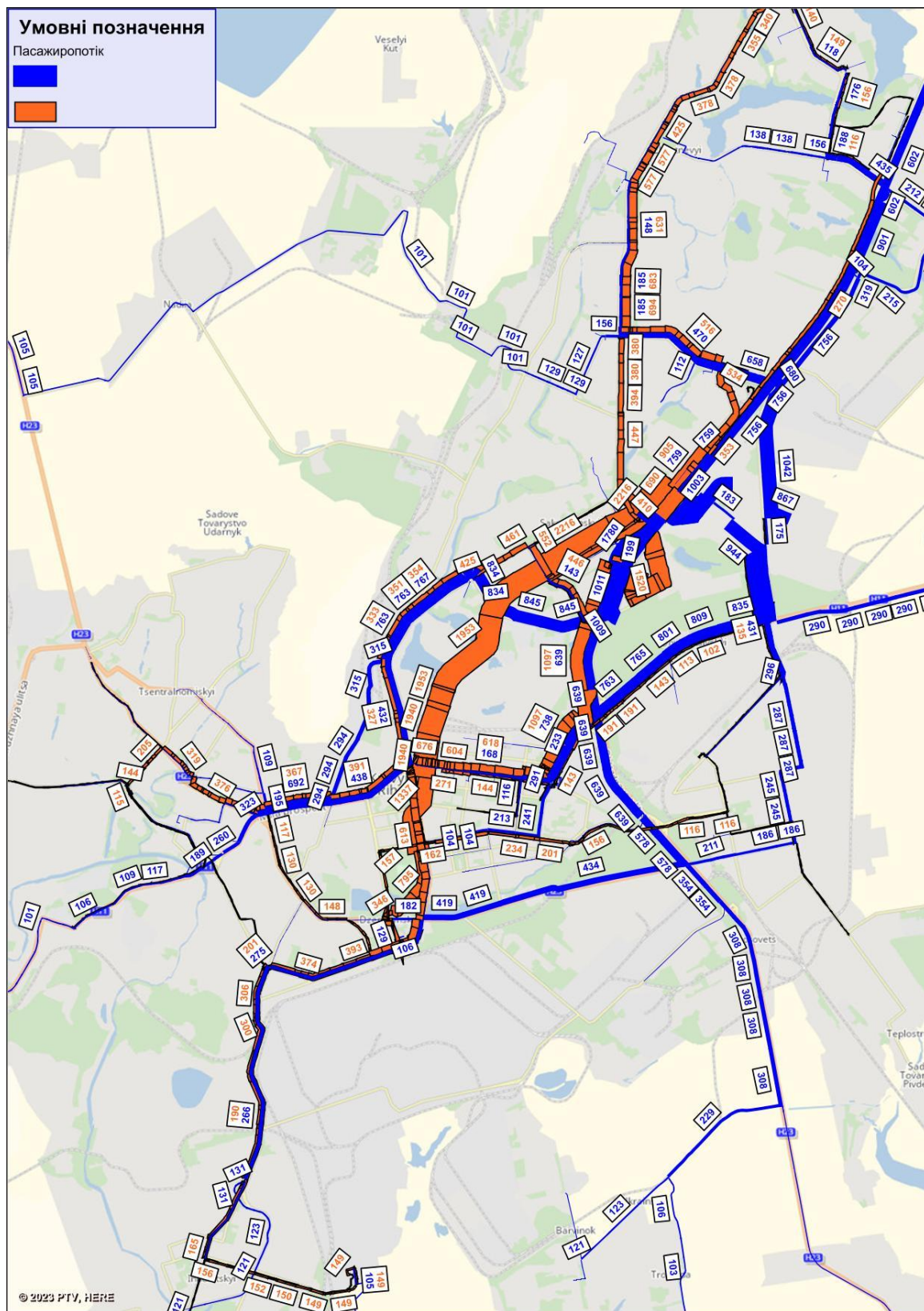


Рис.А.5. Картограма паспотоків індивідуального (синій колір) та громадського транспорту (оранжевий колір), що утворюються з мкрн. Східний-2,3.

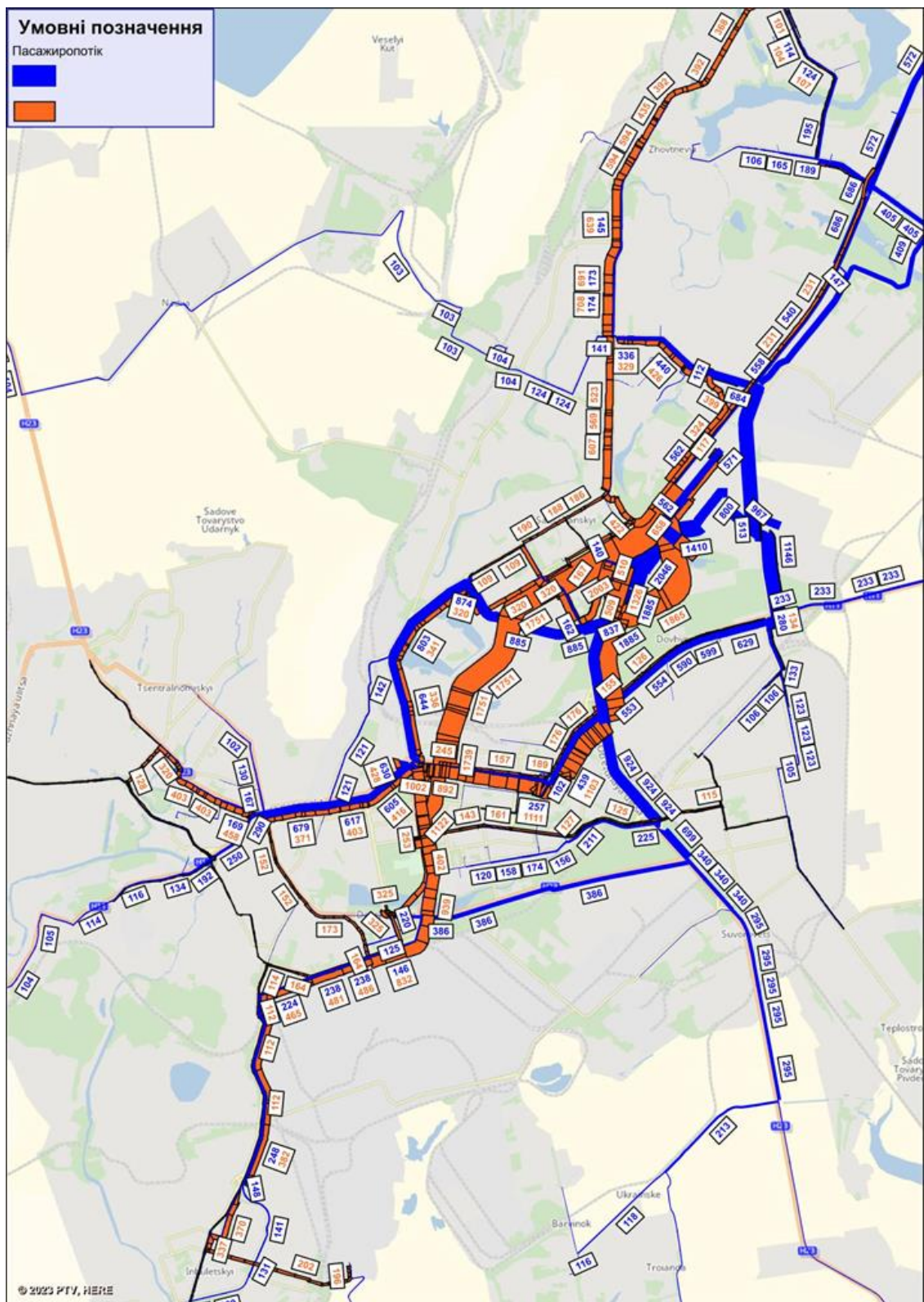


Рис.А.6. Картограма паспотоків індивідуального (синій колір) та громадського транспорту (оранжевий колір) із призначенням до мкрн. Східний-2,3.

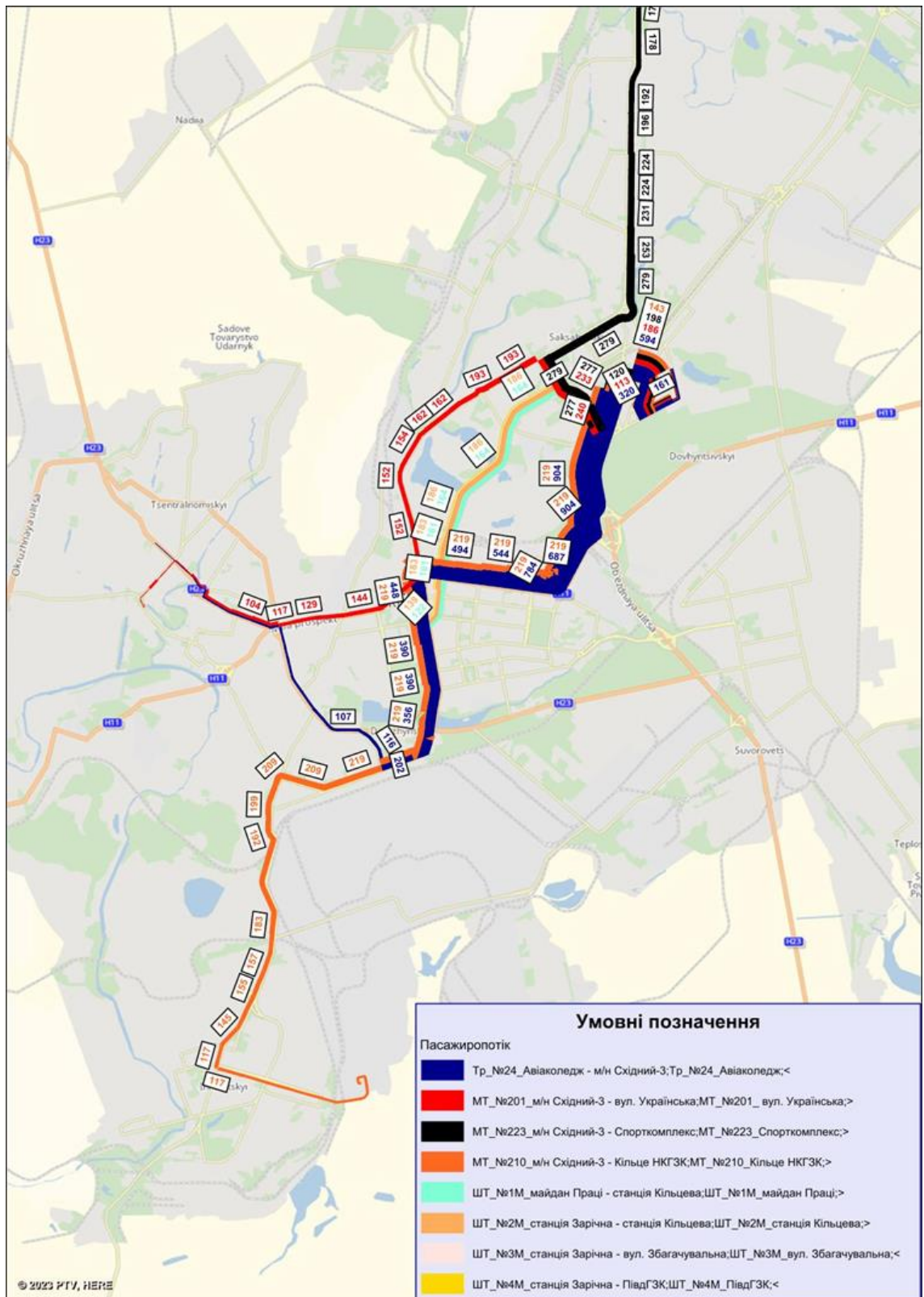


Рис.А.7. Картограма паспотоків по маршрутам режимів громадського транспорту із зародженням з мкрн. Східний-1

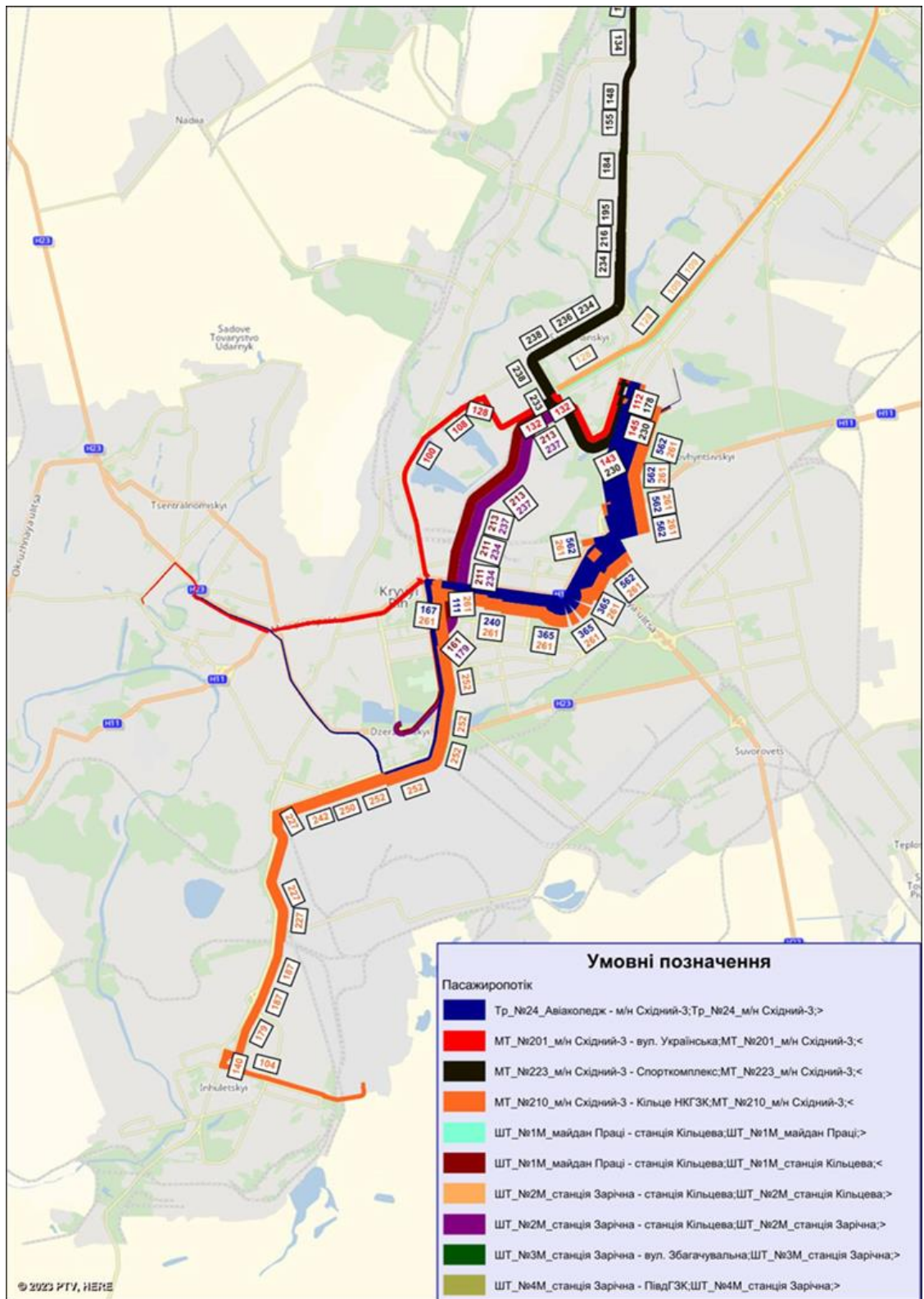


Рис.А.8. Картограма паспотоків по маршрутам режимів громадського транспорту з призначенням до мкрн. Східний-1.

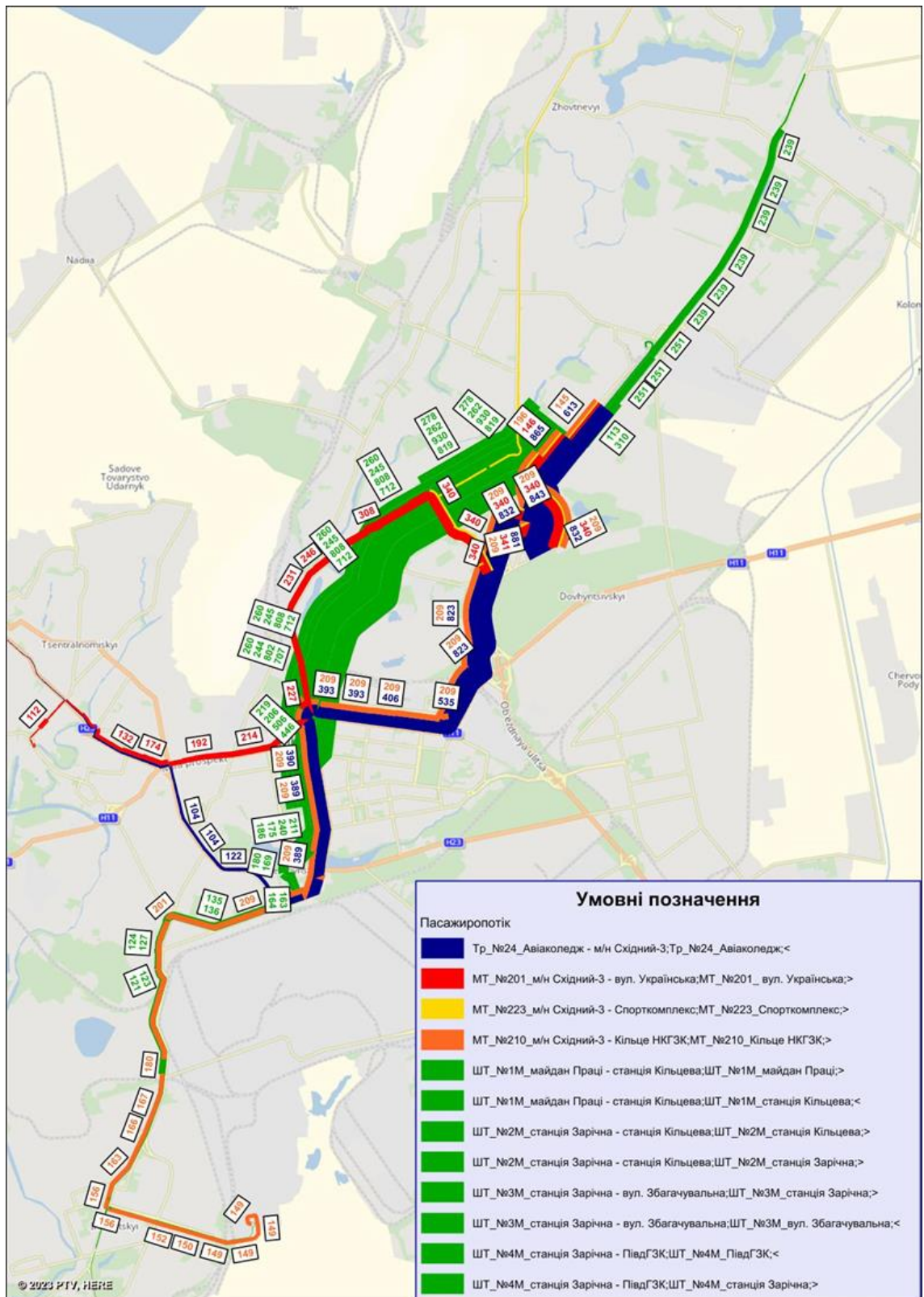


Рис.А.9. Картограма паспотоків по маршрутам режимів громадського транспорту із зародженням з мкрн. Східний-2,3.

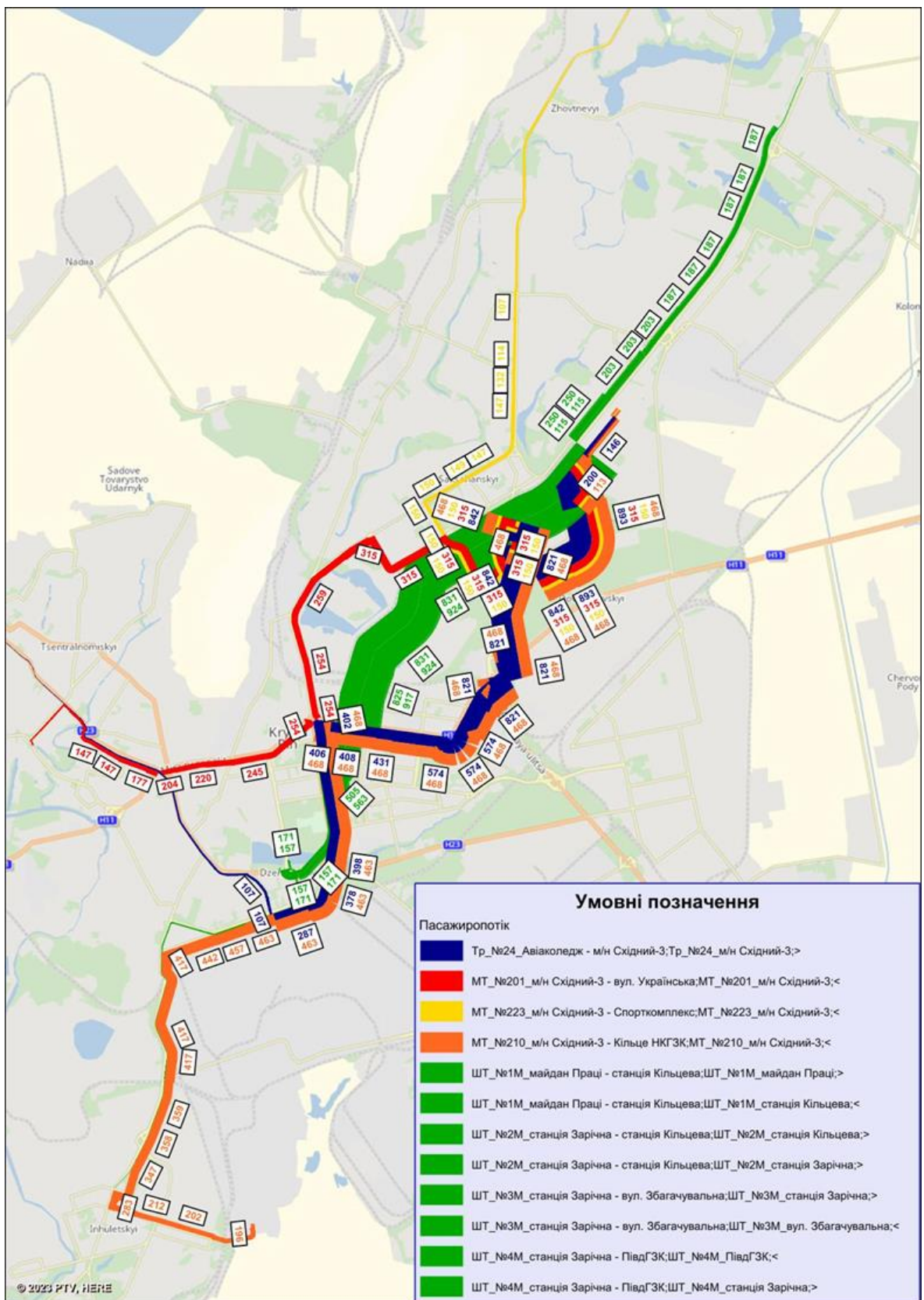


Рис.А.10. Картограма паспотоків по маршрутам режимів громадського транспорту із призначенням до мкрн. Східний-2,3.

## ДОДАТОК Б. РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ ПІСЛЯ ЗМІНИ ТРАНСПОРТНОЇ ПРОПОЗИЦІЇ НА ГРОМАДСЬКОМУ ТРАНСПОРТІ

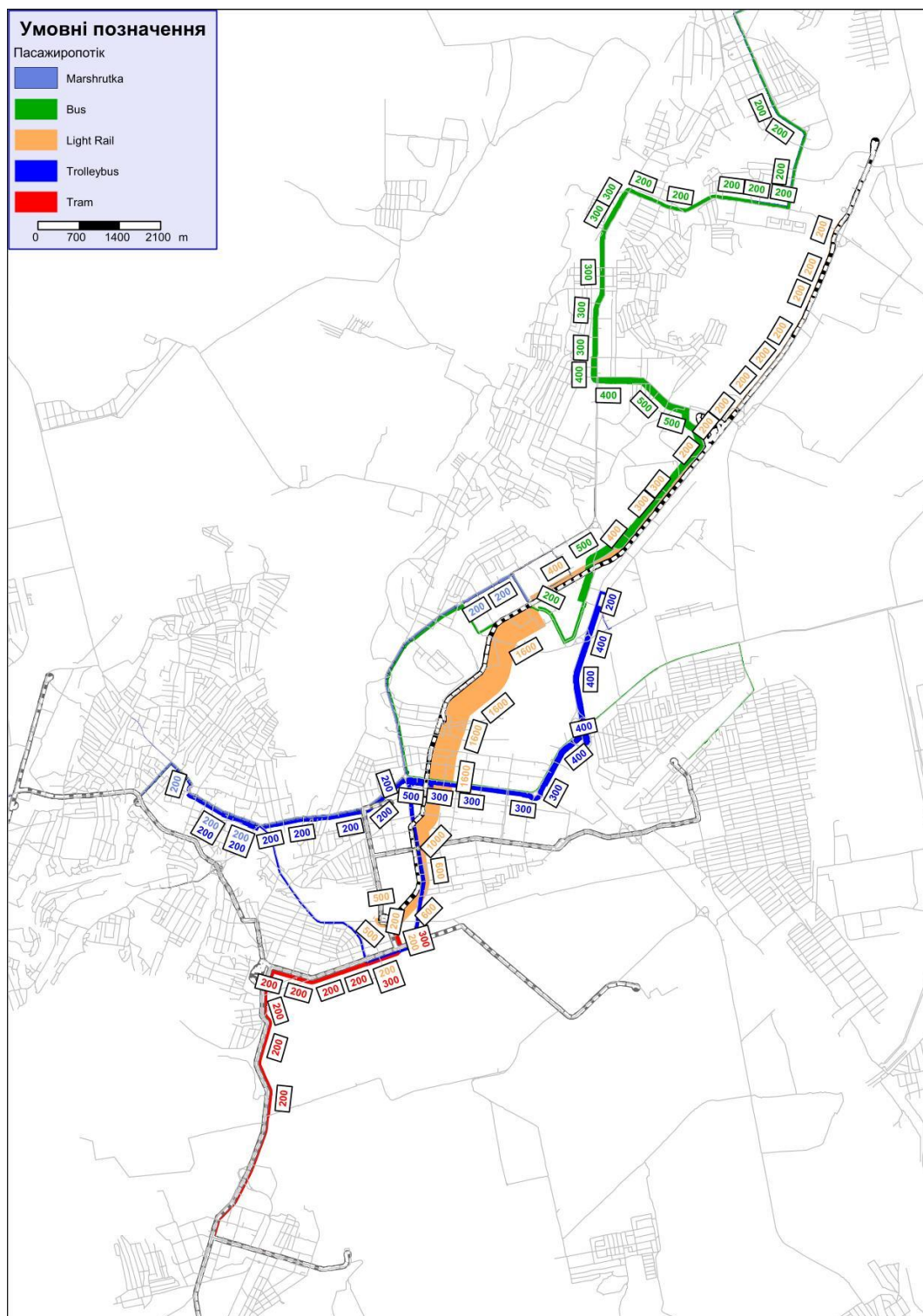


Рис.Б.1. Картограма паспотоків по маршрутам режимів громадського транспорту із призначенням до мкрн. Східний-1.



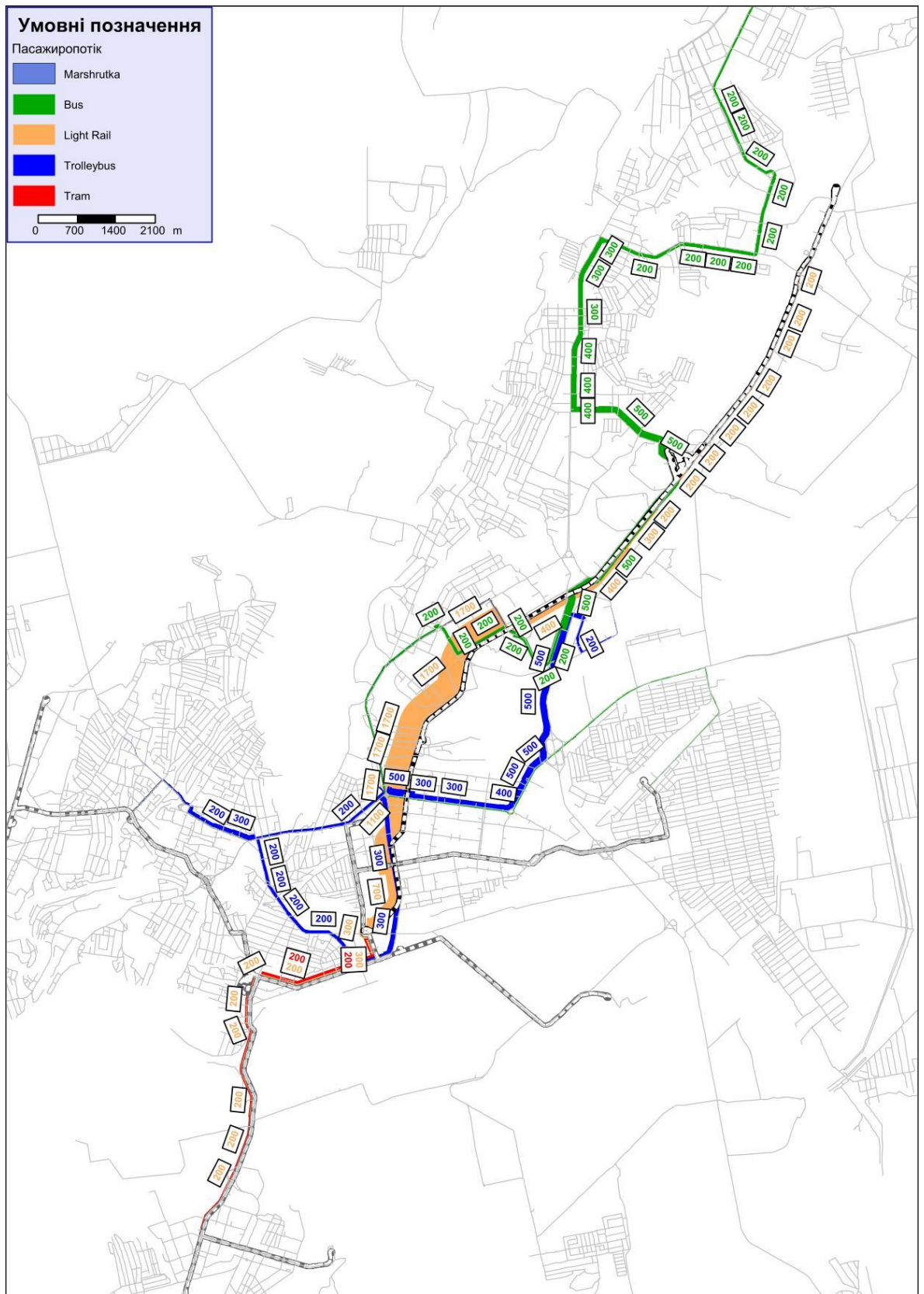


Рис.Б.2. Картограма паспотоків по маршрутам режимів громадського транспорту із зародженням з мкрн. Східний-1.

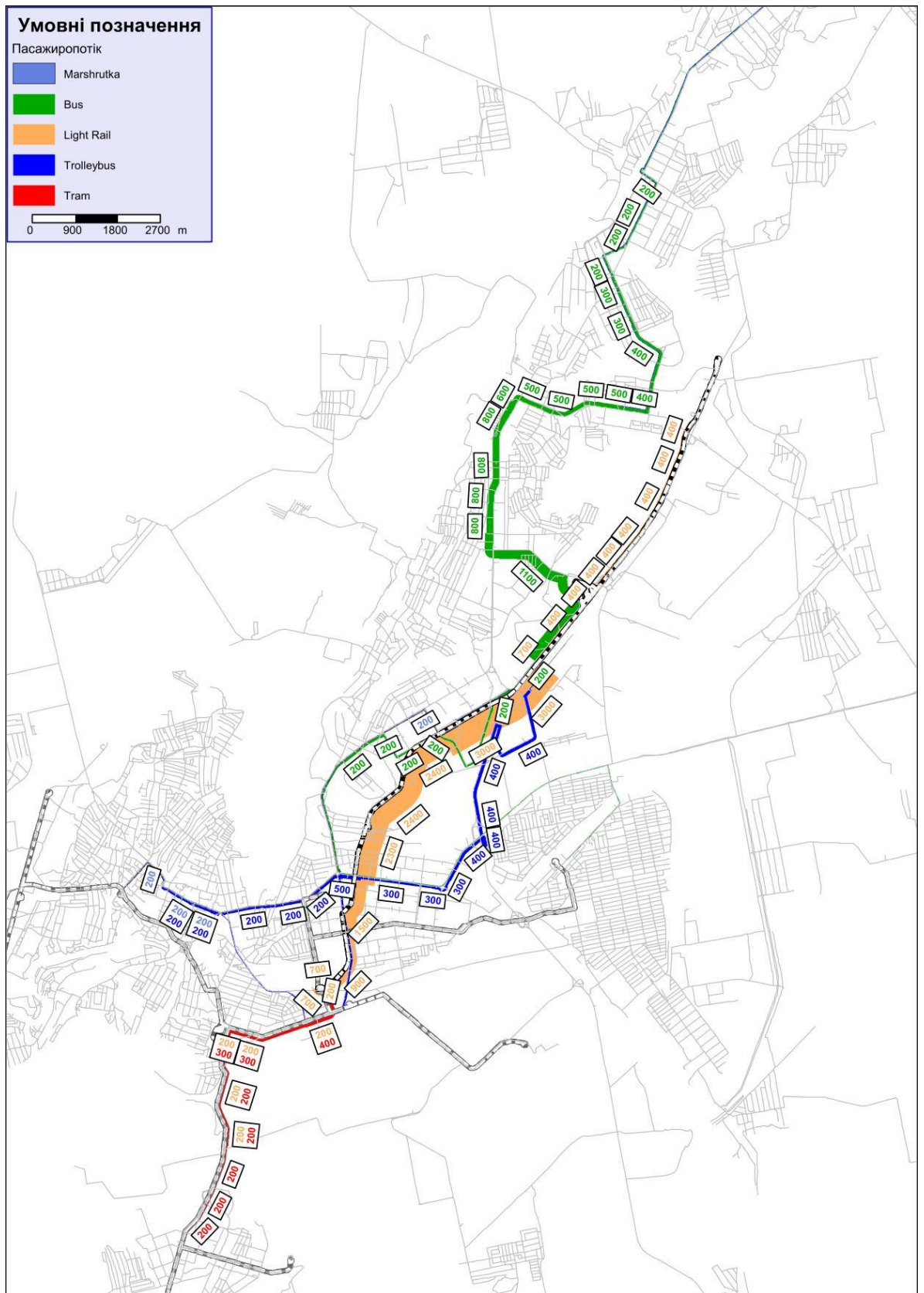


Рис.Б.3. Картограма паспотоків по маршрутам режимів громадського транспорту із призначенням до мкрн. Східний-2,3.

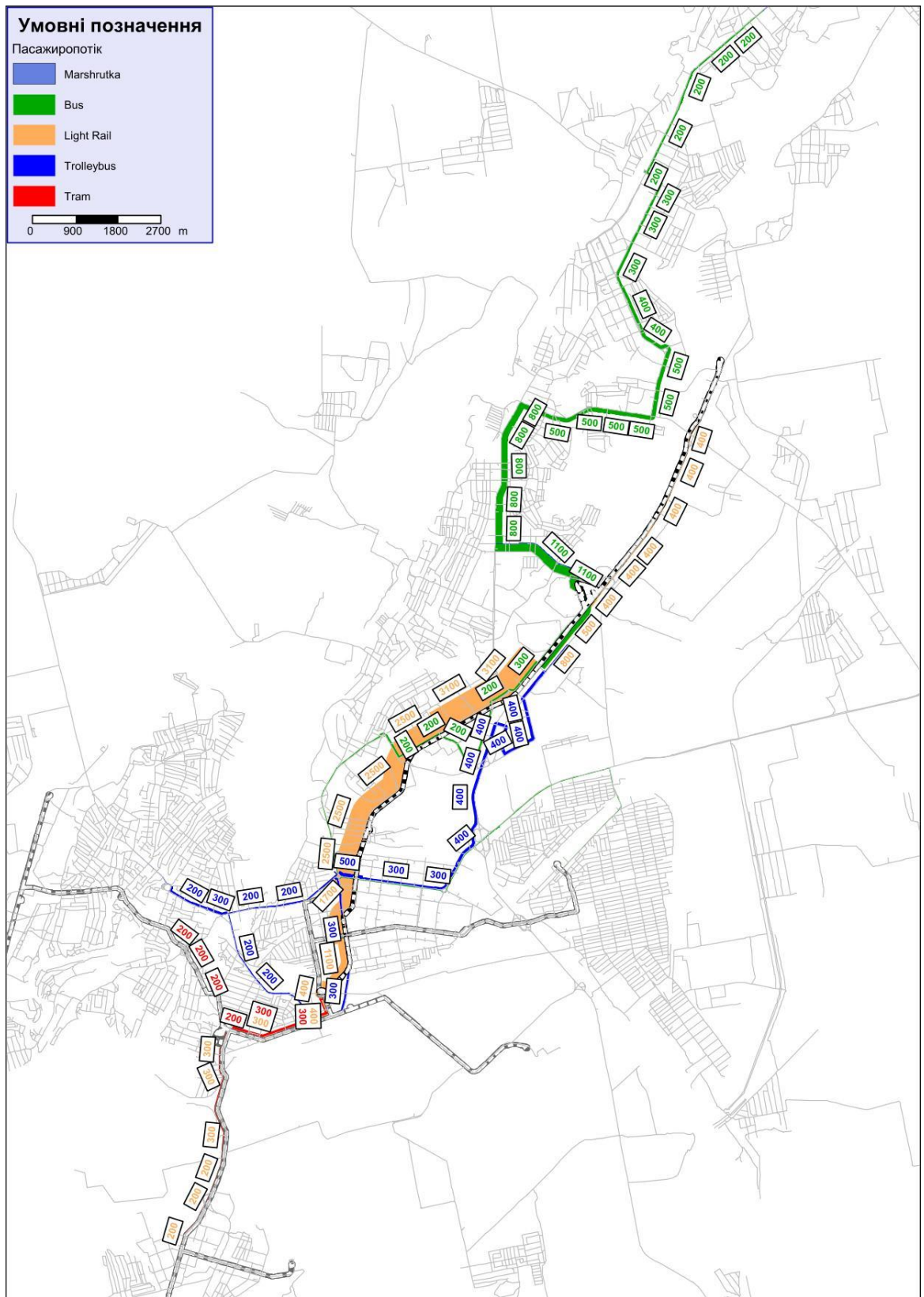


Рис.Б.4. Картограма паспотоків по маршрутам режимів громадського транспорту із зародженням з мкрн. Східний-2,3.