

Міністерство освіти і науки України
Луцький національний технічний університет
(своєю підпорядкованою системою вищої освіти)
Факультет архітектури, будівництва та дизайну
(своєю підпорядкованою факультету)
Кафедра будівництва та цивільної інженерії
(своєю підпорядкованою кафедрою)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»

Реконструкція перехрестя вулиць Дубнівська- Карпенка-Карого у м. Луцьк

спеціальність 192 Будівництво та цивільна інженерія
(шифр і назва спеціальності)

освітня програма «Будівництво та цивільна інженерія»
(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти
Групи БЦІ-42
Остапчук Соломія Миколаївна

(підпис)

Керівник: к.т.н., доцент
Верешко Олег Вікторович

(підпис)

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту
«11» червня 2025 р.
к.т.н., професор
Гарант освітньої програми:
АНДРІЙЧУК Олександр Валентинович

(підпис)

Луцьк – 2025 року

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет архітектури будівництва та дизайну

Кафедра будівництва та цивільної інженерії

Ступінь вищої освіти: бакалавр

Галузь знань: 19 Архітектура та будівництво

Спеціальність: 192 Будівництво та цивільна інженерія

Освітня програма: «Будівництво та цивільна інженерія»

Індивідуальна освітня траєкторія здобувача «Міське будівництво та господарство»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

О. УЖЕГОВА

« 31 » грудня 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Останчук Соломія Миколаївна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи

Реконструкція перехрестя вулиць Дубнівська-Карпенка-Карого у м. Луцьк із використанням транспортного моделювання

Керівник роботи: к.т.н., доцент Верешко Олег Вікторович

затверджені наказом закладу вищої освіти від «31» грудня 2024 р. № 489/01-02

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи « 1 » червня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи

Генеральний план, ситуаційна схема, існуюча схема організації дорожнього руху

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що потрібно розробити):

1. Аналіз існуючого стану досліджуваного перехрестя (характеристика досліджуваної руху; ділянки; планувальні та геометричні параметри перехрестя, інтенсивність дорожнього аналіз роботи світлофорного регулювання; безпека дорожнього руху; результати моделювання існуючого стану перехрестя); 2. Розробка проектних рішень (варіант-1 реконструкція перехрестя з організацією кільцевого руху; варіант-2 облаштування відокремлених смуг для правих поворотів та оптимізації світлофорного регулювання; варіант-3 перехрестя в двох рівнях); 3. Розрахунково-конструктивний(вихідні дані, основні принципи формування конструкції дорожнього одягу; прийнята конструкція дорожнього одягу; оцінка міцності та надійності конструкції)

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

Ситуаційна схема, опорний план, існуючий стан, топографічна зйомка, поперечні профілі, інтенсивність руху

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис	
		завдання видав	завдання прийняв
1. Аналіз існуючого стану досліджуваного перехрестя	доц. Верешко О. В.		
2. Розробка проектних рішень	доц. Мельник Ю. А.		
3. Розрахунково-конструктивний	доц. Ясюк І. М.		
4. Безпека життєдіяльності та охорона праці	доц. Верешко О. В.		

7. Дата видачі завдання « 31 » грудня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1	Збір вихідних даних та аналіз існуючого стану. Виконання розділу аналіз існуючого стану досліджуваного перехрестя.	05.05.20245	
2	Виконання розділу розробки проектних рішень та розділу розрахунково-конструктивного.	10.05.2025	
3	Виконання розділу безпека життєдіяльності та охорона праці	24.05.2025	
4	Подання виконаної випускної кваліфікаційної роботи на інструментальну перевірку щодо академічного плагіату	03.06.2025	
5	Подання виконаної випускної кваліфікаційної роботи на підпис завідувачу кафедри, направлення на рецензію	03.06.2025	
6	Подання виконаної кваліфікаційної роботи на підпис декану та відповідальному секретарю екзаменаційної комісії	03.06.2025	
7	Захист кваліфікаційної роботи	Графік роботи екзаменаційної комісії № 35: 23, 24 і 26 червня 2025 р.	

Здобувач вищої освіти

(підпис)

Остапчук С. М.

(прізвище, ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

(підпис)

Верешко, О. В.

(прізвище, ініціали)

АНОТАЦІЯ

Остапчук С. М. Реконструкція перехресть вулиць Дубнівська-Карпенка-Карого у м. Луцьк . Рукопис.

Кваліфікаційна робота бакалавра ОП «Будівництво та цивільна інженерія» спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2025.

Кваліфікаційна робота бакалавра складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел.

У роботі досліджено існуючий стан перехрестя, з вихідними даними для подальшого моделювання. Розроблено 3 варіанти реконструкції перехрестя. Розраховано та прийнято конструкцію дорожнього одягу.

Ключові слова: реконструкція, організація дорожнього руху, транспортне моделювання, автобусні маршрути, мікромоделювання, інтенсивність руху, пропускна здатність, безпека дорожнього руху, програмне забезпечення RTV Vissim, світлофорне регулювання.

ANNOTATION

Ostapchuk S. M. Reconstruction of the intersections of Dubnivska-Karpenka-Karyo streets in Lutsk. Manuscript.

Bachelor's qualification work of the OP "Construction and Civil Engineering" specialty 192 Construction and Civil Engineering. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2025.

Bachelor's qualification work consists of an introduction, four sections, conclusions, a list of sources used.

The work examines the existing state of the intersection, with initial data for further modeling. 3 options for the reconstruction of the intersection have been developed. The design of the road surface has been calculated and adopted.

Keywords: reconstruction, traffic organization, transport modeling, bus routes, micromodeling, traffic intensity, capacity, road safety, PTV Vissim software, traffic light regulation.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. Аналіз існуючого стану досліджуваного перехрестя	9
1.1 Характеристика досліджуваної ділянки	10
1.2 Планувальні та геометричні параметри перехрестя	13
1.3 Інтенсивність дорожнього руху	16
1.4 Аналіз роботи світлофорного регулювання	20
1.5 Безпека дорожнього руху	22
1.6 Результати моделювання існуючого стану перехрестя.....	23
РОЗДІЛ 2. Розробка проектних рішень	29
2.1. Варіант 1 – Реконструкція перехрестя з організацією кільцевого руху... 30	
2.2. Варіант 2 – Облаштування відокремлених смуг для правих поворотів та оптимізація світлофорного регулювання	37
2.3 Варіант 3 – Перехрестя в двох рівнях	41
2.4 Підсумки аналізу варіантів та обґрунтування оптимального рішення	46
РОЗДІЛ 3. Розрахунково-конструктивний	50
3.1 Вихідні дані для розрахунку	51
3.2 Основні принципи формування конструкції дорожнього одягу	52
3.3 Прийнята конструкція дорожнього одягу	52
3.4 Оцінка міцності та надійності конструкції.....	53
РОЗДІЛ 4. Безпека життєдіяльності та охорона праці	55
4.1 Загальні положення.....	56
4.2 Потенційні небезпеки під час реконструкції.....	56
4.3 Безпека дорожнього руху після реконструкції	56
4.4 Пожежна безпека та цивільний захист	57
4.5 Екологічна безпека.....	57
ВИСНОВКИ.....	58
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	60
ДОДАТКИ	62

ВСТУП

Сучасний розвиток міст супроводжується зростанням інтенсивності автомобільного руху, що зумовлює необхідність удосконалення транспортної інфраструктури. Однією з ключових проблем, що виникають у процесі експлуатації вулично-дорожньої мережі, є перевантаження перехресть, які стають осередками заторів, зниження пропускної здатності, підвищеного ризику дорожньо-транспортних пригод, а також джерелом значного забруднення навколишнього середовища. У зв'язку з цим виникає потреба в пошуку ефективних інженерних рішень для реконструкції існуючих вузлів з урахуванням сучасних вимог до безпеки та комфорту всіх учасників руху.

Одним із перспективних напрямів удосконалення перехресть є застосування методів транспортного моделювання, яке дозволяє ще на етапі проектування аналізувати різні варіанти організації руху, визначати «вузькі місця» в мережі та прогнозувати ефективність запропонованих змін. У цьому контексті особливої уваги заслуговує мікромоделювання транспортних потоків – підхід, що дозволяє моделювати поведінку окремих транспортних одиниць з високим рівнем точності.

Об'єктом дослідження даної роботи є транспортна інфраструктура міста Луцьк, а саме перехрестя вулиць Дубнівська та Карпенка-Карого, яке є важливим елементом дорожньої мережі міста. Цей транспортний вузол характеризується високою інтенсивністю руху, наявністю конфліктних точок, обмеженою пропускною здатністю та складними умовами організації руху, що зумовлює необхідність його реконструкції.

Предметом дослідження є процеси організації та управління рухом транспорту на перехресті в умовах мікромоделювання з використанням спеціалізованого програмного забезпечення.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка ефективного варіанту реконструкції перехрестя вулиць Дубнівська – Карпенка-Карого в місті Луцьк на основі аналізу існуючої ситуації та моделювання варіантів удосконалення за допомогою програмного комплексу PTV Vissim.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Проаналізувати сучасний стан транспортної інфраструктури на досліджуваному перехресті.
2. Зібрати та систематизувати дані щодо інтенсивності руху, геометричних параметрів та організації дорожнього руху.
3. Побудувати мікромодель перехрестя у середовищі PTV Vissim, що відповідає реальним умовам.
4. Виконати моделювання існуючого стану та визначити його недоліки.
5. Розробити кілька варіантів реконструкції перехрестя з урахуванням нормативних вимог та сучасних принципів організації дорожнього руху.
6. Провести порівняльний аналіз ефективності запропонованих рішень на основі результатів моделювання.
7. Надати рекомендації щодо впровадження оптимального варіанту реконструкції.

Під час дослідження були використані наступні методи: методи польових досліджень (визначення інтенсивності руху), аналітичні методи (опрацювання нормативної та технічної документації), графічні методи (виконання креслень та схем), а також метод комп'ютерного мікромодельювання транспортних потоків із застосуванням програмного забезпечення PTV Vissim, яке дозволяє детально моделювати різні сценарії організації руху, враховуючи поведінку окремих водіїв, характеристики транспортних засобів і дорожньої інфраструктури.

Актуальність теми зумовлена необхідністю підвищення ефективності функціонування дорожньої мережі міста Луцьк, зменшення заторів та аварійності, підвищення безпеки всіх учасників дорожнього руху. Використання транспортного моделювання при реконструкції перехресть дозволяє не лише зекономити кошти на реалізацію проєктних рішень, а й забезпечити науково обґрунтований підхід до планування міської інфраструктури.

РОЗДІЛ 1

Аналіз існуючого стану досліджуваного перехрестя

Раціональне функціонування перехресть є невід'ємною складовою безперебійного та безпечного руху в межах міських транспортних систем. Однією з ключових передумов для прийняття обґрунтованих рішень щодо реконструкції вулично-дорожньої мережі є детальний аналіз існуючого стану конкретної ділянки. У цьому розділі розглядається перехрестя вулиць Дубнівська та Карпенка-Карого у місті Луцьку, яке відіграє важливу роль у розподілі транспортних потоків у північно-західній частині міста.

Метою даного етапу дослідження є комплексна оцінка транспортно-експлуатаційного стану перехрестя, виявлення його недоліків, визначення інтенсивності руху, рівня безпеки та існуючих проблем у функціонуванні. На основі проведеного аналізу буде сформовано вихідні дані для подальшого моделювання та обґрунтування доцільних заходів з реконструкції.

1.1 Характеристика досліджуваної ділянки

Об'єктом дослідження є перехрестя, розташоване в північно-західному секторі міста Луцька, у місці зустрічі трьох вулиць Дубнівської, Карпенка-Карого та Трункіна, що зображено на рис. 1.1, рис. 1.2. Це транспортне вузлове з'єднання виконує важливу функцію як для міжрайонного сполучення, так і для під'їзду до житлової забудови прилеглих кварталів.

ЛУЦЬК
ВОЛИНЬСЬКОЇ ОБЛАСТІ

ГЕНЕРАЛЬНИЙ ПЛАН
ПЛАН СУЧАСНОГО ВИКОРИСТАННЯ
ТЕРИТОРІЇ (ОПОРНИЙ ПЛАН)
НАСІЛЕННЯ 1:5000

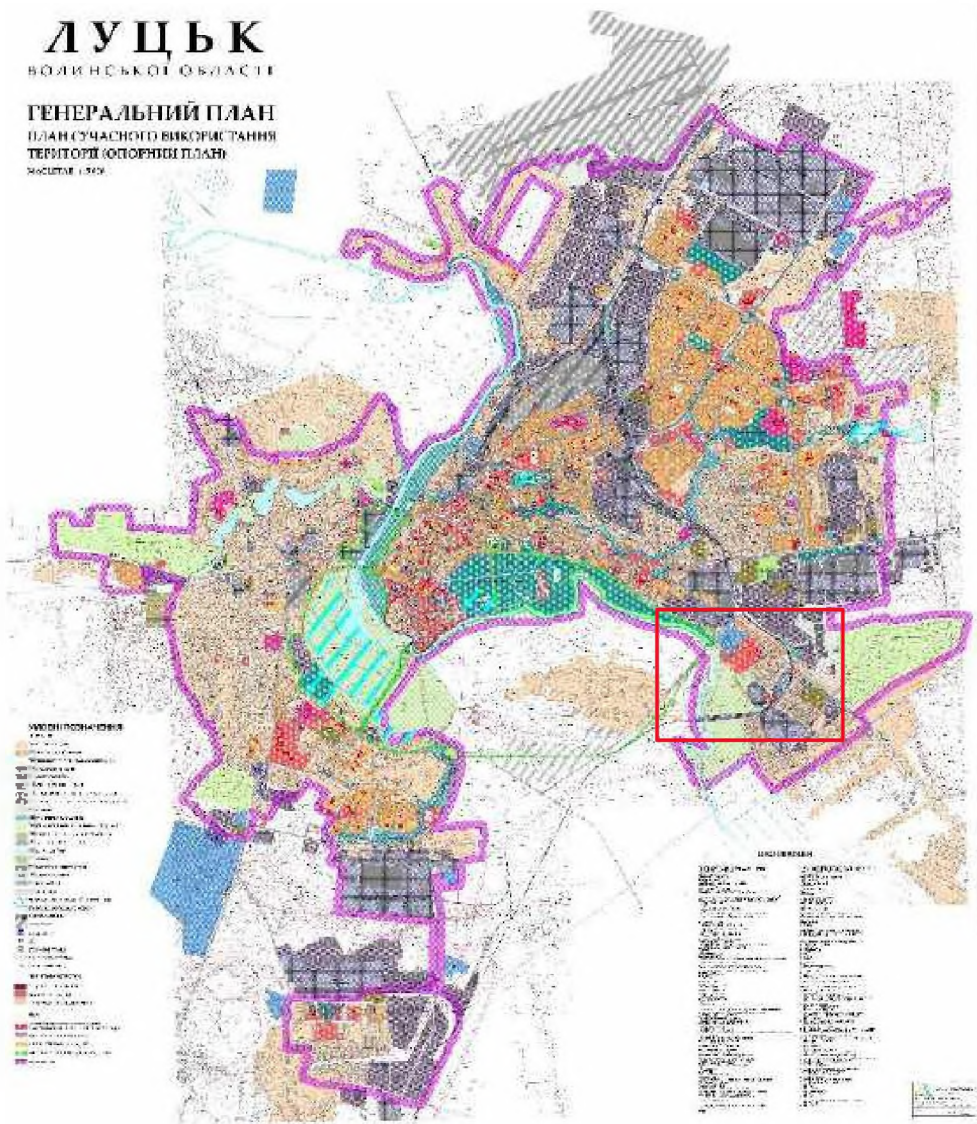


Рис. 1.1. Генеральний план міста

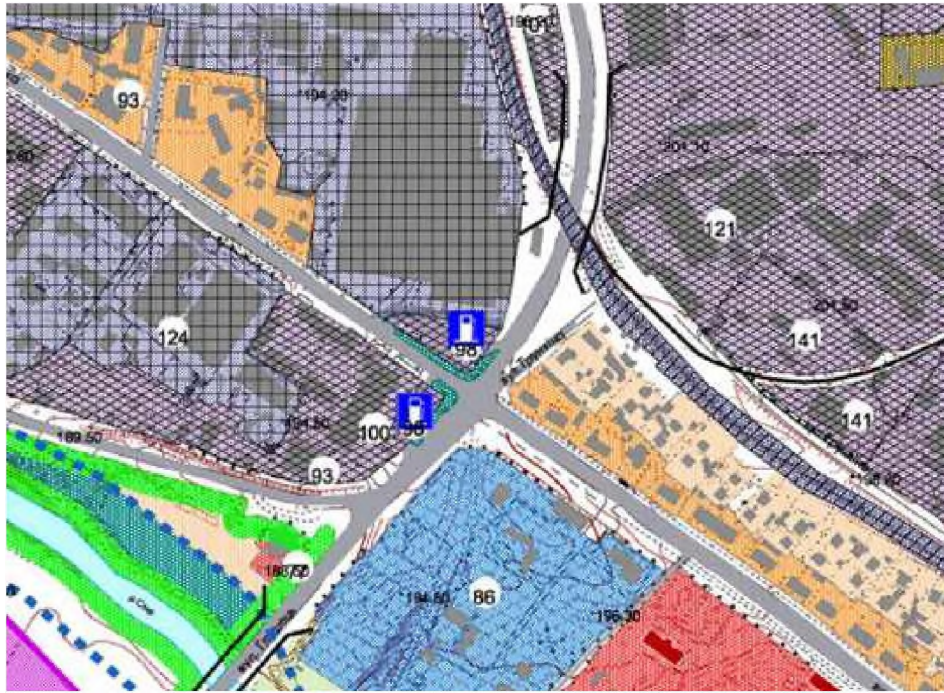


Рис. 1.2. Вибір вузла

Вулиця Дубнівська – одна з головних артерій міста, що формує магістральний напрямок руху у західному напрямі та забезпечує вихід на автодорогу державного значення Н22 Луцьк – Володимир – Устилуг. Інтенсивність руху тут є стабільно високою, з домінуванням транзитного, громадського та частково вантажного транспорту.

Вулиця Карпенка-Карого, що примикає до Дубнівської під прямим кутом, слугує для локального розподілу транспортних потоків та доступу до житлових масивів. Її роль – зв’язкова, з переважанням легкового транспорту.

Ще одне примикання формує вулиця Трунка, яка має місцеве значення та обслуговує незначну частину приватного сектору.

Конфігурація перехрестя асиметрична, що ускладнює організацію руху, особливо у пікові години. Регулювання здійснюється за допомогою світлофорного об’єкта. Головна вісь руху проходить по вулиці Дубнівській, яка приймає на себе основне транспортне навантаження.

Згідно з класифікацією вулично-дорожньої мережі, Дубнівська належить до магістралей загальноміського значення, Карпенка-Карого – до вулиць районного значення, а Трунка – до вулиць місцевого значення.

У контексті транспортної структури Луцька досліджуване перехрестя виконує важливу роль, забезпечуючи сполучення між центральною частиною міста та його північно-західними районами, а також транзит за межі міста. Така функціональна навантаженість зумовлює актуальність його детального аналізу та пошуку ефективних інженерних рішень. [1,2]

1.2 Планувальні та геометричні параметри перехрестя

Перехрестя вулиць Дубнівська, Карпенка-Карого, Трунка є регульованим та утворює складну, асиметричну конфігурацію. Основна вісь перехрестя проходить по вулиці Дубнівській, яка має категорію магістральної вулиці загальноміського значення.

Вулиця Дубнівська 1

Поперечний профіль демонструє організацію руху в межах ділянки з чотирма смугами, включно з виділеними напрямками для поворотів, зображено на рис. 1.3. [1,2,3]



Рис. 1.3. Поперечний профіль вулиці Дубнівська 1

Вулиця Дубнівська 2

Профіль відображає ділянку з трьома смугами рис. 1.4, вказуючи напрямки кожної смуги руху. Організація простору враховує потреби усіх учасників дорожнього руху, зокрема пішоходів, з елементами благоустрою та освітлення. [1,2,3]



Рис. 1.4. Поперечний профіль вулиці Дубнівська 2

Вулиця Карпенка-Карого 4

Профіль відображає ділянку з розширеною проїзною частиною рис. 1.5, що включає 4 смуги руху в одному напрямку та 2 в іншому, з урахуванням напрямків для поворотів. [1,2,3]



Рис. 1.5. Поперечний профіль вулиці Карпенка-Карого 4

Вулиця Карпенка-Карого 5

Дана ділянка має по дві смуги руху в кожному напрямку, можемо спостерігати на рис. 1.6. Тротуари є відсутні на даній ділянці. [1,2,3]



Рис. 1.6. Поперечний профіль вулиці Карпенка-Карого 5

Вулиця Трункіна

Вулиця має одну смугу руху в одному напрямку і одну в іншому та обладнана лише одним тротуаром, що показано на рис. 1.7. Така організація

простору характерна для вулиць місцевого значення з невисоким рівнем транспортного навантаження. [1,2,3]



Рис. 1.7. Поперечний профіль вулиці Трункіна

1.3 Інтенсивність дорожнього руху

Для оцінки ефективності функціонування перехрестя було проведено натурне обстеження руху транспортних засобів у години пік. Основною метою спостереження є отримання достовірної інформації щодо розподілу транспортних потоків по напрямках, визначення максимальної інтенсивності руху, виявлення місць затору, а також аналіз роботи світлофорного регулювання.

Дослідження виконувалися шляхом безпосереднього перебування на об'єкті в години найбільшого навантаження – з 08:00 до 09:00 у ранковий пік, а також за допомогою відеофіксації з подальшим аналізом даних у спокійних умовах. Такий підхід дозволив уточнити кількість транспортних засобів за

кожним напрямком руху (прямо, ліворуч, праворуч), оцінити пропускну здатність під'їздів до перехрестя та ефективність поточної організації руху.

На основі отриманих даних були узагальнені транспортні потоки з кожного підходу до перехрестя. Найвища інтенсивність руху була зафіксована на вулиці Карпенка-Карого (підхід 4) – 1060 ТЗ/год, що свідчить про значне навантаження на цей напрямок. Значна кількість транспорту також спостерігається на вулиці Дубнівській з боку підходу 1 – 952 ТЗ/год, що підтверджує важливість цієї вулиці як одного з головних напрямків руху.

Найменше транспортне навантаження було зафіксоване з боку вулиці Трункіна – лише 40 ТЗ/год, що свідчить про її другорядну роль у схемі розподілу транспортних потоків. [4]

Інтенсивність транспортних потоків на підходах до перехрестя за результатами годин пік показано на рис. 1.8:

- вул. Дубнівська 1 – 952 ТЗ/год
- вул. Дубнівська 2 – 508 ТЗ/год
- вул. Карпенка-Карого 4 – 1060 ТЗ/год
- вул. карпенка-Карого 5 – 868 ТЗ/год
- вул. Трункіна – 40 ТЗ/год
- вул. Глушець – 340 ТЗ/год

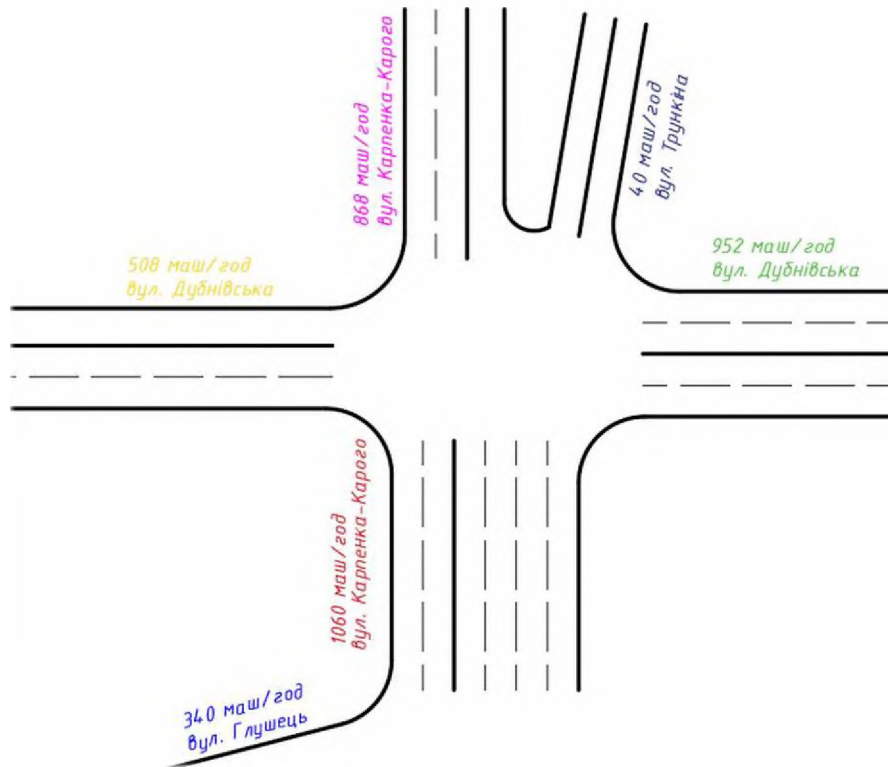


Рис.1.8. Схема напрямків транспортних потоків на перехресті вулиць Дубнівська – Карпенка-Карого

Кількість транспортних засобів за кожним напрямком руху, показано на рис.1.9, рис.1.10, рис.1.11, рис.1.12.

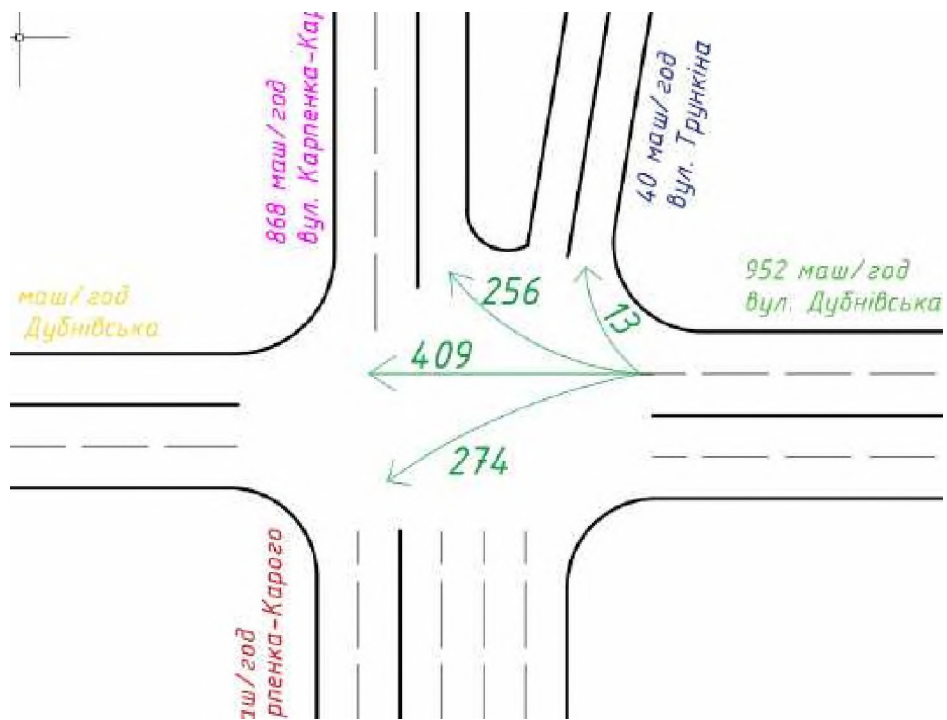


Рис. 1.9. Схема напрямків руху з вулиці Дубнівська 1

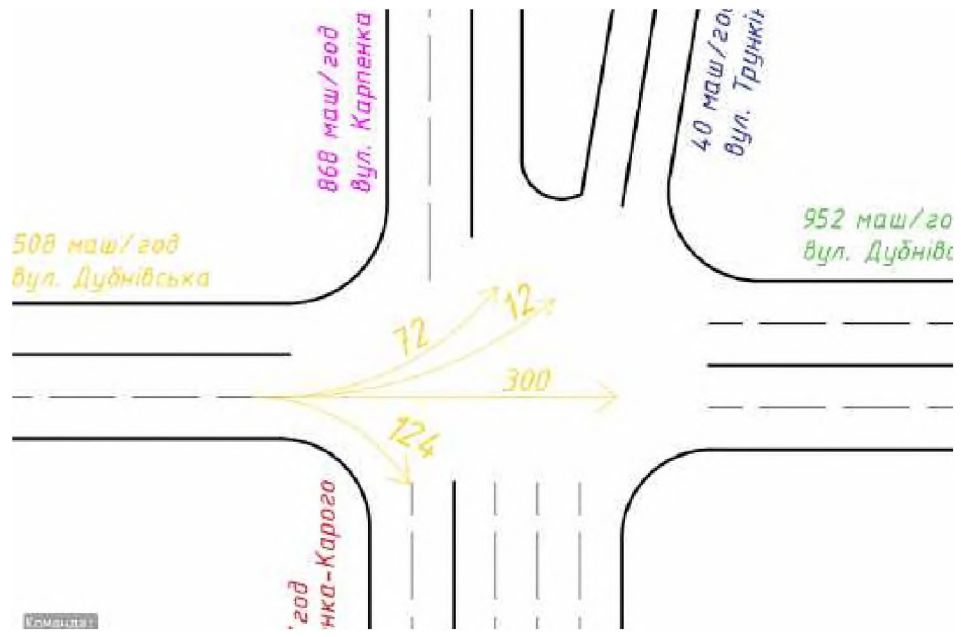


Рис. 1.10. Схема напрямків руху з вулиці Дубнівська 2

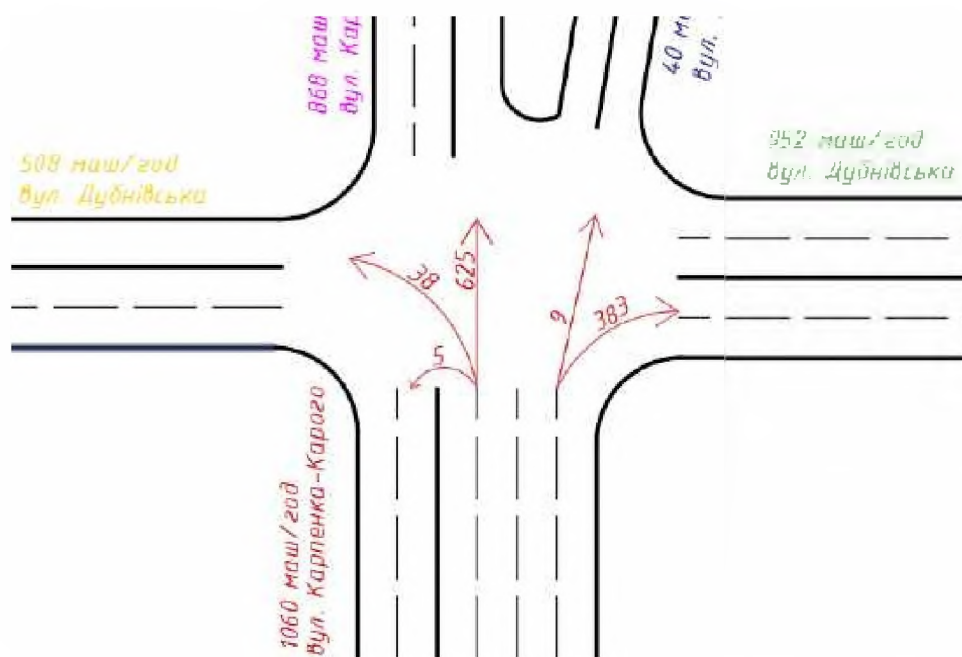


Рис. 1.11. Схема напрямків руху з вулиці Карпенка-Карого 4

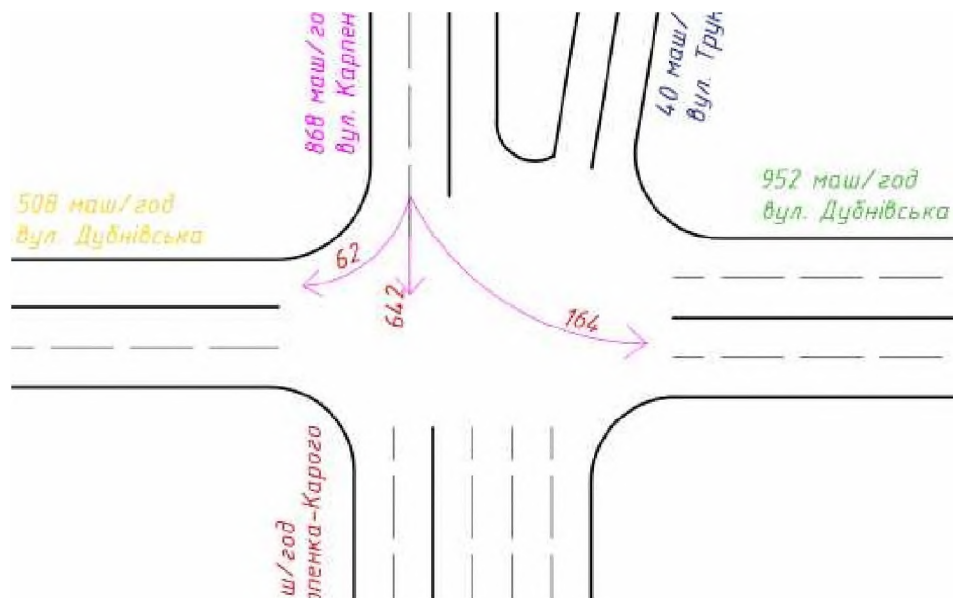


Рис. 1.12. Схема напрямків руху з вулиці Карпенка-Карого 5

1.4 Аналіз роботи світлофорного регулювання

Для забезпечення ефективної організації дорожнього руху на досліджуваному перехресті було здійснено аналіз роботи світлофорного регулювання з урахуванням параметрів діючих сигнальних програм. Зокрема, досліджено фазування, тривалість зелених, жовтих і червоних сигналів для кожної групи напрямків руху, а також черговість їх увімкнення в межах одного циклу.

На основі схем фазових діаграм, що вказано на рис.1.13, рис 1.14, рис. 1.15 були визначені часові інтервали, відведені для кожної групи сигналів: транспортних (вул. Дубнівська 1, Дубнівська 2, Карпенка-Карого 4, Карпенка-Карого 5, Трунка) та пішохідних переходів. Подальший аналіз дозволяє оцінити, наскільки ефективно використовуються зелені фази з урахуванням фактичної інтенсивності руху, а також визначити фази, які потребують коригування задля покращення пропускної здатності перехрестя. [5]

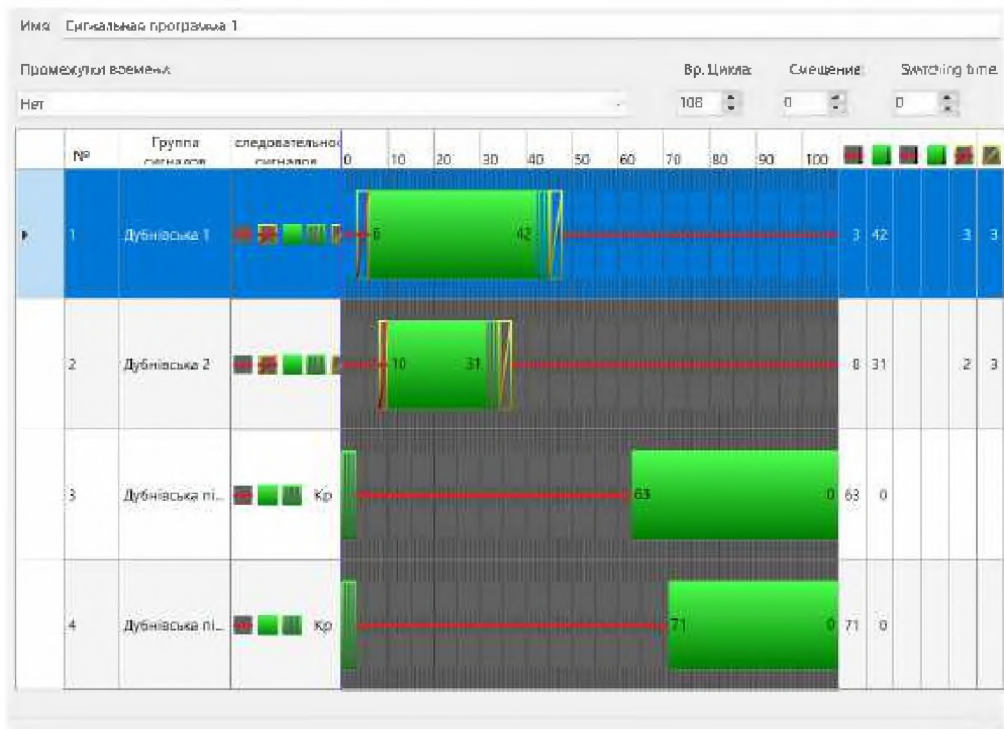


Рис. 1.13. Група сигналів на вулиці Дубнівська 1,2

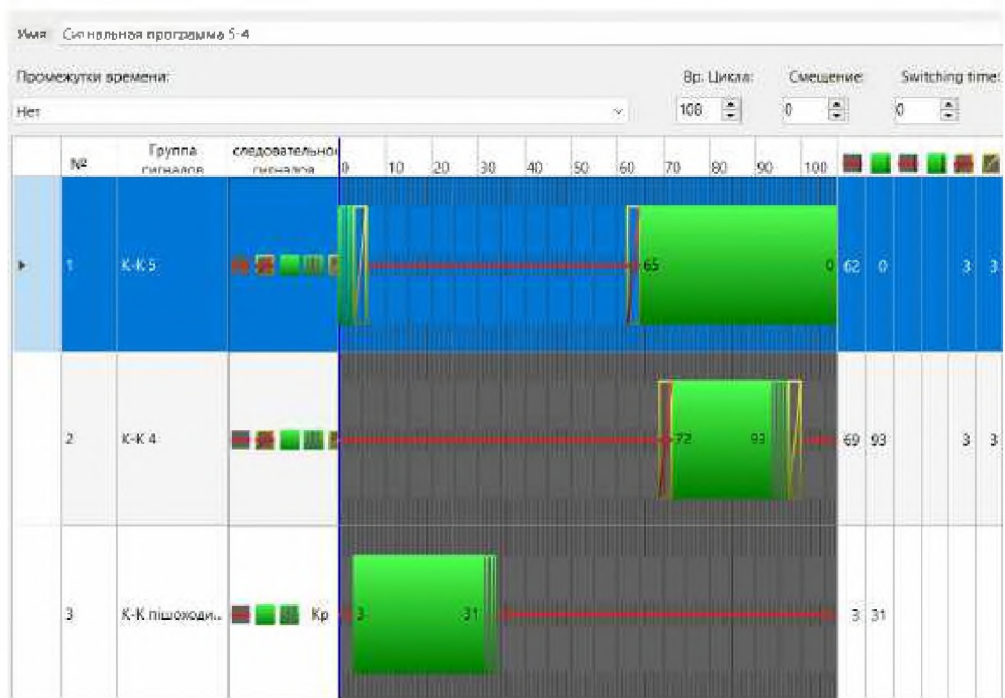


Рис. 1.14. Група сигналів на вулиці Карпенка-карого 4,5

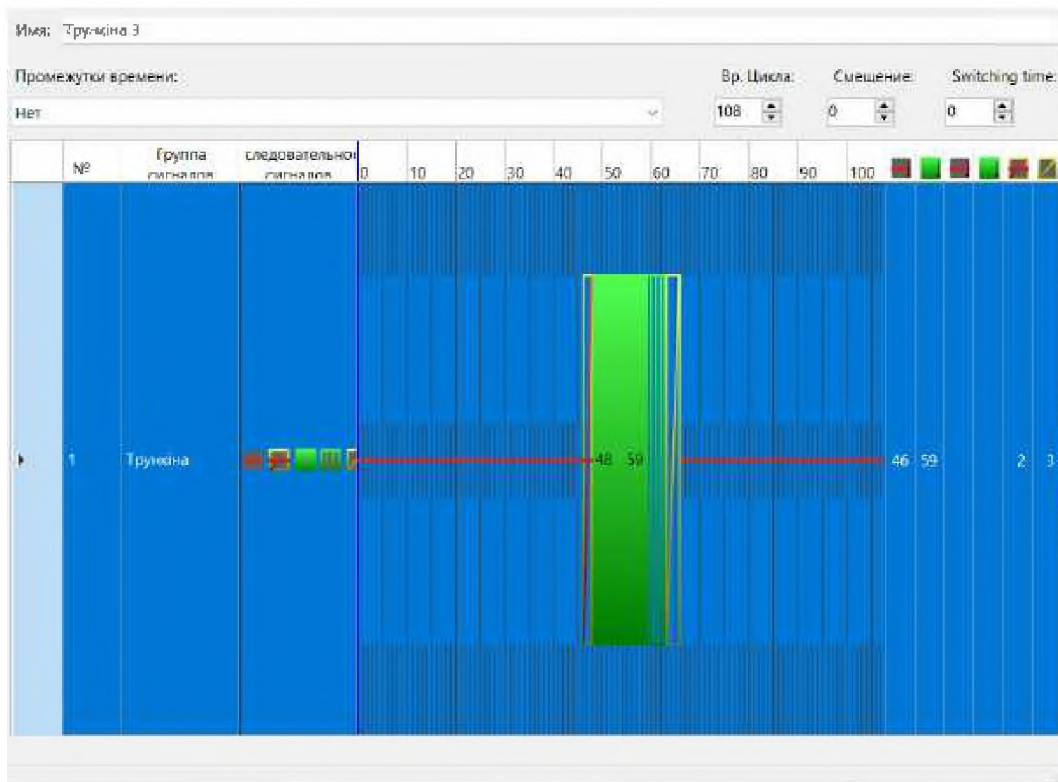


Рис. 1.15. Група сигналів на вулиці Трункіна

1.5 Безпека дорожнього руху

Перехрестя вулиць Дубнівської-Карпенка-Карого в Луцьку є місцем підвищеної аварійності, про що свідчать численні дорожньо-транспортні пригоди, які зафіксовані в цьому районі протягом останніх років.

Основними факторами, що сприяють підвищеній аварійності на цьому перехресті, є:

-велика інтенсивність транспортних потоків у поєднанні з недостатньою пропускною здатністю існуючої інфраструктури: у години пік через перехрестя проходить значна кількість транспортних засобів із різних напрямків – як з основних магістралей (вул. Дубнівська, вул. Карпенка-Карого), так і з другорядних вулиць (вул. Трункіна, вул. Глушець). Це призводить до перевантаження окремих підходів до перехрестя, формування заторів, порушення черговості проїзду та збільшення кількості конфліктних точок. Коли інтенсивність потоку перевищує фактичну пропускну здатність смуг чи фаз світлофорного регулювання, транспортні засоби не встигають

проїхати перехрестя в межах одного циклу, виникає ефект "хвоста", який тягнеться на попередні вулиці. Водії, намагаючись не втратити час, нерідко виїжджають на перехрестя на жовтий чи навіть червоний сигнал, чим створюють небезпечні ситуації як для інших учасників руху, так і для пішоходів.

- перевищення швидкості: водії часто не дотримуються встановлених обмежень швидкості, що призводить до втрати контролю над транспортними засобами.
- порушення правил проїзду перехресть: недотримання черговості проїзду та ігнорування сигналів світлофора сприяють виникненню аварійних ситуацій.
- недостатня видимість та освітлення: у нічний час обмежена видимість може ускладнювати орієнтацію водіїв на перехресті. [8,9,10]

Для зменшення аварійності в умовах високої інтенсивності руху доцільно:

- збільшити кількість смуг для окремих напрямків руху, особливо для поворотів ліворуч та праворуч;
- переглянути параметри світлофорного циклу відповідно до результатів транспортного моделювання;
- забезпечити фізичне розділення транспортних потоків, які перетинаються;
- реалізувати реконструкцію геометрії перехрестя з метою підвищення пропускної здатності.

1.6 Результати моделювання існуючого стану перехрестя

Для об'єктивної та кількісної оцінки функціонування досліджуваного перехрестя в існуючих умовах, на основі зібраних під час натурних обстежень даних про інтенсивність та розподіл транспортних потоків було проведено транспортне моделювання, схема та візуалізація існуючого стану показана на рис. 1.16, рис. 1.17, рис.1.18. Застосування спеціалізованого програмного

забезпечення дозволило відтворити реалістичну модель руху та симулювати поведінку транспортних потоків у години пік. [6,7]

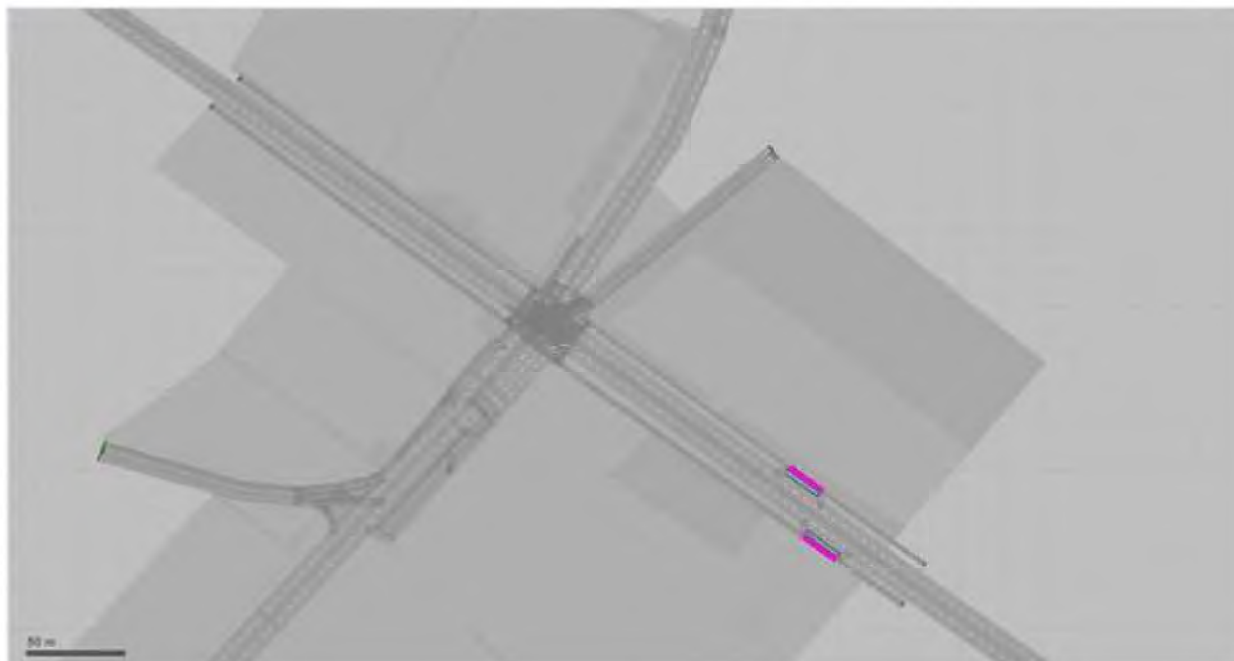


Рис. 1.16. Модель існуючого стану 2Д



Рис. 1.17. Візуалізація існуючого стану



Рис. 1.18. Візуалізація існуючого стану

На основі проведеного моделювання, для детального візуального аналізу ефективності існуючої організації руху, нижче представлено картограми середньої швидкості, щільності транспортного потоку та часу затримки.

Оцінка середньої швидкості руху (існуючий стан) зображена на рис. 1.19.



Рис. 1.19. Картограма середньої швидкості існуючого стану

На картограмі середньої швидкості (рис. 1.19) чітко видно, що переважна більшість ділянок перехрестя та підходів до нього забарвлені у жовті та помаранчеві кольори. Це є прямим візуальним підтвердженням значних заторів та вкрай низької пропускної здатності транспортного вузла в існуючому стані.

Аналіз рис. 1.20: оцінка щільності транспортного потоку (існуючий стан)

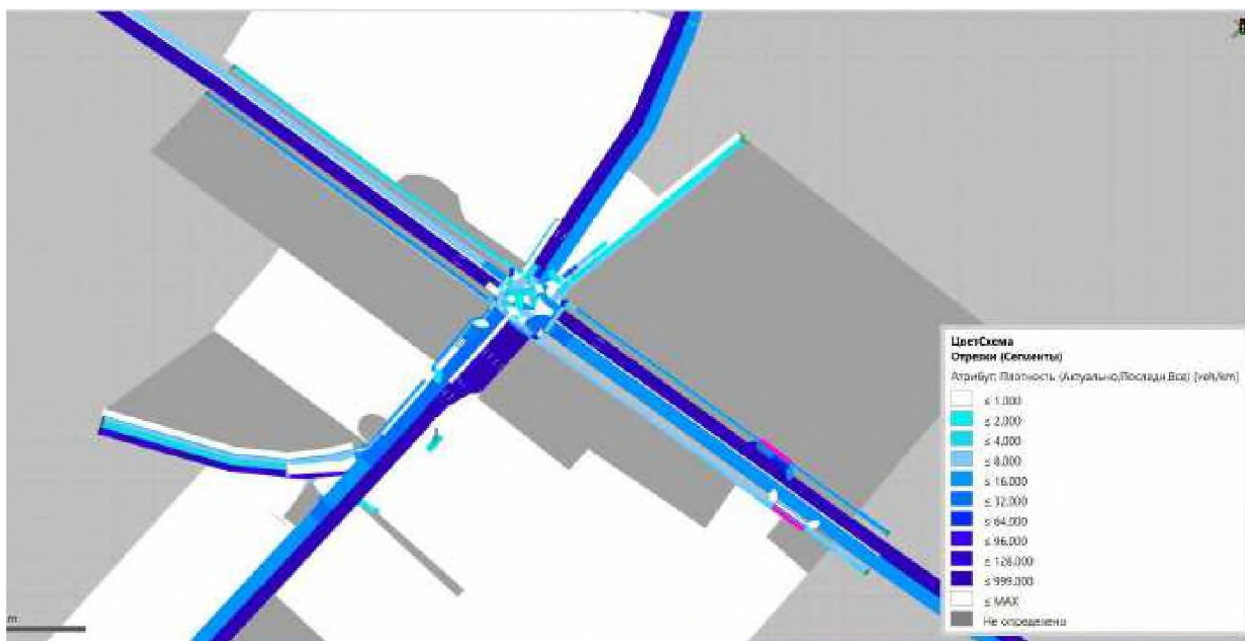


Рис. 1.20 Картограма щільності існуючого стану

На картограмі щільності транспортного потоку чітко видно зони з надзвичайно високою концентрацією транспортних засобів, особливо в центральній частині перехрестя та на безпосередніх підходах до нього. Ці ділянки забарвлені у темно-сині кольори (від ≤ 32.000 до ≤ 999.000 veh/km). Такий розподіл щільності однозначно свідчить про формування стабільних та значних заторів, де автомобілі стоять у чергах або рухаються з мінімальною швидкістю. Велика кількість сегментів, що відповідають високим показникам щільності, підтверджує, що пропускна здатність існуючого перехрестя значно нижча за фактичну інтенсивність руху, що призводить до постійного скупчення транспортних засобів.

Аналіз рис. 1.21: оцінка часу затримки (існуючий стан)

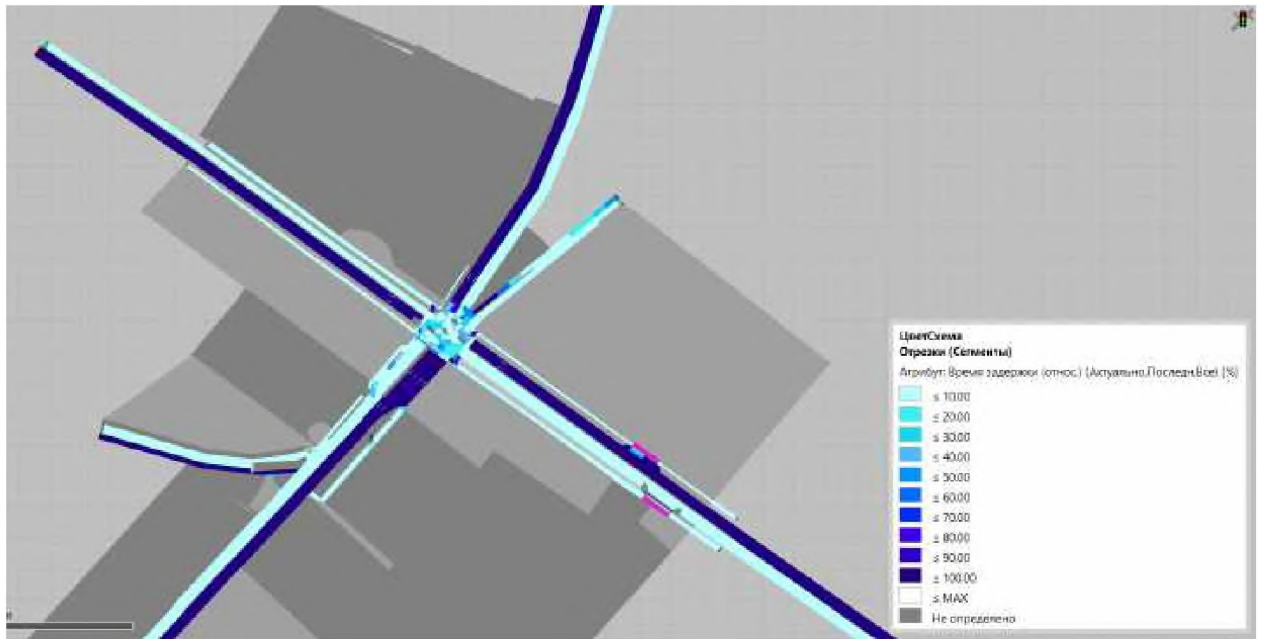


Рис. 1.21. Картограма часу затримки існуючого стану

На картограмі відносного часу затримки спостерігаються широкі зони темно-синього кольору (від $\leq 70\%$ до $\leq 100\%$ і більше), що охоплюють більшу частину перехрестя та всі його основні підходи. Це вказує на катастрофічно високий відносний час затримки, що означає, що транспортні засоби проводять більшу частину свого часу на перехресті в очікуванні або русі з дуже низькою швидкістю. Такі високі відсотки затримки прямо корелюють з числовими даними, де середній час затримки сягав 274,35 с. Подібна ситуація створює значний дискомфорт для водіїв, збільшує час у дорозі та свідчить про глибоку кризу пропускнуої здатності на даному транспортному вузлі.

За результатами проведеного моделювання, існуючий стан перехрестя характеризується такими основними показниками ефективності:

- середній час затримки: 274,35 с
- середній час простою: 202,11 с
- середня швидкість: 11,15 км/год
- середнє число зупинок: 9,44
- кількість ТЗ/год: 2705 шт.

Підсумовуючи дані аналізу перехрестя вулиць Дубнівської-Карпенка-Карого в Луцьку має низку суттєвих проблем, що знижують ефективність його функціонування та безпеку дорожнього руху. Основними з них є: висока інтенсивність транспортних потоків у поєднанні з недостатньою пропускнуою здатністю, часті порушення правил проїзду. Ці чинники спричиняють затори, конфліктні ситуації та підвищений рівень аварійності, що зумовлює необхідність реконструкції ділянки з урахуванням сучасних вимог транспортного планування.

РОЗДІЛ 2
Розробка проектних рішень

З метою покращення пропускнуої здатності та підвищення рівня безпеки дорожнього руху на перехресті вулиць Дубнівська – Карпенка-Карого в місті Луцьк у даному розділі розглядаються варіанти його реконструкції на основі результатів транспортного моделювання в середовищі PTV Vissim. На основі виявлених проблемних аспектів функціонування перехрестя було запропоновано три альтернативні варіанти проектних рішень: організація кільцевого руху, облаштування відокремлених смуг для правих поворотів із коригуванням режиму світлофорного регулювання, а також варіант дворівневої розв'язки типу «конюшина». Кожен із варіантів буде проаналізовано з точки зору ефективності, безпеки та доцільності впровадження в реальних умовах. Для об'єктивного порівняння та оцінки кожного варіанту використовувалися такі ключові критерії: середня швидкість руху транспортних засобів, середній час затримки, а також щільність транспортного потоку. Ці показники дозволяють всебічно оцінити ефективність функціонування кожної із запропонованих схем організації руху та обґрунтувати доцільність їхнього впровадження.

2.1. Варіант 1 – Реконструкція перехрестя з організацією кільцевого руху

Першим із запропонованих варіантів реконструкції перехрестя вулиць Дубнівська – Карпенка-Карого є впровадження кільцевого руху. Такий тип розв'язки забезпечує безперервний рух транспортних засобів по кільцю, де пріоритет надається тим, хто вже знаходиться на ньому, також було додано додаткову смугу по вулиці Дубнівська 2. Це дозволяє значно зменшити кількість конфліктних точок, підвищити безпеку руху та зменшити середній час затримки транспорту.

Кільцеві розв'язки вирізняються високим рівнем безпеки, оскільки знижують швидкість руху на в'їзді до перехрестя і, відповідно, ймовірність виникнення ДТП. До того ж вони не потребують обов'язкового світлофорного

регулювання, що сприяє зменшенню витрат на експлуатацію та енергозабезпечення.

Проте, попри свої переваги, кільцевий рух має і певні обмеження. Зокрема, при надмірній інтенсивності на окремих підходах можуть виникати труднощі з в'їздом на кільце, що знижує ефективність його функціонування. Крім того, така схема потребує значної території для будівництва, що може бути проблематично в умовах щільної міської забудови. Також деякі незручності можуть виникати для пішоходів і велосипедистів, оскільки перетин такого перехрестя потребує додаткових заходів безпеки.

Переходячи від загального опису кільцевого руху, давайте розглянемо, як він проявить себе на перехресті вулиць Дубнівська – Карпенка-Карого, схему кільцевого руху показано на рис. 2.1. Для оцінки ефективності цього варіанту реконструкції було проведено моделювання транспортних потоків та візуалізацію яка наведена на рис. 2.2. [1,2,6,7,11,14]



Рис. 2.1. Модель кільцевої розв'язки на перехресті вулиць Дубнівська – Карпенка-Карого, виконана у PTV Vissim



Рис. 2.2. Візуалізація кільцевого руху

З урахуванням значної інтенсивності руху по вулиці Карпенка-Карого та складнощів із виконанням лівого повороту для автомобілів, що рухаються з вулиці Глушець, було також запропоновано будівництво шляхопроводу, що показано на рис. 2.3. Це рішення має на меті розв'язати проблему конфліктної точки та забезпечити безперешкодний рух транспорту, що прямує з вулиці Глушець і має намір здійснити лівий поворот. Очікується, що такий шляхопровід сприятиме розвантаженню перехрестя, проте його вплив на пропускну здатність та загальну безпеку дорожнього руху буде детально оцінений за результатами подальшого моделювання. [12,13]



Рис. 2.3. Візуалізація запропонованого шляхопроводу на вулиці Глушець

Моделювання дозволяє нам віртуально відтворити рух транспорту на даному перехресті з урахуванням поточних і прогнозованих інтенсивностей руху, а також поведінки водіїв, пішоходів та велосипедистів. Це дає змогу об'єктивно оцінити ключові показники, такі як:

- середня швидкість руху: як зміниться середня швидкість транспортного потоку на підходах до перехрестя та при його проїзді?
- середній час затримки транспорту: наскільки зменшиться час, який автомобілі витрачають на проїзд перехрестя?
- рівень завантаженості: чи зможе кільцева розв'язка ефективно справлятися з піковими навантаженнями?
- щільність транспортного потоку: як зміниться кількість транспортних засобів на одиницю довжини дороги, що відображає рівень "скупченості" руху?
- пропускна здатність: наскільки зросте або зменшиться загальна пропускна здатність перехрестя?

Далі ми детально представимо отримані результати моделювання, порівняємо їх з поточною ситуацією та проаналізуємо переваги та недоліки впровадження кільцевого руху саме на цьому перехресті.

Аналіз швидкості руху є критично важливим етапом оцінки транспортних рішень, оскільки він прямо відображає ефективність пропускнуої здатності та рівень завантаженості дорожньої мережі. Моделювання дозволило візуалізувати динаміку швидкостей на різних ділянках реконструйованого перехрестя. Наступний рисунок 2.4 ілюструє колірну схему розподілу швидкостей транспортних засобів у зоні кільцевої розв'язки.



Рис. 2. 4. Картограма середньої швидкості

На зображенні представлено результати аналізу швидкості руху транспортних засобів на реконструйованому перехресті з кільцевим рухом.

Як видно з аналізу, на підходах до кільця та безпосередньо на ньому швидкість руху є помірною, що відповідає вимогам безпеки для кругових перехрестів і сприяє зниженню кількості конфліктів. Водночас, на віддалених ділянках вулиць швидкість є значно вищою, про що свідчить переважання зелених відтінків, що підтверджує ефективне розподілення потоків і мінімізацію заторів за межами безпосередньої зони перехрестя.

Незважаючи на загалом позитивні показники швидкості на самому кільці та основних підходах, аналіз виявив, що по вулиці Карпенка-Карого 5, та по вулиці Дубнівська 1, все ще спостерігається утворення заторів. Це свідчить

про те, що, хоча кільцева розв'язка оптимізує рух на перехресті, локальні чинники або інтенсивність потоків у цих конкретних місцях все ще призводять до зниження швидкості та ущільнення транспортного потоку. Це вимагатиме подальшого аналізу для виявлення причин та розробки можливих додаткових заходів з оптимізації.

Представлені результати аналізу щільності транспортного потоку на змодельованому перехресті з кільцевим рухом, що спостерігаємо на рис. 2.1.5.

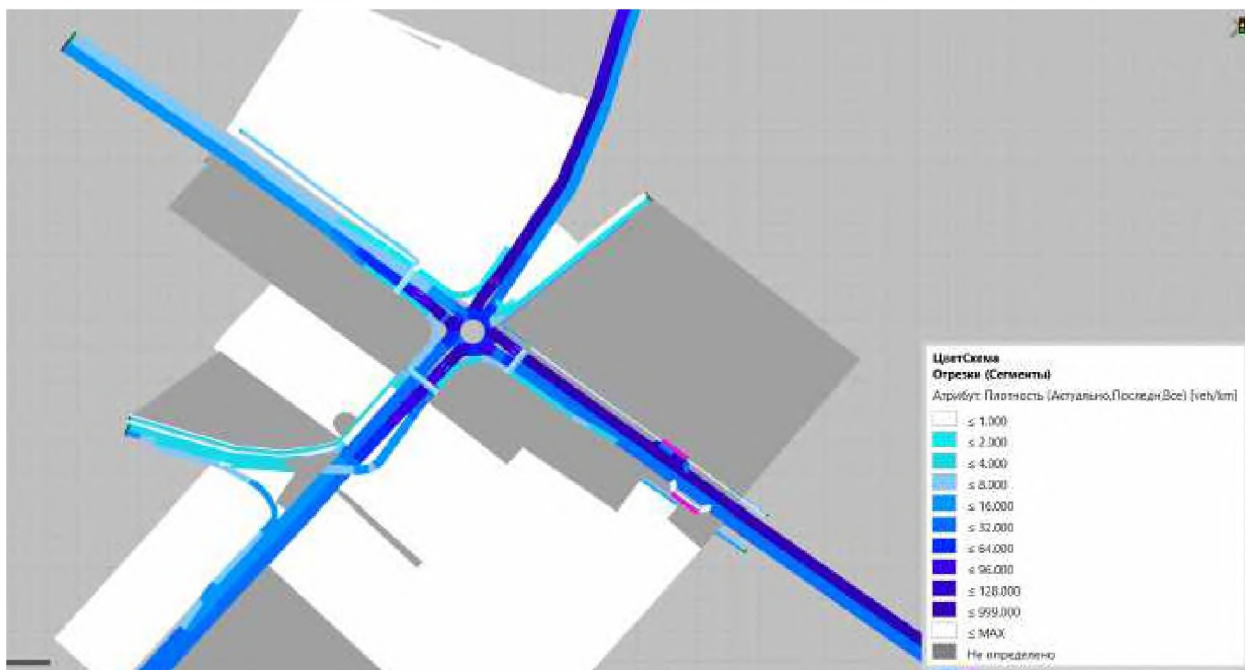


Рис. 2.5. Картосхема щільності

Колірна схема показує кількість транспортних засобів на кілометр (veh/km) на різних ділянках дорожньої мережі, від низької щільності (світлі відтінки синього/блакитного) до дуже високої (темні відтінки синього).

Як видно з аналізу, на більшості ділянок кільцевої розв'язки та її підходів щільність залишається в межах, які свідчать про вільний або помірно завантажений рух. Це вказує на ефективне розподілення транспортних потоків та відсутність значних скупчень автомобілів. Однак, локальні ділянки з підвищеною щільністю (темніші сині відтінки) можуть вказувати на потенційні місця уповільнення руху або утворення невеликих черг, що потребує подальшого вивчення причин. Загалом, картина щільності

підтверджує здатність кільцевої розв'язки забезпечувати відносно вільний рух транспорту.

Аналіз часу затримки транспортних засобів є ключовим інструментом для оцінки ефективності транспортної розв'язки. На представленому зображенні рис. 2.6 відображено результати аналізу часу затримки транспортних засобів на змодельованому перехресті з кільцевим рухом.

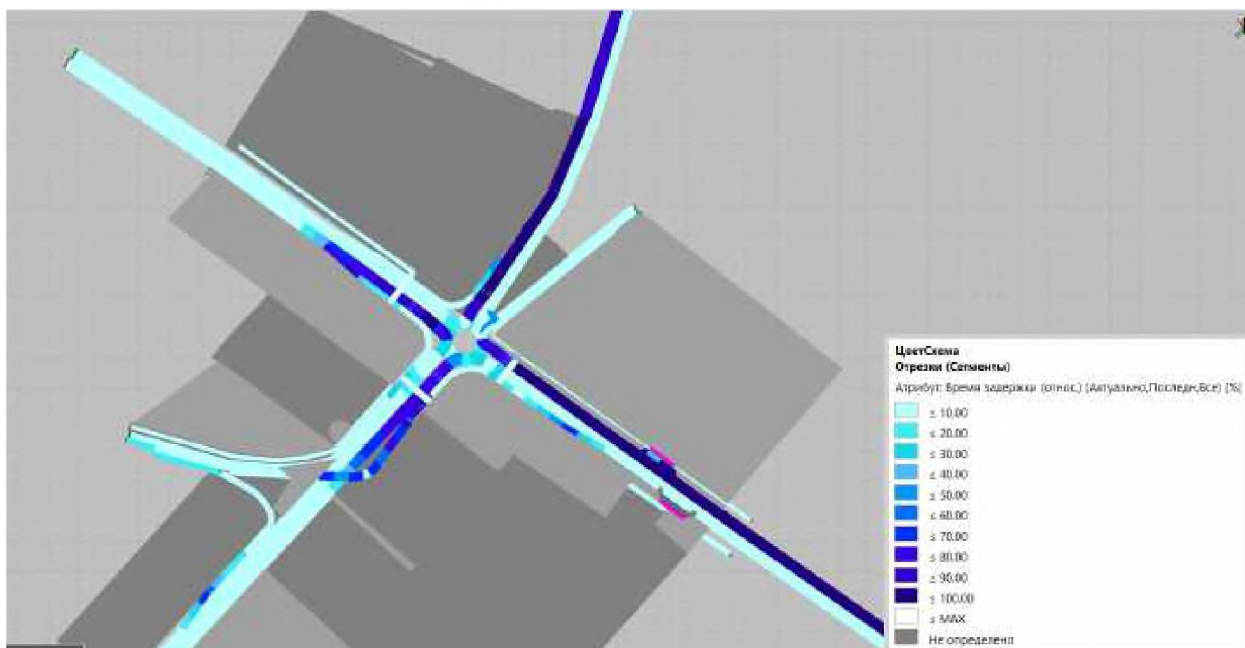


Рис. 2.6. Карттограма часу затримки

Результати аналізу свідчать, що на переважній більшості ділянок кільцевої розв'язки та її основних підходів спостерігається низький час затримки, що підтверджує ефективність обраної схеми для забезпечення безперешкодного руху. Проте, на окремих сегментах відзначено локальне зростання показників затримки. Зокрема, найвищі показники часу затримки, представлені найтемнішим кольором, фіксуються по вулиці Карпенка-Карого 5 та Дубнівська 1. Це вказує на точки, де може виникати уповільнення або затори.

2.2. Варіант 2 – Облаштування відокремлених смуг для правих поворотів та оптимізація світлофорного регулювання

Щоб значно підвищити ефективність перехрестя та зменшити затори, особливо в години пік, ключовим є відокремлення транспортних потоків. Створення спеціальних смуг для правого повороту дозволить автомобілям рухатися в цьому напрямку без зупинки або очікування основного потоку. Це не лише прискорить проїзд для тих, хто повертає, а й розвантажить основні смуги, звільняючи їх для іншого транспорту.

Крім того, для забезпечення безпечного та плавного маневрування, перед поворотами передбачаються смуги гальмування, де водії можуть поступово знижувати швидкість, не заважаючи основному потоку. Аналогічно, після повороту облаштовуються смуги розгону, що дозволяють автомобілям плавно набрати швидкість і безпечно влитися в загальний транспортний потік. Ці рішення, разом із коригуванням режимів світлофорного регулювання, що враховує нову організацію руху, мінімізують конфліктні точки та забезпечують максимально плавний рух на всіх напрямках. Детальніше це рішення можна побачити на рис. 2.7, рис.2.8 та рис. 2.9. [1,6,7,11,12]



Рис. 2.7. Модель варіанту 2, виконана у PTV Vissim.



Рис. 2.8. Візуалізація прехрестя варіанту 2



Рис. 2.9. Візуалізація прехрестя варіанту 2

Наводяться результати аналізу, що підтверджують ефективність запропонованих рішень. Нижче детально розглянуто, як кожен з впроваджених заходів вплине на ключові показники транспортного потоку, демонструючи очікувані покращення та переваги. Першим показником для

аналізу другого варіанта є середня швидкість на перехресті, дані по якій представлені на рис. 2.10.

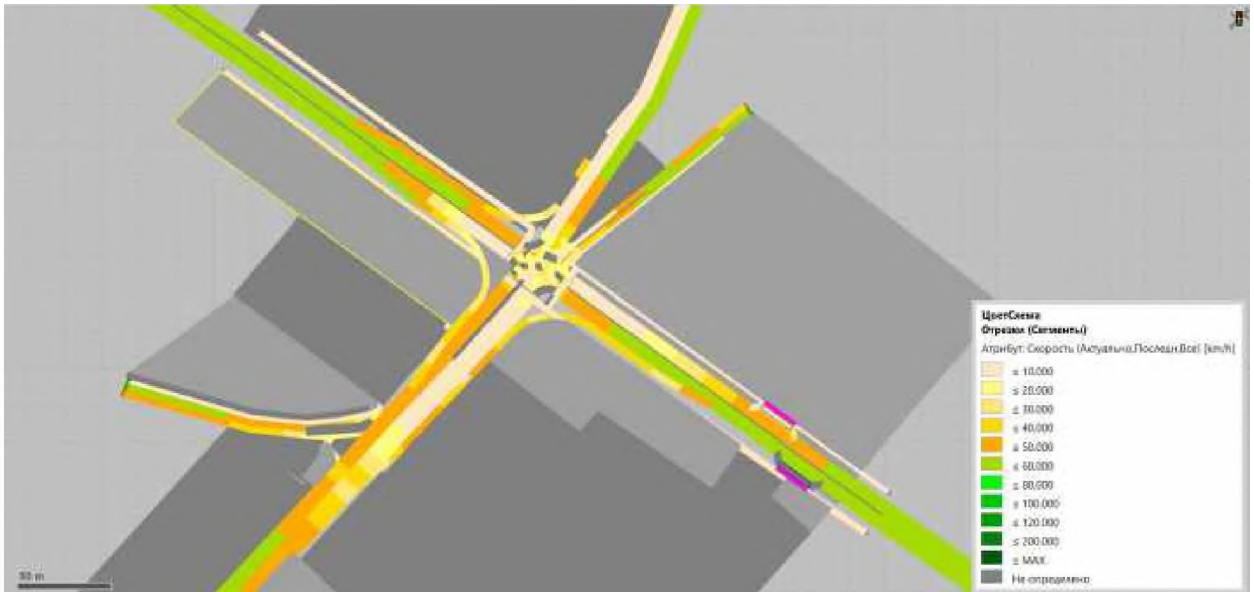


Рис. 2.10. Картограма середньої швидкості варіант 2

Представлена кольорова схема (рис. 2.10) візуалізує середню швидкість руху на ділянках перехрестя. Світло-зелені кольори переважають на значній частині перехрестя та його основних проїздів, що свідчить про високу пропускну здатність та ефективний рух.

Однак, на під'їздах до перехрестя, особливо на деяких напрямках, все ще спостерігаються жовті. Це вказує на можливе уповільнення руху або формування короточасних заторів безпосередньо перед зоною перетину, пов'язане з очікуванням дозволяючого сигналу.

Порівнюючи з першим варіантом організації руху, спостерігається значне покращення, зокрема, зменшення зони затору по вулиці Дубнівська 1. Це досягнуто завдяки інтеграції додаткової секції світлофора для лівого повороту тривалістю 13 секунд, що дозволило ефективніше розподілити транспортні потоки та мінімізувати конфліктні ситуації, забезпечуючи більш плавний та швидкий проїзд цієї ділянки. Загалом, візуалізація підтверджує, що запропоновані зміни сприяють значному підвищенню середньої швидкості на

більшості ділянок та розвантаженню перехрестя, хоча певні точки уповільнення на під'їздах все ще зберігаються.

Наступним важливим показником, що відображає рівень "скупченості" руху та ефективність розподілу транспортних потоків для другого варіанту, є щільність транспортного потоку, візуалізація якої представлена на рис. 2.11.

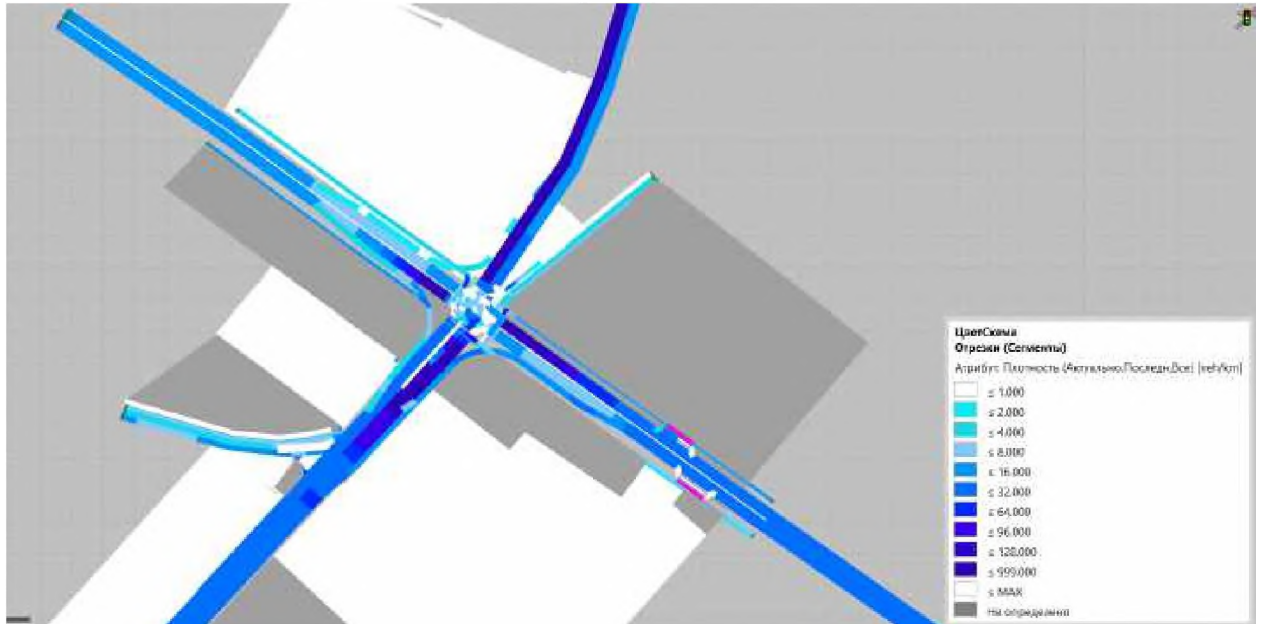


Рис. 2.11. Картограма щільності варіант 2

На рисунку представлена кольорова схема щільності транспортного потоку (автомобілів на кілометр). Переважна більшість ділянок перехрестя та підходів до нього забарвлена у світло-блакитні та сині відтінки, що свідчить про відносно низьку та контрольовану щільність руху. Це вказує на те, що транспортні засоби не скупчуються надмірно, а вільно розподіляються по проїзній частині. Лише в окремих точках, ймовірно, безпосередньо перед стоп-лініями або на входах до поворотних смуг, можна спостерігати дещо темніші сині ділянки, що вказує на локальне збільшення щільності через тимчасове уповільнення або очікування.

Ключовим показником ефективності організації руху є середній час затримки транспорту. Його візуалізація для другого варіанта представлена на рис. 2.12.

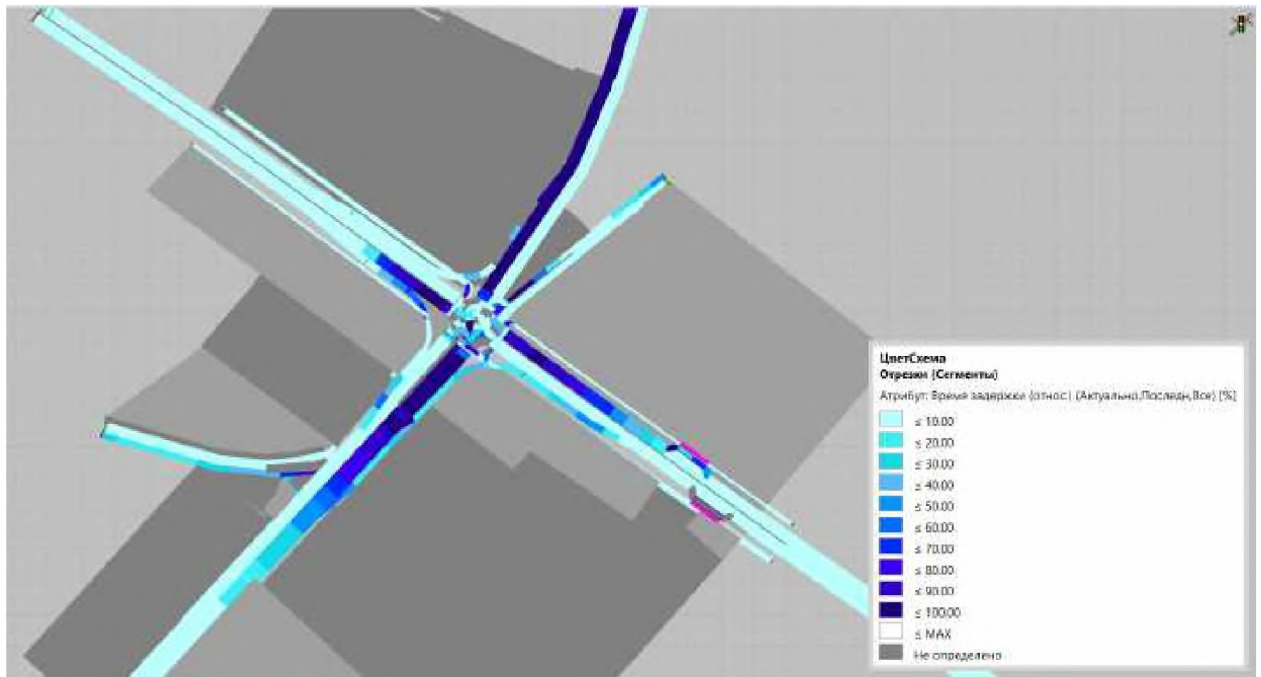


Рис.2.12. Картограма часу затримки варіант 2

На рис. 2.12 відображено відносний час затримки руху транспорту на перехресті. Переважна більшість ділянок перехрестя та прилеглих доріг забарвлена у світлі відтінки блакитного кольору, що свідчить про низький або помірний відносний час затримки для більшості транспортних засобів.

Однак, по вулиці Карпенка-Карого 5 зберігається найбільший час затримки, і також на деяких підходах до перехрестя, а у зонах безпосередньо перед світлофорними об'єктами або місцями інтенсивного маневрування, спостерігається більший час затримки. Загалом, хоча основні потоки рухаються з мінімальними затримками, є певні точки, де час очікування все ще залишається значним, що може бути ціллю для подальшої оптимізації.

2.3 Варіант 3 – Перехрестя в двох рівнях

Розглянемо третій варіант реорганізації транспортного вузла, який передбачає будівництво перехрестя в двох рівнях зображено на рис. 2.13. Це рішення є кардинальною зміною в організації руху, спрямованою на

забезпечення максимально можливої пропускної здатності та повного усунення конфліктних точок. [1,2,6,7,12,13]



Рис. 2.12. Модель розв'язки в двох рівнях

Даний варіант реалізований за типом "конюшина", що є одним з найефективніших видів дворівневих розв'язок для інтенсивних транспортних потоків. Ключовою особливістю такої розв'язки є забезпечення безперервного руху по всіх напрямках без необхідності зупинки чи перетину транспортних потоків в одному рівні. Це досягається завдяки використанню естакад та з'їздів-петель, що дозволяють здійснювати ліві та праві повороти на різних рівнях, повністю усуваючи світлофорне регулювання на основних напрямках.

Така конфігурація значно зменшує затримки, підвищує середню швидкість руху та мінімізує ризики дорожньо-транспортних пригод, створюючи плавний та безпечний транспортний потік. Варто зазначити, що реалізація цього варіанту є найбільш дороговартісною через складність будівельних робіт, великі обсяги земляних робіт та необхідність будівництва

інженерних споруд. Візуалізація цього комплексного рішення в 3D-моделі представлена на рис. 2.13, рис. 2.14, рис. 2.15.



Рис.2.13. 3Д візуалізація варіанту 3



Рис. 2.14. 3Д візуалізація варіанту 3



Рис. 2.15. 3Д візуалізації перехрестя

Для всебічної оцінки ефективності запропонованої дворівневої розв'язки, важливо проаналізувати ключові показники транспортного потоку. Далі будуть представлені результати моделювання, що демонструють, як саме реалізація даного варіанту вплине на середню швидкість руху, щільність транспортного потоку та середній час затримки на перехресті.

Перший результат аналізу по середній швидкості показано на рис. 2.16.

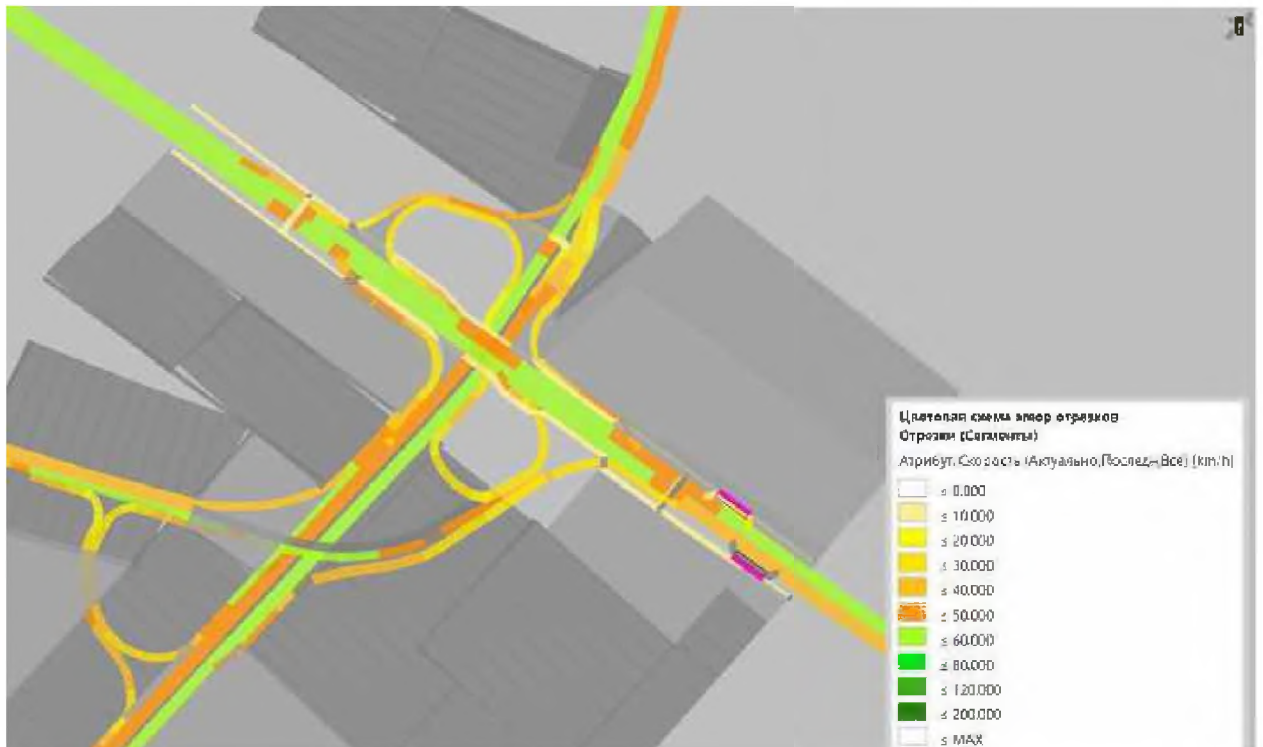


Рис. 2.16. Картограма середньої швидкості на перехресті в двох рівнях

На кольоровій схемі (рис. 2.16) відображено середню швидкість транспортного потоку на всіх ділянках перехрестя в двох рівнях. Як видно з візуалізації, переважна більшість магістральних проїздів та з'їздів забарвлені у світло-зелені та насичено-жовті кольори (до 60 км/год). Це є прямим підтвердженням високої ефективності розв'язки типу "конюшина", що забезпечує безперервний та швидкий рух без світлофорних затримок.

Лише на окремих, дуже коротких сегментах, зокрема на кінцевих ділянках з'їздів та на входах до місцевих доріг, спостерігаються жовті та помаранчеві зони (від 20 км/год до 50 км/год). Це є очікуваним явищем, оскільки водії природно знижують швидкість для безпечного влиття в міський потік або під час маневрування. Важливо відзначити повну відсутність зон з дуже низькою швидкістю або заторами (білі ділянки), що чітко ілюструє усунення конфліктних точок та досягнення максимального комфорту руху. Таким чином, даний варіант організації руху забезпечує значне підвищення середньої швидкості на всьому транспортному вузлі.

Наступним важливим показником, що демонструє ефективність функціонування дворівневої розв'язки, є щільність транспортного потоку, візуалізація якої представлена на рис. 2.17.

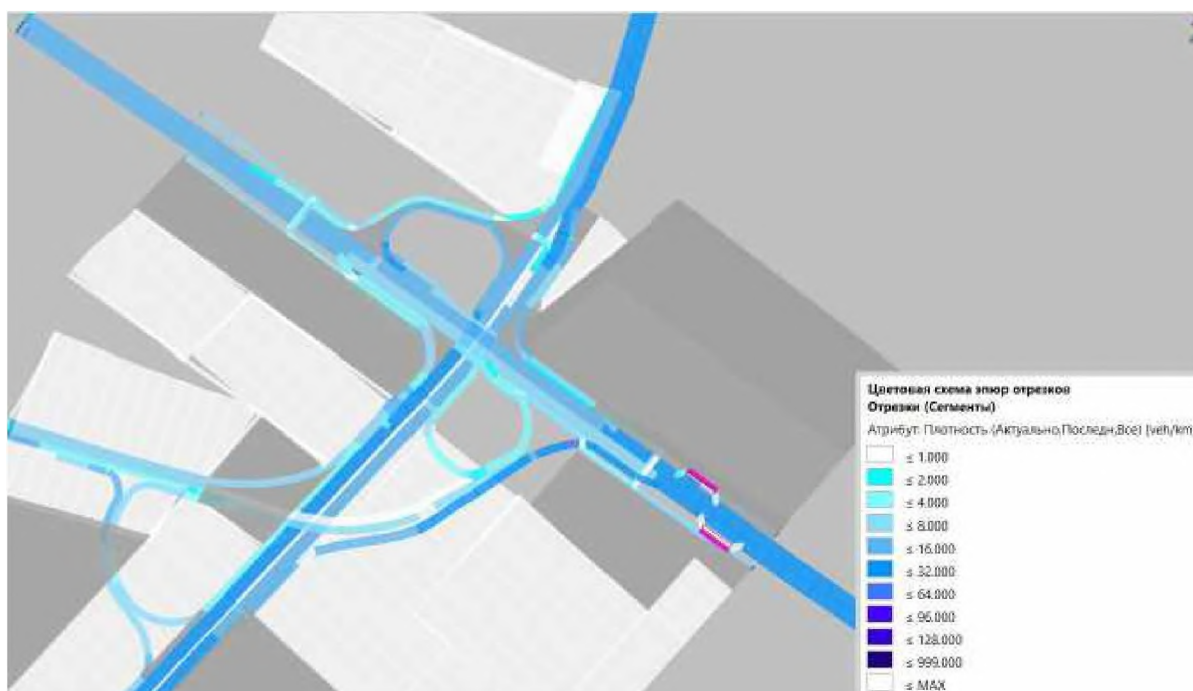


Рис. 2.17. Картосхема щільності на перехресті в двох рівнях.

Кольорова схема показує щільність транспортних засобів на одиницю довжини дороги. Переважна більшість ділянок перехрестя, включаючи основні магістралі та з'їзди, забарвлені у дуже світлі та світло-блакитні відтінки (від ≤ 1.000 до ≤ 4.000 veh/km). Це є чітким свідченням вкрай низької щільності руху, що вказує на відсутність скупчень та вільний проїзд транспорту.

Відсутність зон із високою щільністю (темно-сині ділянки, що вказують на затори) на всій схемі підкреслює, що дворівнева розв'язка типу "конюшина" ефективно розподіляє транспортні потоки та запобігає їхньому накопиченню. Навіть у місцях можливого злиття або розходження потоків, де щільність може бути трохи вищою (наприклад, ≤ 8.000 veh/km), вона все одно залишається на комфортному рівні. Таким чином, цей варіант організації руху забезпечує оптимальну щільність транспортного потоку, що є запорукою плавного та безперебійного руху.

2.4 Підсумки аналізу варіантів та обґрунтування оптимального рішення

На попередніх етапах дослідження було детально розглянуто та проаналізовано різні варіанти реконструкцію транспортного вузла, включаючи поточну ситуацію, запропоновані зміни зі світлофорним регулюванням, кільцевим рухом та комплексне рішення у вигляді дворівневої розв'язки. Кожен з варіантів було оцінено за ключовими показниками ефективності: середньою швидкістю руху, щільністю транспортного потоку, пропускною здатністю та часом затримки.

Цей підрозділ належить узагальненню отриманих результатів аналізу. На основі порівняння всіх показників та врахування факторів, таких як вартість реалізації та складність впровадження, буде здійснено комплексний висновок. Метою даного розділу є обґрунтування та вибір найбільш оптимального варіанту організації дорожнього руху на перехресті, який зможе ефективно

вирішити існуючі проблеми та забезпечити максимальну пропускну здатність у довгостроковій перспективі.

Для наочного порівняння та аналізу ефективності розглянутих варіантів, зведемо основні показники в таблицю 2.4.1.

Таблиця 2.4.1. Порівняльний аналіз показників ефективності різних варіантів організації руху

Показник	Існуючий стан	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3
Середній час затримки, с.	274,35	30,55	96,69	3,05
Середній час простою, с.	202,11	15,26	76,05	0,04
Середня швидкість, км/год	11,15	30,8	23,67	44,72
Середнє число зупинок	9,44	2,12	3,31	0,1
Кількість ТЗ/год, шт.	2705	3505	3684	3721

Проаналізувавши дані таблиці 2.4.1, можна зробити наступні висновки щодо ефективності кожного з варіантів:

1. Існуючий стан.

Є вихідною точкою, що характеризується критично високими показниками затримок 274,35 секунди та простоїв 202,11 секунди.

Середня швидкість всього 11,15 км/год та найнижча пропускну здатність 2705 ТЗ/год свідчать про вкрай неефективне функціонування перехрестя в пікові години.

2. Кільцевий рух.

Демонструє значне покращення порівняно з існуючим станом, забезпечуючи суттєве зниження часу затримки 30,55 сек. та простою 15,26 сек.

Середня швидкість зростає до 30,8 км/год, а кількість зупинок мінімізується до 2,12, що вказує на більш плавний рух.

Пропускна здатність підвищується до 3505 ТЗ/год. Це є економічно привабливим рішенням для багатьох випадків.

3. Реконструкція (Оптимізоване світлофорне регулювання).

Цей варіант, що передбачає модернізацію світлофорного регулювання та відокремлення смуг, також показує помітне покращення порівняно з існуючим станом.

Час затримки 96,69 сек. та простою 76,05 сек. значно нижчі, ніж в існуючому варіанті, а середня швидкість 23,67 км/год вища.

Пропускна здатність зросла до 3684 ТЗ/год, що навіть перевищує показник кільцевого руху, завдяки більш точному розподілу фаз світлофорів. Проте, цей варіант все ще передбачає зупинки та очікування.

4. Розв'язка в двох рівнях (по типу "Конюшина").

Цей варіант, що є найскладнішим та найдорожчим у реалізації, демонструє абсолютно виняткові показники ефективності, значно перевершуючи всі інші рішення.

Середній час затримки всього 3,05 сек. та час простою 0,04 сек. є практично нульовими, що свідчить про майже повну відсутність конфліктів та зупинок.

Найвища середня швидкість 44,72 км/год забезпечує максимально швидкий проїзд транспортного вузла.

Середнє число зупинок 0,1 є мінімальним, що є свідченням безперервного характеру руху по всіх основних напрямках.

Найвища пропускна здатність 3721 ТЗ/год підтверджує здатність цього рішення ефективно справлятися з найінтенсивнішими транспортними потоками.

З урахуванням усіх факторів, включаючи показники ефективності, вартість та складність реалізації:

Розв'язка в двох рівнях по типу "Конюшина" є безумовно найбільш ефективним рішенням з точки зору оптимізації транспортного потоку. Її показники свідчать про кардинальне вирішення проблеми заторів, забезпечуючи максимальну швидкість та пропускну здатність. Це ідеальний варіант для умов надзвичайно інтенсивного та зростаючого трафіку, де інші рішення вже не здатні забезпечити необхідний рівень обслуговування.

Кільцевий рух та реконструкція (Оптимізоване світлофорне регулювання) є значно кращими за існуючий стан і можуть бути оптимальними для умов помірного трафіку або при обмеженому бюджеті. Між ними, кільцевий рух є кращим за часом затримки/простою та швидкістю, тоді як оптимізована реконструкція має трохи вищу пропускну здатність, але з більшими затримками.

Вибір остаточного варіанту повинен ґрунтуватися на балансі між бажаною ефективністю максимальна швидкість і відсутність заторів, доступним бюджетом та довгостроковими перспективами розвитку транспортного вузла. Якщо метою є абсолютна оптимізація та готовність до значного зростання трафіку, дворівнева розв'язка є безкомпромісним лідером.

РОЗДІЛ 3
Розрахунково-конструктивний

Одним із основних завдань при проектуванні реконструкції вулично-дорожньої мережі є забезпечення надійності та довговічності дорожнього одягу. Саме правильний підбір конструкції дорожнього одягу дозволяє мінімізувати витрати на утримання дороги, підвищити комфортність руху та забезпечити безпечну експлуатацію впродовж усього терміну служби.

В умовах реконструкції перехрестя вулиць Дубнівська – Карпенка-Карого в місті Луцьку з високою інтенсивністю транспортних потоків, особливо за участі великої частки вантажного транспорту, постає питання раціонального конструювання дорожнього одягу, що здатний витримувати значні транспортні навантаження упродовж розрахункового періоду експлуатації.

Для вирішення цього завдання було виконано розрахунок конструкції дорожнього одягу нежорсткого типу, з урахуванням особливостей транспортного потоку, кліматичних та ґрунтових умов ділянки будівництва.

3.1 Вихідні дані для розрахунку

При виконанні розрахунків було враховано комплекс вихідних даних, які суттєво впливають на вибір типу та параметрів дорожнього одягу.

Досліджувана ділянка належить до доріг II категорії з двосмуговим рухом. Ширина смуги руху становить 3,75 м, а ширина укріпленої частини узбіччя 0,75 м. Поперечний профіль дороги є двосхилий. Висота насипу в районі перехрестя досягає 1,5 м.

Кліматичні характеристики ділянки відповідають першій дорожньо-кліматичній зоні (підзона IP.1). Глибина промерзання ґрунту становить 80 см, кліматичний коефіцієнт прийнято на рівні 50.

Склад транспортного потоку характеризується значною часткою вантажних автомобілів середньої та великої вантажопідйомності, що формують суттєві вертикальні навантаження на покриття. Також у потоці наявна частина пасажирського транспорту та легкових автомобілів.

Ґрунт основи земляного полотна – пісок однорідний, зі значенням модуля пружності 75 МПа. Робочий шар земляного полотна виконується із ущільненого піску середньої крупності з модулем пружності 120 МПа.

Розрахунковий термін служби конструкції дорожнього одягу прийнято 14 років. Коефіцієнт надійності дорівнює 0,95.

3.2 Основні принципи формування конструкції дорожнього одягу

При виборі конструкції дорожнього одягу враховано наступні основні фактори:

- рівень транспортного навантаження впродовж усього розрахункового терміну експлуатації;
- характеристики транспортного потоку – суттєва кількість великовантажного транспорту;
- кліматичні умови району будівництва;
- характеристики ґрунтової основи та можливість її укріплення;
- вимоги до довговічності та економічної доцільності.

Розрахунок виконували за критеріями міцності конструкції дорожнього одягу – стійкість до деформацій, пружних прогинів, зсувних навантажень в основі, опору монолітних шарів до втомного руйнування на розтяг при згині.

Метою було забезпечити достатній запас міцності кожного з елементів конструкції при розрахунковому навантаженні.

3.3 Прийнята конструкція дорожнього одягу

В результаті проведених розрахунків прийнято наступну конструкцію дорожнього одягу нежорсткого типу:

- Верхній шар покриття – щебеневомастиковий асфальтобетон (ЩМА-15) товщиною 5 см.

- Вирівнюючий шар – асфальтобетон щільний на модифікованому бітумі з термоеластопластом товщиною 12 см.
- Основний шар – щебенево-піщана суміш, укріплена цементом (M40), товщиною 15 см.
- Дренувальний шар – щебенево-піщана суміш C7 товщиною 15 см.
- Підстильний шар – пісок середньої крупності товщиною 25 см.
- Основа земляного полотна – пісок однорідний.

Сумарна товщина конструкції дорожнього одягу становила 72 см.

Застосування щебеневомастикового асфальтобетону у верхньому шарі дозволяє досягти високої стійкості до утворення колійності, тріщиноутворення та втомного руйнування при значних навантаженнях від багатотоннажного транспорту. Асфальтобетон з модифікованим бітумом у вирівнюючому шарі підвищує пластичність та довговічність конструкції при багаторазових навантаженнях.

Застосування цементозміцнених основних та дренувальних шарів забезпечує достатню несучу здатність конструкції, рівномірний розподіл навантажень та захист основи від впливу води.

3.4 Оцінка міцності та надійності конструкції

Проведений розрахунок показав, що обрана конструкція має достатній запас міцності за усіма основними критеріями:

- запас міцності шару піску основи при зсуві становить до 193%;
- запас міцності шару асфальтобетону при розрахунку на згин – понад 24%;
- цементозміцнений основний шар забезпечує запас міцності на рівні 77%.

Забезпечення запасу міцності дозволяє гарантувати безпечну експлуатацію покриття навіть за умов інтенсивного вантажного руху та

несприятливих погодних умов, а також враховує можливі коливання фактичних навантажень протягом експлуатаційного періоду.

Детальний розрахунок конструкції дорожнього одягу наведено у додатку А.

РОЗДІЛ 4

Безпека життєдіяльності та охорона праці

4.1 Загальні положення

Забезпечення безпеки життєдіяльності та охорони праці є невід'ємною складовою проєктних та інженерно-технічних рішень, зокрема у сфері транспортного планування. У процесі реконструкції перехрестя вулиць Дубнівська та Карпенка Карого важливе місце займає аналіз потенційних ризиків, як для працівників під час виконання будівельних робіт, так і для учасників дорожнього руху після впровадження проєктних рішень.

4.2 Потенційні небезпеки під час реконструкції

Проведення реконструкції перехрестя супроводжується ризиками, які можуть вплинути на безпеку працівників та сторонніх осіб. До них відносяться можливі травми при використанні будівельної техніки, вплив несприятливих факторів навколишнього середовища (пил, шум, вібрація), небезпека ураження електричним струмом при роботі з мережами освітлення, а також ймовірність дорожньо-транспортних пригод через тимчасові зміни організації руху. Для зменшення цих ризиків необхідно дотримуватись загальноприйнятих вимог охорони праці, включаючи інструктажі, використання засобів індивідуального захисту та технічне маркування небезпечних зон.

4.3 Безпека дорожнього руху після реконструкції

На етапі експлуатації реконструйованого перехрестя особливу увагу слід приділити організації безпечного руху транспорту та пішоходів. Проєктні рішення повинні враховувати наявні проблеми, що спричиняють аварійність, і забезпечувати їх усунення. Зокрема, слід передбачити логічну схему світлофорного регулювання з урахуванням потреб усіх учасників руху,

включаючи маломобільні групи населення. Важливою складовою є організація пішохідних переходів із достатньою шириною, ефективне освітлення у темний час доби, чітка дорожня розмітка та застосування світлоповертаючих елементів. Додаткове встановлення технічних засобів контролю, таких як камери фіксації порушень, сприятиме зменшенню кількості ДТП та підвищенню загальної культури дорожнього руху.

4.4 Пожежна безпека та цивільний захист

Під час будівельних робіт важливо забезпечити належні умови пожежної безпеки, включаючи доступ спецтехніки, наявність вогнегасників і належне зберігання небезпечних матеріалів. Крім того, на випадок надзвичайних ситуацій передбачено координацію з відповідними службами, систему оповіщення та евакуації, що дозволить оперативно реагувати на можливі загрози.

4.5 Екологічна безпека

Реконструкція має бути реалізована з мінімальним впливом на довкілля. Для цього важливо використовувати сучасну будівельну техніку з низьким рівнем викидів, обмежувати проведення шумних робіт у нічний час, а також запобігати забрудненню ґрунтів та води. Застосування екологічно безпечних матеріалів є важливим елементом сталого розвитку міського середовища.

ВИСНОВКИ

Дана робота була присвячена комплексному аналізу та пошуку оптимального рішення для реорганізації транспортного вузла на перехресті вулиць Дубнівська, Карпенка-Карого та Трункіна у місті Луцьку. Проведене дослідження охопило аналіз існуючого стану, моделювання та порівняння різних варіантів організації дорожнього руху, а також розгляд ключових аспектів безпеки життєдіяльності та охорони праці.

Розділ 1 виявив критичні недоліки існуючої організації руху. Натурні обстеження підтвердили високу інтенсивність руху, а результати моделювання показали вкрай низьку ефективність поточного стану: середній час затримки сягає 274,35 с, час простою – 202,11 с, а середня швидкість – лише 11,15 км/год. Картограми швидкості, щільності та часу затримки візуально підтвердили масштабні затори та скупчення транспорту по всьому перехрестю. Було зроблено висновок, що існуюча конфігурація є головною причиною низької пропускної здатності та підвищеної аварійності.

Розділ 2 представив та порівняв три альтернативні варіанти реорганізації:

1. Кільцевий рух: Значно покращив показники порівняно з існуючим станом, зменшивши затримки до 30,55 с та підвищивши середню швидкість до 30,8 км/год. Пропускна здатність зросла до 3505 ТЗ/год. Цей варіант є відносно економічним та ефективним для багатьох умов.

2. Реконструкція (Оптимізоване світлофорне регулювання): Цей варіант також показав покращення, але з менш вираженими результатами, ніж кільцевий рух за показниками затримки (96,69 с) та швидкості (23,67 км/год), хоча пропускна здатність сягнула 3684 ТЗ/год. Він не забезпечує безперебійного руху.

3. Розв'язка в двох рівнях (типу "Конюшина"): Цей варіант виявився найбільш ефективним та перспективним. Моделювання показало майже нульові затримки (3,05 с), відсутність простоїв (0,04 с), найвищу середню швидкість (44,72 км/год) та максимальну пропускну здатність (3721 ТЗ/год). Візуальний аналіз картограм підтвердив вільний та безперебійний рух.

Розділ 3 дипломної роботи присвячений розробці та розрахунку конструкції дорожнього одягу на ділянці реконструйованого перехрестя. У цьому розділі виконано аналіз вихідних даних, проведено розрахунок дорожнього одягу з урахуванням прогнозованої інтенсивності руху та особливостей транспортного потоку. В результаті розрахунків обґрунтовано конструкцію нежорсткого дорожнього одягу, яка забезпечує надійність, довговічність та стійкість конструкції при діючих експлуатаційних навантаженнях.

Розділ 4 присвячений питанням безпеки життєдіяльності та охорони праці на всіх етапах проєкту. Були ідентифіковані потенційні ризики на етапах будівництва (робота машин, висота, земляні роботи, організація руху) та експлуатації (ДТП, людський фактор, технічні несправності). Запропоновано комплексні заходи для мінімізації цих ризиків, включаючи відповідність нормативам, моделювання безпеки, навчання персоналу, належну організацію будівельного майданчика та дорожнього руху, а також постійний моніторинг та обслуговування об'єкта.

Загальний висновок:

На основі детального аналізу та порівняльного моделювання, безумовно найбільш оптимальним рішенням для досліджуваного перехрестя є будівництво дворівневої розв'язки типу "Конюшина". Попри значні капіталовкладення та складність реалізації, це рішення забезпечить кардинальне вирішення проблем заторів, гарантує максимальну пропускну здатність та високий рівень безпеки руху на довгострокову перспективу. Вибір цього варіанта дозволить перетворити проблемний транспортний вузол на ефективний елемент вулично-дорожньої мережі міста, що значно покращить транспортну ситуацію у північно-західній частині Луцька. Реалізація цього, як і будь-якого іншого, проєкту вимагає неухильного дотримання всіх вимог безпеки життєдіяльності та охорони праці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В.2.3-5:2018. Вулиці та дороги населених пунктів. – Київ: Мінрегіон України, 2018. – 84 с.
2. ДБН В.2.3-7:2023. Автомобільні дороги : [Чинний від 2023–12–01]. Київ : Мінвідновлення України, 2023.
3. <https://streetmix.net/-/2981399>
4. ДСТУ 8824:2019. Автомобільні дороги. Визначення інтенсивності руху та складу транспортного потоку. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019. – 28 с.
5. ДСТУ 4092:2024. Безпека дорожнього руху. Світлофори дорожні. Загальні технічні умови : [Чинний від 2025–05–01]. Київ : Держстандарт України, 2024.
6. <https://bespalov.me/2022/03/28/kurs-miski-dorozhno-transportni-sporudykursovyi-projekt-samoregulovanyj-kilcevyj-peretyn>
7. <https://bespalov.me/2014/01/08/modelyuvannya-transportnogo-potoku-naperetynah-v-riznyh-rivnyah>
8. <https://www.volynpost.com/news/216663-u-lucku--avariia-na-perehresti-aktivka-vihala-u-stovp-foto-video>
9. https://www.volynnews.com/news/extreme/za-dekilka-khvylyn-dosmertipokazaly-iakvodiy-porushnyk-perevyshchyy-shv/?utm_source=chatgpt.com
10. ДСТУ 3587:2022. Безпека дорожнього руху. Автомобільні дороги. Вимоги до експлуатаційного стану : [Чинний від 2022–01–01]. Київ : Держстандарт України, 2022.
11. ГБН В.2.3-37641918-555:2016. Автомобільні дороги. Транспортні розв'язки в одному рівні. Проектування : [Чинний від 2016–04–01]. Київ : Міністерство інфраструктури України, 2016. (Зі зміною № 1).
12. ДБН В.2.3-4:2015. Автомобільні дороги. Частина I. Проектування. Частина II. Будівництво : [Чинний від 2016–04–01]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2015.

13. ДБН В.2.3-22:2009. Мости та труби. Основні вимоги проектування : [Чинний від 2010–01–01]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2009.
14. Сташків М.Я. Підвищення транспортної безпеки на нерегульованому перехресті з кільцевим рухом / М.Я. Сташків, В.О. Дзюра, О.Б. Романюк, Т.В. Чорний // Матер. XV Міжнар. науково-практичної конф. «Транспортна безпека: правові та організаційні аспекти». – Кривий Ріг, 2020. –с. 248 – 252.
15. ДБН А.2.2-3:2014. Склад та зміст проектної документації на будівництво : [Чинний від 2014–10–01]. Київ : Мінрегіон України, 2014. (Із Зміною № 2, чинною від 2022–07–01).
16. ДСТУ 2587:2021. Безпека дорожнього руху. Розмітка дорожня. Загальні технічні умови : [Чинний від 2021–08–01]. Київ : Держстандарт України, 2021.
17. ДСТУ 4100:2021. Безпека дорожнього руху. Знаки дорожні. Загальні технічні умови. Правила застосування : [Чинний від 2021–11–01]. Київ : Держстандарт України, 2021.
18. ДСТУ 8752:2017. Безпека дорожнього руху. Проект організації дорожнього руху. Правила розроблення, побудови, оформлення. Вимоги до змісту : [Чинний від 2019–01–01]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017.
19. ГБН В.2.3-37641918-559:2018. Автомобільні дороги. Проектування нежорстких дорожніх одягів. — Київ: ДП «ДерждорНДІ», 2018. — 86 с.

ДОДАТКИ

**Розрахунок дорожнього одягу нежорсткого типу
за методикою ГБН В.2.3-37641918-559**

Найменування дороги	Реконструкція перехрестя вулиць Дубнівська - Карпенка-Карого у м. Луцьку із використанням транспортного моделювання
Особливість розрахунку	Перегін
Ім'я варіанти розрахунку	RadonIII 2

1. Кліматичні характеристики

Дорожньо-кліматична зона	1
Підзона	У I P.1
Схема зволоження робочого шару	1
Кількість розрахункових днів у році, днів	145
Глибина промерзання ґрунту, см	80
Кліматичний коефіцієнт a_0	50.00

2. Дані про дорогу

Загальні дані:	
Категорія дороги	II
Кількість смуг руху	2
Номер розрахункової смуги	1
Тип конструкції дорожнього одягу	Капітальний
Термін служби покриття, років	14
Коефіцієнт надійності	0.95
Профіль:	
Поперечний профіль дороги	Двосхилий
Ширина смуги руху, м	3.75
Ширина узбіччя, м	3.75
Ширина укріпленої частини узбіччя, м	0.75
Закладення укосу, 1: m	1 : 4
Увігнутість поздовжнього профілю	Не враховується
Висота насипу, м	1.50

Ґрунт:	
Ґрунт робочого шару	Пісок однорідний
Комплексну характеристику В визначати:	По таблиці
Комплексна характеристика В	2.00
Джерело зволоження:	
Джерело зволоження	Не задано
Особливості:	
Конструктивні заходи, що знижують вологість або впливають на розрахунок дренавального шару	Не передбачені

3. Склад автомобільного потоку

Склад руху	Відомий
Коефіцієнт зростання інтенсивності, частки од.	1.080
Склад потоку заданий	В автомобілях
Зростання інтенсивності	Загальний для потоку
Інтенсивність руху на перший рік служби, авт/добу.	6685
Інтенсивність руху на розрахунковий рік служби, авт/добу.	18174
Розрахункова добова кількість прикладень на смугу приведеного навантаження на початковий рік служби, авт/добу.	675
Розрахункова добова кількість прикладень на смугу приведеного навантаження на кінець останнього року служби, авт/добу.	1836.83
Сумарне розрахункове число прикладень на смугу за весь термін служби, авт.	2473404
Необхідний модуль пружності, МПа	315.02

Таблиця 1. Склад і характеристики автомобілів в транспортному потоці

Марка автомобіля	Вантаж., т	%	Кількість, авт.	Коеф. вантаж.	Коеф. пробігу	Зростання інт.	Коеф. привед.
ЗИЛ 130	9.5	-	67	1.0	1.0	1.080	0.110

КАМАЗ 5320	15.3	-	41	1.0	1.0	1.080	0.147
КрАЗ 260 В	21.5	-	82	1.0	1.0	1.080	2.632
МАЗ 53352	16.0	-	53	1.0	1.0	1.080	0.600
ГАЗ 2705 ГАЗель	3.5	-	112	1.0	1.0	1.080	0.001
MAN M2000 12.163	12.0	-	84	1.0	1.0	1.080	0.278
VOLVO FH12/420 +Kogel SN24 P 100	41.5	-	133	1.0	1.0	1.080	1.637
MERCEDES-BENZ Actros 1840+Kogel SLK 20-32	38.6	-	84	1.0	1.0	1.080	2.308
МАЗ 64226 +МАЗ 93802	48.1	-	60	1.0	1.0	1.080	2.255
DAF FAG 75CF	40.0	-	133	1.0	1.0	1.080	1.902
MERCEDES-BENZ Atego 2528 + Kassbohrer	40.0	-	68	1.0	1.0	1.080	1.941
БОГДАН А091	8.1	-	60	1.0	1.0	1.080	0.044
NEOPLAN N 117 Spaceliner	18.5	-	10	1.0	1.0	1.080	0.911
MERCEDES-BENZ Sprinter 200-400	3.5	-	40	1.0	1.0	1.080	0.001
Легковий автомобіль	-	-	5658	1.0	1.0	1.080	0.000

Обчислюємо приведену інтенсивність до розрахункового навантаження на перший рік служби з урахуванням коефіцієнту, що враховує кількість смуг руху:

$$N_{1p} = f_{\text{смуги}} * \sum (N_{1m} * S_m) = 0.55 * (67*0.110 + 41*0.147 + 82*2.632 + 53*0.600 + 112*0.001 + 84*0.278 + 133*1.637 + 84*2.308 + 60*2.255 + 133*1.902 + 68*1.941 + 60*0.044 + 10*0.911 + 40*0.001 + 5658*0.000) = 675.40 \text{ авт/добу}$$

Обчислюємо приведену інтенсивність до розрахункового навантаження на останній рік служби:

$$N_t = N_{1p} * q^{T_{\text{сл}} - 1} = 675.40 * 1.080^{14-1} = 1836.83 \text{ авт/добу}$$

Обчислюємо сумарну розрахункову кількість прикладень розрахункового навантаження:

$$\sum N_p = 0.7 * T_{pдр} * K_n * K_c * N_{1p} = 0.7 * 145 * 1.49 * 24.21 * 675.40 = 2473404 \text{ авт.}$$

де коефіцієнт суми:

$$K_c = \frac{q^{T_{\text{сл}}} - 1}{q - 1} = \frac{1.080^{14} - 1}{1.080 - 1} = 24.21$$

Обчислюємо потрібний модуль пружності:

$$E_{\text{пот}} = 42.843 * \ln(\sum N_p) - b = 42.843 * \ln(2473404) - 315.68 = 315.02 \text{ МПа}$$

4. Розрахункове навантаження

Навантаження визначається	по ДБН В.2.3-4
Розрахункове навантаження	Стандартна
Вид розрахункового навантаження	Динамічна
Тип колеса	Двобалоних

Нормативне статичне навантаження на вісь, $Q_{розр}/вісь$ кН	115.00
Тиск в шинах p , МПа	0.80
Діаметр штамп D , м	0.3450

Визначення параметрів розрахункового навантаження:

Розрахунок динамічного навантаження:

$$Q_{розр} = Q_i * K_{дин} = 57.50 * 1.3 = 74.75 \text{ кН}$$

Розрахунок діаметра штамп:

$$D = 0.01 * \sqrt{\frac{40 * Q_{розр}}{\pi * p}} = 0.01 * \sqrt{\frac{40 * 74.75}{\pi * 0.80}} = 0.3450 \text{ м}$$

5. Конструкція дорожнього одягу

Таблиця 2. Конструкція дорожнього одягу

№ шару г	Найменування матеріалу шару	Товщина шару, см		Модуль пружності, МПа			Середнє значення межі міцності на	Коефіцієнт m	Коефіцієнт $K_{пр}$	Вологість, W_r , частки од.	Коефіцієнт K_3	Зчеплення, C , МПа		Кут внутрішнього		Щільність, ρ , кг/куб.м.
		Мінімальна,	Максимальна,	Пружний шару	Зсув, $E_{зс}$	Згин, E_p						динамічна	статична	динамічна	статична	
1	Щебеневомастиковий асфальтобетон ЩМА-15 на бітумі БМПА 40/60-57	5.0	5.0	3410	2200	4510	4.73	7.15	3.19	-	-	-	-	-	-	2400
2	Асфальтобетон щільний на бітумі БМПА 60/90-53 з термоеластопластом, Тип А	12.0	12.0	3654	1904	5363	10.40	6.00	3.00	-	-	-	-	-	-	2400
3	Щебенево-піщані суміші, укріплені цементом М40	15.0	15.0	700	-	700	0.500	-	-	-	-	-	-	-	-	2000
4	Щебенево-піщана суміш С7	15.0	15.0	260	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2000
5	Пісок середньої крупності	25.0	25.0	120	-	-	-	-	-	-	6.00	0.004	0.004	32.0	32.0	1950
6	Пісок однорідний	-	-	75	-	-	-	-	-	-	7.00	0.003	0.003	31.0	31.0	2000

Розрахунок конструкції дорожнього одягу за допустимим пружним прогином.

1) Розрахунок виконується для шару Пісок середньої крупності

(Розрахунок виконаний за номограмою ГБН В.2.3-37641918-559)

$$\frac{E_H}{E_8} = \frac{E_{\text{плід}}}{E_2} = \frac{75.00}{120.00} = 0.63; \quad \frac{h_8}{D} = \frac{25.0}{34.50} = 0.72; \quad \frac{E_{2\text{заг}}}{E_2} = 0.790; \quad E_{2\text{заг}} = 0.790 * 120.00 = 94.78 \text{ МПа};$$

2) Розрахунок виконується для шару Щебенево-піщана суміш С7

(Розрахунок виконаний за номограмою ГБН В.2.3-37641918-559)

$$\frac{E_H}{E_8} = \frac{E_{\text{плід}}}{E_3} = \frac{94.78}{260.00} = 0.36; \quad \frac{h_8}{D} = \frac{15.0}{34.50} = 0.43; \quad \frac{E_{3\text{заг}}}{E_3} = 0.516; \quad E_{3\text{заг}} = 0.516 * 260.00 = 134.21 \text{ МПа};$$

3) Розрахунок виконується для шару Щебенево-піщани суміші, укріплені цементом М40

(Розрахунок виконаний за номограмою ГБН В.2.3-37641918-559)

$$\frac{E_H}{E_8} = \frac{E_{\text{плід}}}{E_4} = \frac{134.21}{700.00} = 0.19; \quad \frac{h_8}{D} = \frac{15.0}{34.50} = 0.43; \quad \frac{E_{4\text{заг}}}{E_4} = 0.327; \quad E_{4\text{заг}} = 0.327 * 700.00 = 228.65 \text{ МПа};$$

4) Розрахунок виконується для шару Асфальтобетон щільний на бітумі БМПА 60/90-53 з термоеластопластом, Тип А

(Розрахунок виконаний за номограмою ГБН В.2.3-37641918-559)

$$\frac{E_H}{E_8} = \frac{E_{\text{плід}}}{E_5} = \frac{228.65}{3654.00} = 0.06; \quad \frac{h_8}{D} = \frac{12.0}{34.50} = 0.35; \quad \frac{E_{5\text{заг}}}{E_5} = 0.125; \quad E_{5\text{заг}} = 0.125 * 3654.00 = 458.34 \text{ МПа};$$

5) Розрахунок виконується для шару Щебеневомастиковий асфальтобетон ЦМА-15 на бітумі БМПА 40/60-57

(Розрахунок виконаний за номограмою ГБН В.2.3-37641918-559)

$$\frac{E_H}{E_8} = \frac{E_{\text{плід}}}{E_6} = \frac{458.34}{3410.00} = 0.13; \quad \frac{h_8}{D} = \frac{5.0}{34.50} = 0.14; \quad \frac{E_{6\text{заг}}}{E_6} = 0.164; \quad E_{6\text{заг}} = 0.164 * 3410.00 = 558.69 \text{ МПа};$$

$$K_{\text{мц}} = \frac{E_{\text{заг}}}{E_{\text{потр}}} = \frac{558.69}{315.02} = 1.7735$$

$$\text{Необхідний коефіцієнт міцності } K_{\text{пр}}^{\text{тр}} = 1.43$$

1.7735 > 1.43 - умова виконана

$$\text{Запас міцності} = \frac{K_{\text{мц}} - K_{\text{пр}}^{\text{тр}}}{K_{\text{пр}}^{\text{тр}}} * 100\% = \frac{1.7735 - 1.43}{1.43} * 100\% = +24\%$$

Розрахунок за умовою зсувостійкості робочого шару земляного полотна і шарів із незв'язних матеріалів.

1) Розрахунок виконується для шару Пісок однорідний

Модуль пружності верхнього шару моделі обчислюють як середньозважений

$$E_8 = \frac{E_1 * h_1 + E_2 * h_2 + E_3 * h_3 + E_4 * h_4 + E_5 * h_5}{h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5} = \frac{2200 * 5.0 + 1904 * 12.0 + 700 * 15.0 + 260 * 15.0 + 120 * 25.0}{5.0 + 12.0 + 15.0 + 15.0 + 25.0} = 711.78 \text{ МПа}$$

$$\text{За відношеннями: } \frac{E_8}{E_H} = \frac{711.78}{75.00} = 9.49 \quad \text{и} \quad \frac{h_8}{D} = \frac{72}{34.50} = 2.09$$

за допомогою номограми знаходимо питоме активне напруження зсуву від одиночного навантаження:

$$\bar{t}_a = 0.00840 \text{ МПа}$$

Діючі активні напруження зсуву:

$$T = t_n + t_v = 0.0067 + -0.00310 = 0.00362 \text{ МПа}$$

$$\text{де } t_n = t_a * p = 0.00840 * 0.80 = 0.0067 \text{ МПа}$$

$$t_v = 0.00001 * (5 - 0.3 * \rho) * (h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5) = 0.00001 * (5 - 0.3 * 31.0) * (5.0 + 12.0 + 15.0 + 15.0 + 25.0) = -0.00310 \text{ МПа}$$

Граничне активне напруження зсуву:

$$T_{\text{гр}} = C_{\text{гр}} * k_1 * k_2 * k_3 = 0.003 * 1.0 * 0.750 * 7.0 = 0.01575 \text{ МПа}$$

$$\text{де } k_2 = 1.816 - 0.15 * \ln\left(\frac{\sum N_p}{(T_{\text{др}} * T_{\text{сл}})}\right) = 1.816 - 0.15 * \ln(2473404 / (145 * 14)) = 0.750 \text{ МПа}$$

$$K_{\text{мц}} = \frac{T_{\text{гр}}}{T} = \frac{0.01575}{0.00362} = 4.3505$$

Необхідний коефіцієнт міцності $K_{\text{мц}}^{\text{потр}} = 1.48$

$4.3505 > 1.48$ - умова виконана

$$\text{Запас міцності} = \frac{K_{\text{мц}} - K_{\text{мц}}^{\text{потр}}}{K_{\text{мц}}^{\text{потр}}} * 100\% = \frac{4.3505 - 1.48}{1.48} * 100\% = +193\%$$

2) Розрахунок виконується для шару Пісок середньої крупності

Модуль пружності верхнього шару моделі обчислюють як середньозважений

$$E_{\text{в}} = \frac{E_1 * h_1 + E_2 * h_2 + E_3 * h_3 + E_4 * h_4}{h_1 + h_2 + h_3 + h_4} = \frac{2200 * 5.0 + 1904 * 12.0 + 700 * 15.0 + 260 * 15.0}{5.0 + 12.0 + 15.0 + 15.0} = 1026.55 \text{ МПа}$$

$$\text{За відношеннями: } \frac{E_{\text{в}}}{E_{\text{н}}} = \frac{1026.55}{94.78} = 10.83 \text{ и } \frac{h_{\text{в}}}{D} = \frac{47}{34.50} = 1.36$$

за допомогою номограми знаходимо питоме активне напруження зсуву від одиночного навантаження:

$$\bar{t}_a = 0.01369 \text{ МПа}$$

Діючі активні напруження зсуву:

$$T = t_n + t_v = 0.0110 + -0.00216 = 0.00879 \text{ МПа}$$

$$\text{де } t_n = t_a * p = 0.01369 * 0.80 = 0.0110 \text{ МПа}$$

$$t_v = 0.00001 * (5 - 0.3 * \rho) * (h_1 + h_2 + h_3 + h_4) = 0.00001 * (5 - 0.3 * 32.0) * (5.0 + 12.0 + 15.0 + 15.0) = -0.00216 \text{ МПа}$$

Граничне активне напруження зсуву:

$$T_{\text{гр}} = C_{\text{гр}} * k_1 * k_2 * k_3 = 0.004 * 1.0 * 0.750 * 6.0 = 0.01800 \text{ МПа}$$

$$\text{де } k_2 = 1.816 - 0.15 * \ln\left(\frac{\sum N_p}{(T_{\text{др}} * T_{\text{сл}})}\right) = 1.816 - 0.15 * \ln(2473404 / (145 * 14)) = 0.750 \text{ МПа}$$

$$K_{\text{мц}} = \frac{T_{\text{гр}}}{T} = \frac{0.01800}{0.00879} = 2.0487$$

Необхідний коефіцієнт міцності $K_{\text{мц}}^{\text{потр}} = 1.48$

$2.0487 > 1.48$ - умова виконана

$$\text{Запас міцності} = \frac{K_{\text{мц}} - K_{\text{мц}}^{\text{потр}}}{K_{\text{мц}}^{\text{потр}}} * 100\% = \frac{2.0487 - 1.48}{1.48} * 100\% = +38\%$$

Розрахунок конструкції дорожнього одягу на опір монолітних шарів втомного руйнування від розтягу при згині.

1) Розрахунок на згин виконується для шару Асфальтобетон щільний на бітумі БМПА 60/90-53 з термоеластопластом, Тип А

Середньозважений модуль пружності шарів:

$$E_{\text{в}} = \frac{E_1 \cdot h_1 + E_2 \cdot h_2}{h_1 + h_2} = \frac{4510 \cdot 5.0 + 5363 \cdot 12.0}{5.0 + 12.0} = 5112.12 \text{ МПа}$$

За відношеннями: $\frac{E_{\text{в}}}{E_{\text{н}}} = \frac{5112.12}{228.65} = 22.358$ і $\frac{h_{\text{в}}}{D} = \frac{17.00}{34.50} = 0.49$

За номограми визначаємо: $\overline{\sigma}_r = 1.753 \text{ МПа}$

Розрахункова розрахункове напруження на розтяг :

$$\sigma_r = \overline{\sigma}_r \cdot \rho \cdot k_{\text{в}} = 1.753 \cdot 0.80 \cdot 0.85 = 1.192 \text{ МПа}$$

Обчислюємо граничне напруження на розтяг:

$$R_{3\text{г}} = R_p \cdot k_{\text{т}} \cdot k_{\text{Т}} \cdot k_{\text{кп}} = 8.622 \cdot 1.00 \cdot 0.90 \cdot 0.258 = 2.002 \text{ МПа}$$

$$\text{де } R_p = R_{\text{лаб}} \cdot (1 - t \cdot V_m) = 10.40 \cdot (1 - 1.71 \cdot 0.10) = 8.622 \text{ МПа}$$

Коефіцієнт, який враховує вплив повторних навантажень у нерозрахунковий період, $K_{\text{кп}}$:

$$k_{\text{кп}} = k_{\text{пр}} \cdot \sum N_p^{(-1/m)} = 3.00 \cdot 2473404^{(-1/6.00)} = 0.258$$

$$K_{\text{мц}} = \frac{R_{3\text{г}}}{\sigma_r} = \frac{2.002}{1.192} = 1.6794$$

Необхідний коефіцієнт міцності $K_{\text{мц}}^{\text{потр}} = 1.35$

$$1.6794 > 1.35 - \text{умова виконана}$$

$$\text{Запас міцності} = \frac{K_{\text{мц}} - K_{\text{мц}}^{\text{потр}}}{K_{\text{мц}}^{\text{потр}}} \cdot 100\% = \frac{1.6794 - 1.35}{1.35} \cdot 100\% = +24\%$$

Розрахунок за умовою згину монолітних основ (напівжорстких).

1) Розрахунок на згин виконується для шару Щебенево-піщані суміші, укріплені цементом М40

Модуль пружності верхнього шару моделі обчислюють як середньозважений

$$E_{\text{в}} = \frac{E_1 \cdot h_1 + E_2 \cdot h_2}{h_1 + h_2} = \frac{4510 \cdot 5.0 + 5363 \cdot 12.0}{5.0 + 12.0} = 5112.12 \text{ МПа}$$

Визначаємо значення розрахункового монолітного шару:

$$E_2 = 700.00 \text{ МПа}$$

Визначаємо еквівалентний модуль однорідного напівпростору під розрахунковим шаром:

$$E_3 = 134.21 \text{ МПа}$$

За відношеннями: $\frac{E_1}{E_2} = \frac{5112.12}{700.00} = 7.303$, $\frac{E_2}{E_3} = \frac{700.00}{134.21} = 5.216$ і $\frac{h_{\text{в}}}{D} = \frac{32.00}{34.50} = 0.93$

За номограми визначаємо: $\overline{\sigma}_r = 0.261 \text{ МПа}$

Розрахункова розрахункове напруження на розтяг :

$$\sigma_r = \overline{\sigma}_r \cdot \rho \cdot k_{\text{в}} = 0.261 \cdot 0.80 \cdot 1.0 = 0.209 \text{ МПа}$$

Обчислюємо граничне напруження на розтяг:

$$R_{3\text{г}} = R_p = 0.500 \text{ МПа}$$

$$K_{\text{мц}} = \frac{R_{\text{зг}}}{\sigma_r} = \frac{0.500}{0.209} = 2.3929$$

Необхідний коефіцієнт міцності $K_{\text{мц}}^{\text{потр}} = 1.35$

$2.3929 > 1.35$ - умова виконана

$$\text{Запас міцності} = \frac{K_{\text{мц}} - K_{\text{мц}}^{\text{потр}}}{K_{\text{мц}}^{\text{потр}}} * 100\% = \frac{2.3929 - 1.35}{1.35} * 100\% = +77\%$$

Таблиця 3. Характеристики міцності конструкції дорожнього одягу.

№ шару г	Найменування матеріалу шару	Розрахункова товщина шару, см	Загальний модуль пружності по шарам, Езаг, МПа	Показник міцності:			Граничне активне напруження зсуву в шарі, Тгр, МПа	Розрахункове активне напруження зсуву, Т, МПа	Граничне напруження розтягу при згині, Rзг, МПа	Розрахункове напруження розтягу в шарі, Gг, МПа	Розрахункова вологість ґрунту, Wр, частки од.	Вартість, гривні/кв.м
				критерій	розрахункове значення коеф. міцності Кмц	величина, запас (+/-), %						
1	Щебеневомастиковий асфальтобетон ЦМА-15 на бітумі БМПА 40/60-57	5.0	559	Пружний прогин	1.77	+24%	-	-	-	-	-	-
2	Асфальтобетон щільний на бітумі БМПА 60/90-53 з термоеластопластом, Тип А	12.0	458	Розтяг	1.68	+24%	-	-	2.002	1.192	-	-
3	Щебенево-піщані суміші, укріплені цементом М40	15.0	229	Розтяг	2.39	+77%	-	-	0.500	0.209	-	-
4	Щебенево-піщана суміш С7	15.0	134	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	Пісок середньої крупності	25.0	95	Зсув	2.05	+38%	0.01800	0.00879	-	-	-	-
6	Пісок однорідний	-	75	Зсув	4.35	+193%	0.01575	0.00362	-	-	-	-
Сумарна товщина конструкції:		72.0	Підсумкова вартість конструкції:									-

6. Інформація

* Розрахунок виконаний. Зауважень немає.

Розрахункові характеристики та результати розрахунку



Нр. = 72.0 см.

E, C, R - МПа; F - град.

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет архітектури будівництва та дизайну
Кафедра будівництва та цивільної інженерії

Графічна частина

до кваліфікаційної роботи
за ступенем вищої освіти бакалавр

на тему «Реконструкція перехресть вулиць Дубнівська-Карпенка-Карого у м.
Луцьк із використанням методу транспортного моделювання»

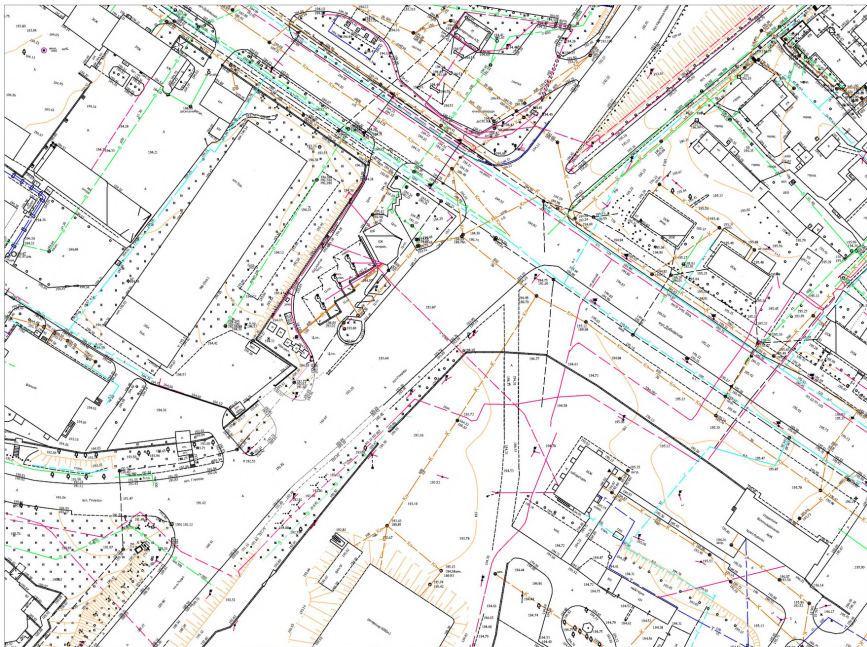
Спеціальність 192 - Будівництво та цивільна інженерія
освітня програма - будівництво та цивільна інженерія

Виконав: здобувач вищої освіти, групи БЦІ-42
Остапчук Соломія Миколаївна

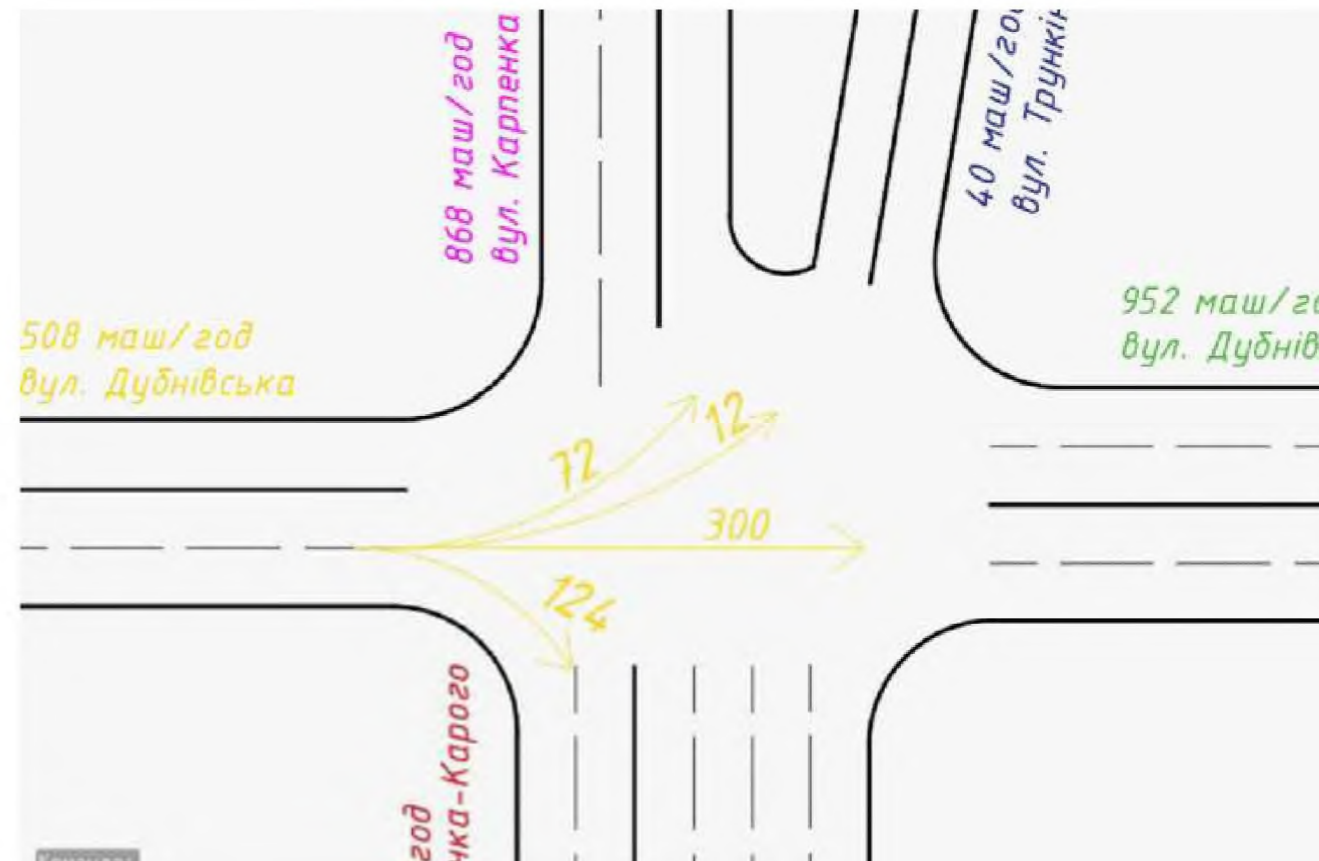
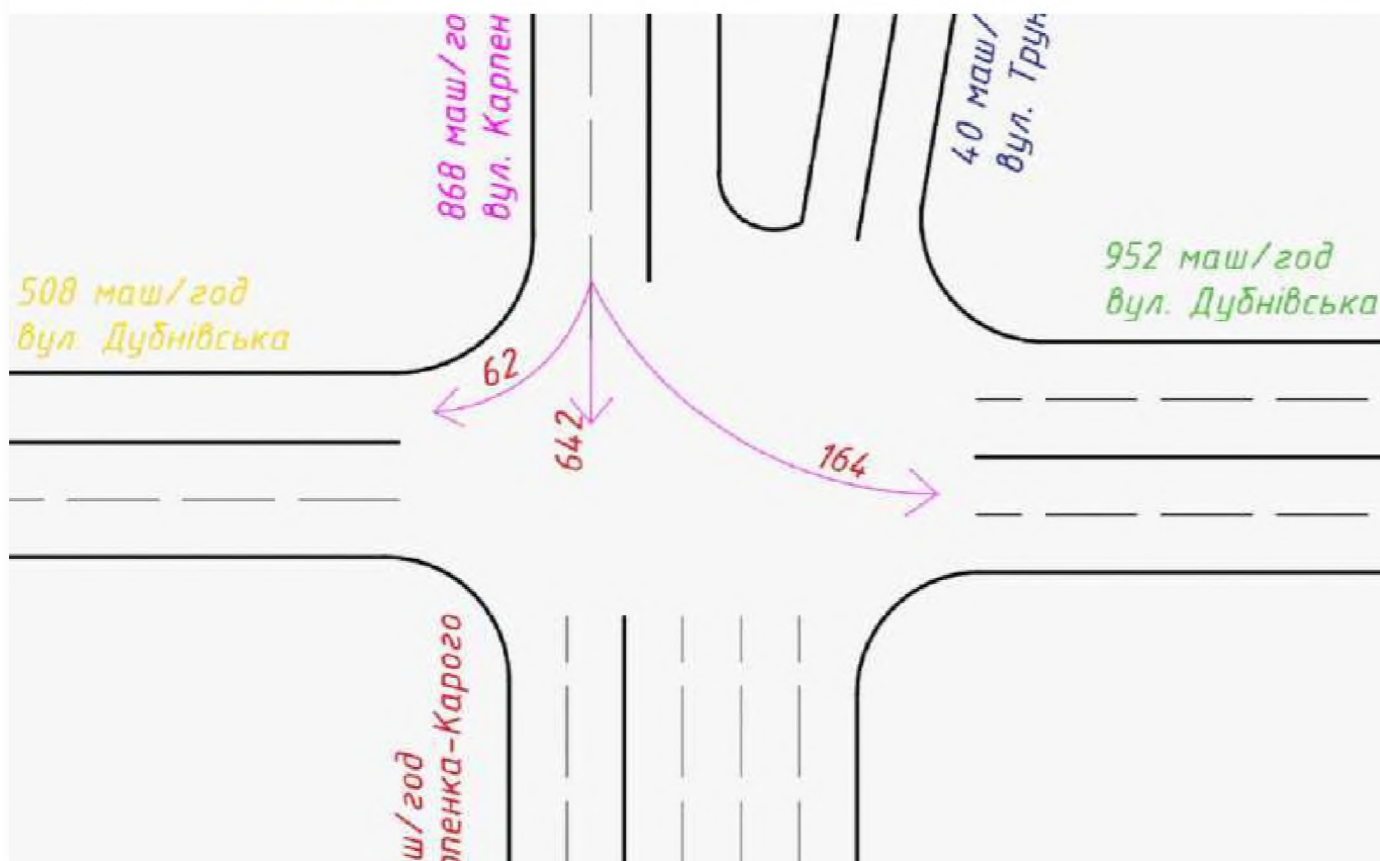
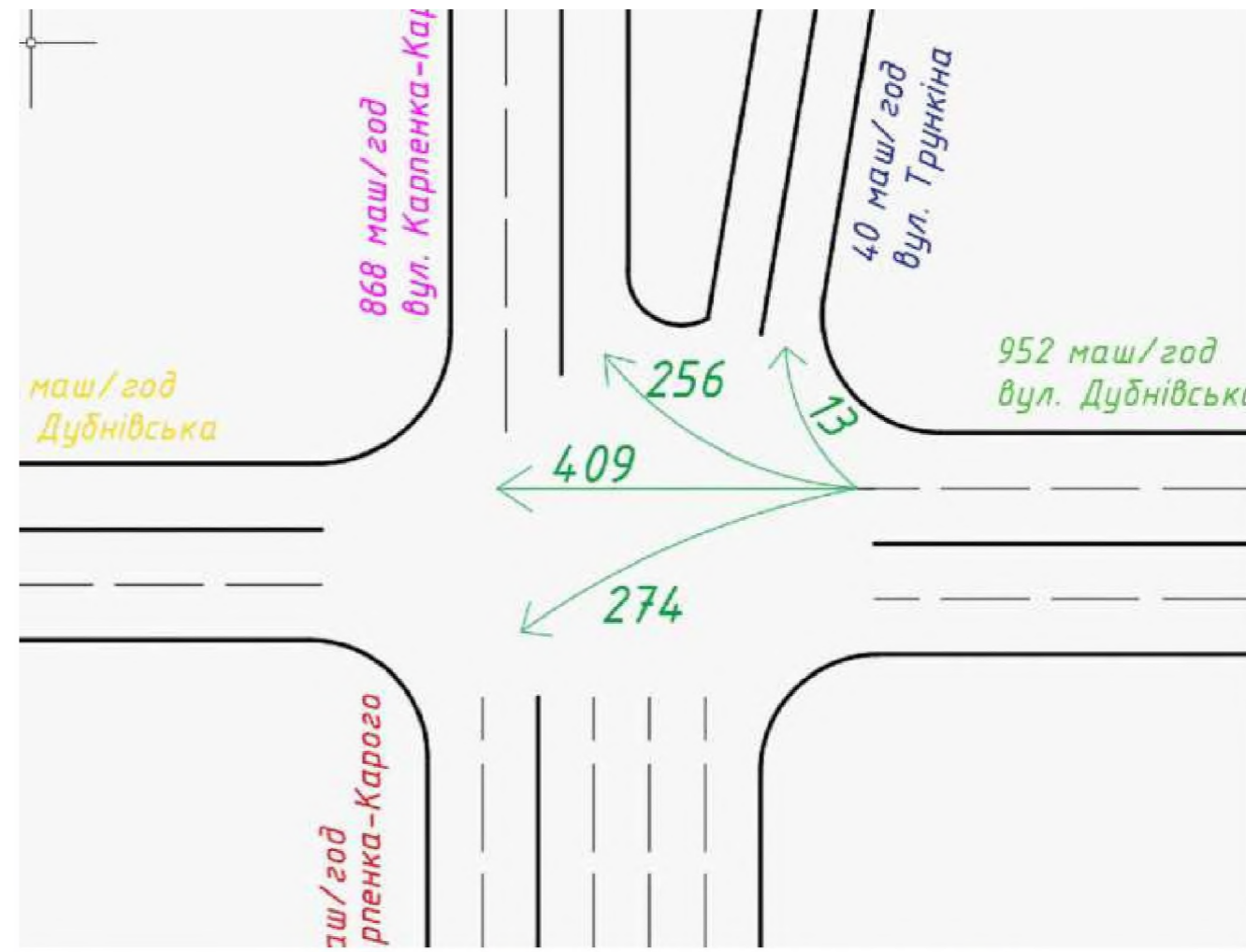
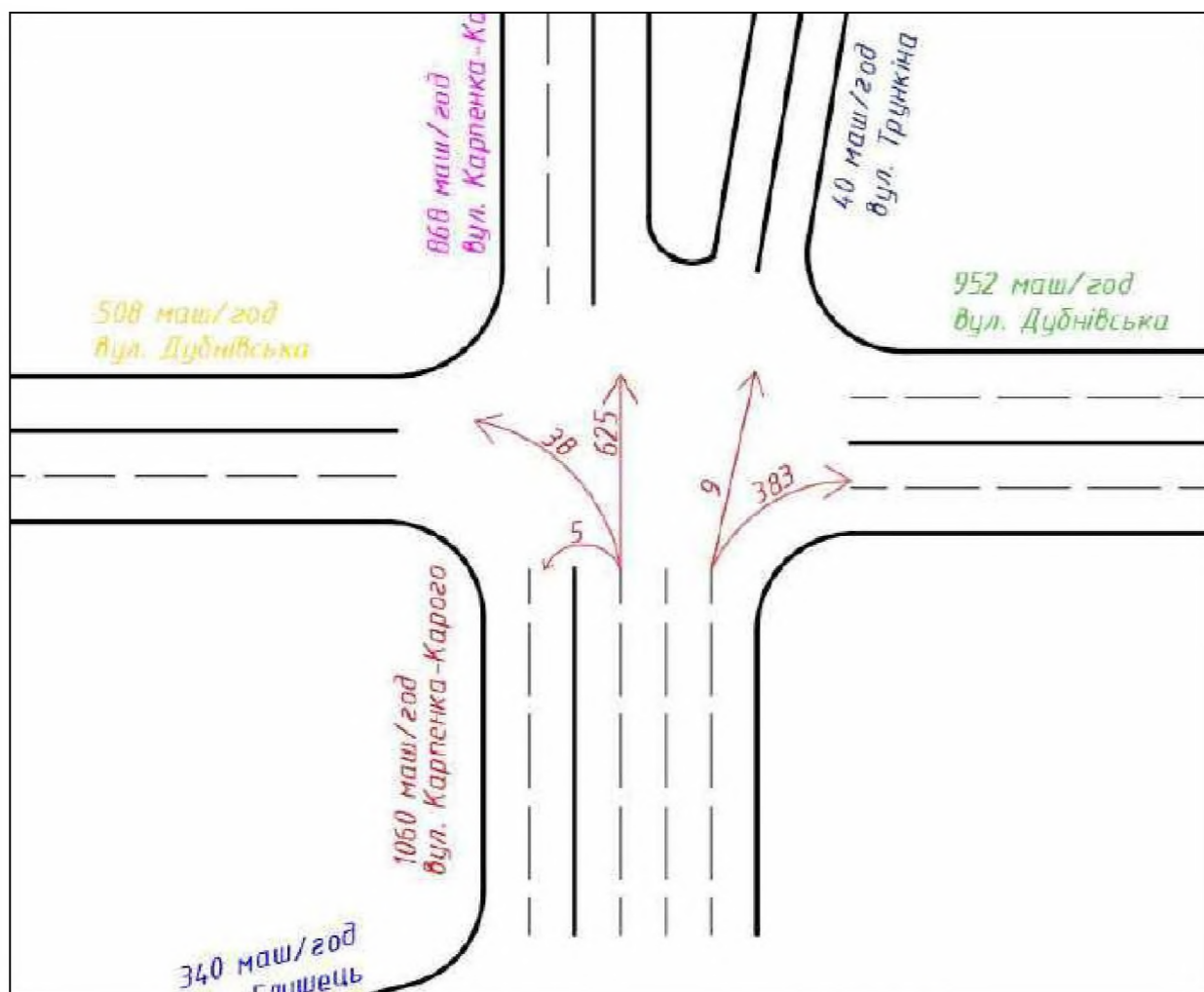
Керівник: к.т.н., доцент
Верешко Олег Вікторович

Луцьк - 2025

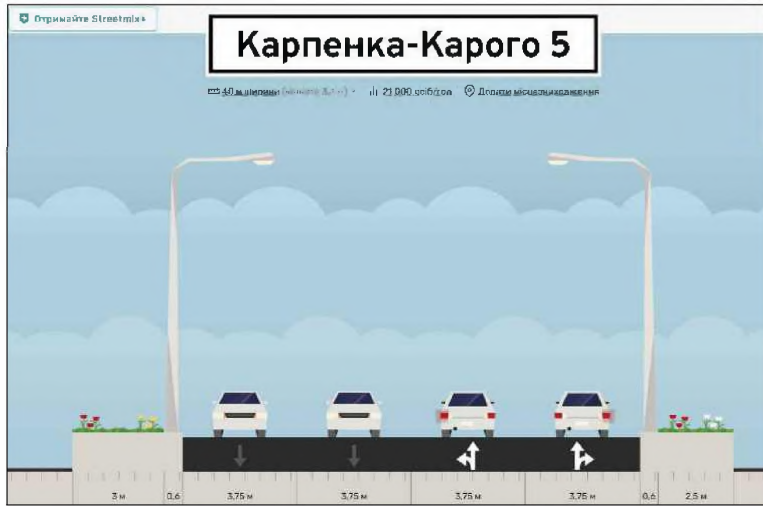
Топографічна зйомка перехрестя вул. Дубнівська - Карпенка-Карого
в м. Луцьк



Напрямок руху та інтенсивність потоків на перехресті



Поперечний профіль існуючого стану



Поперечний профіль запропонованого варіанту 2



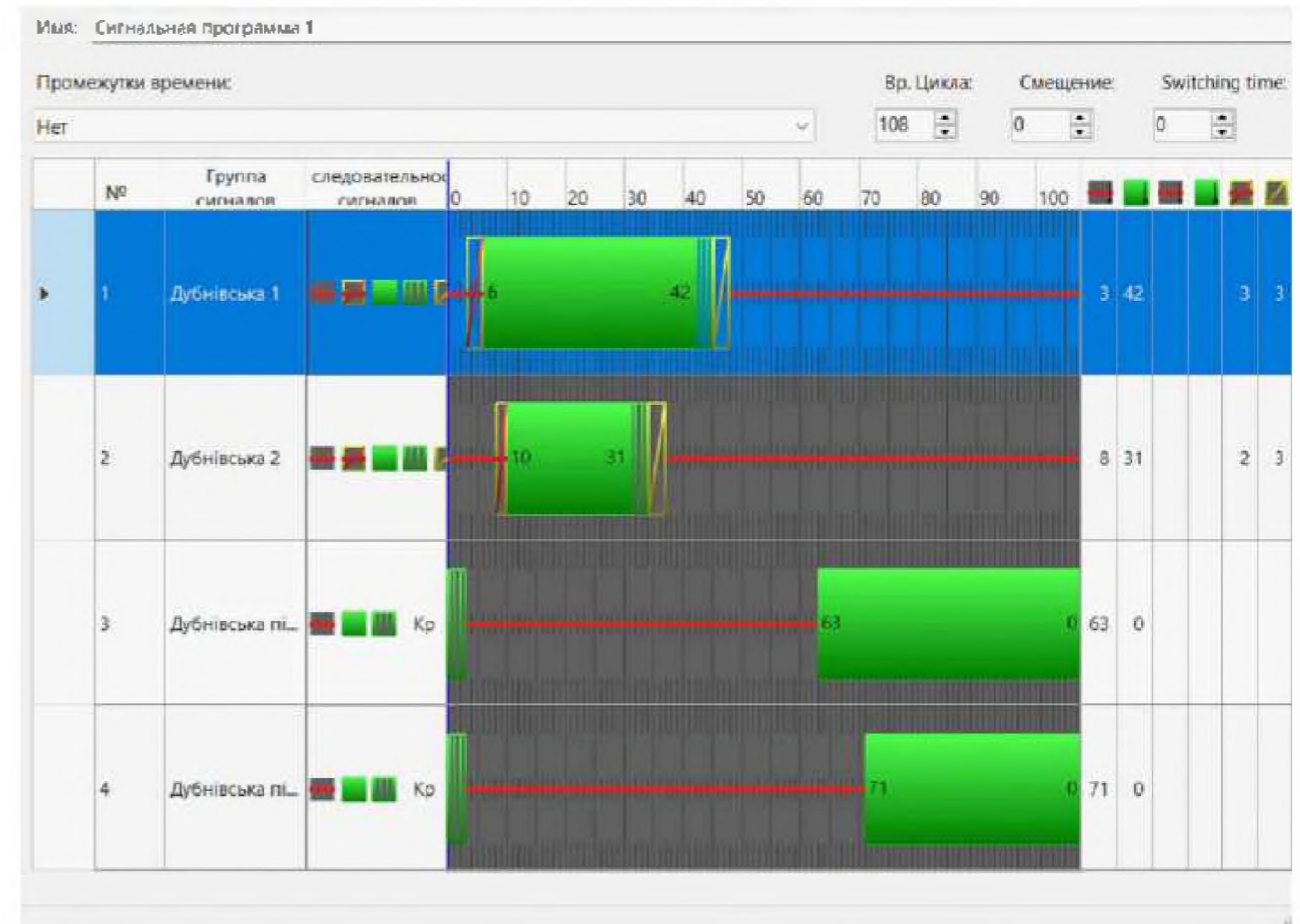
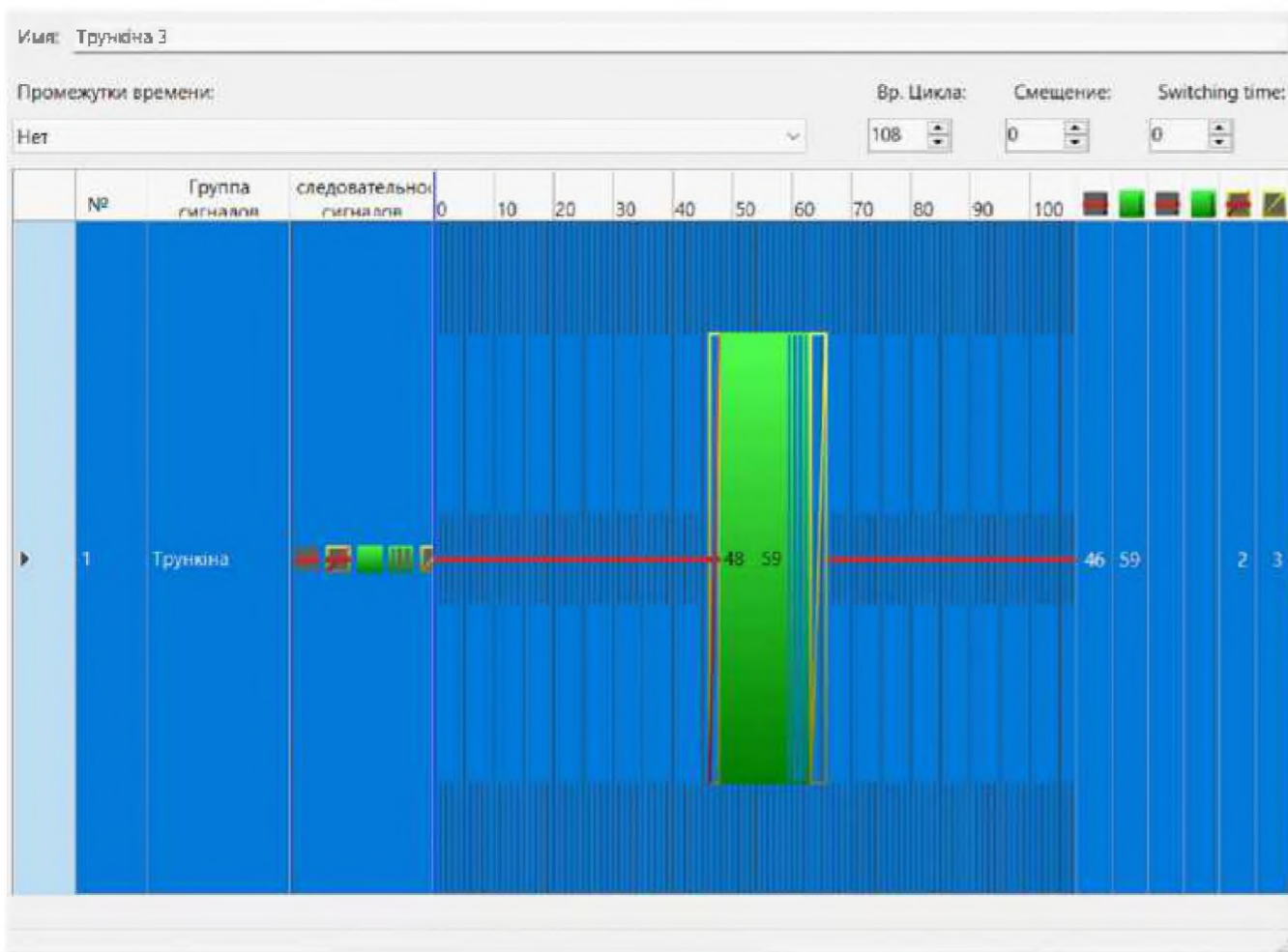
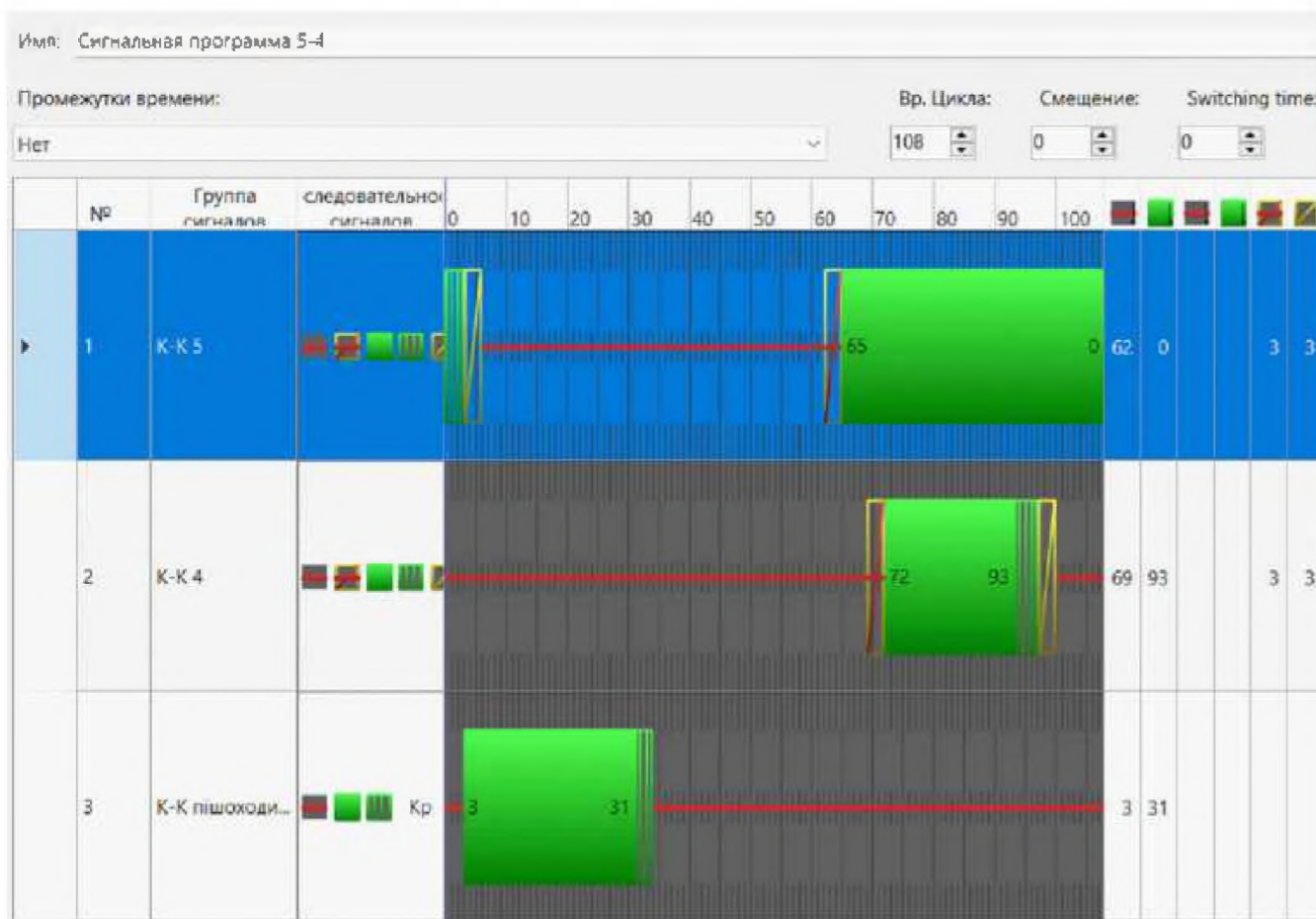
Поперечний профіль існуючого стану



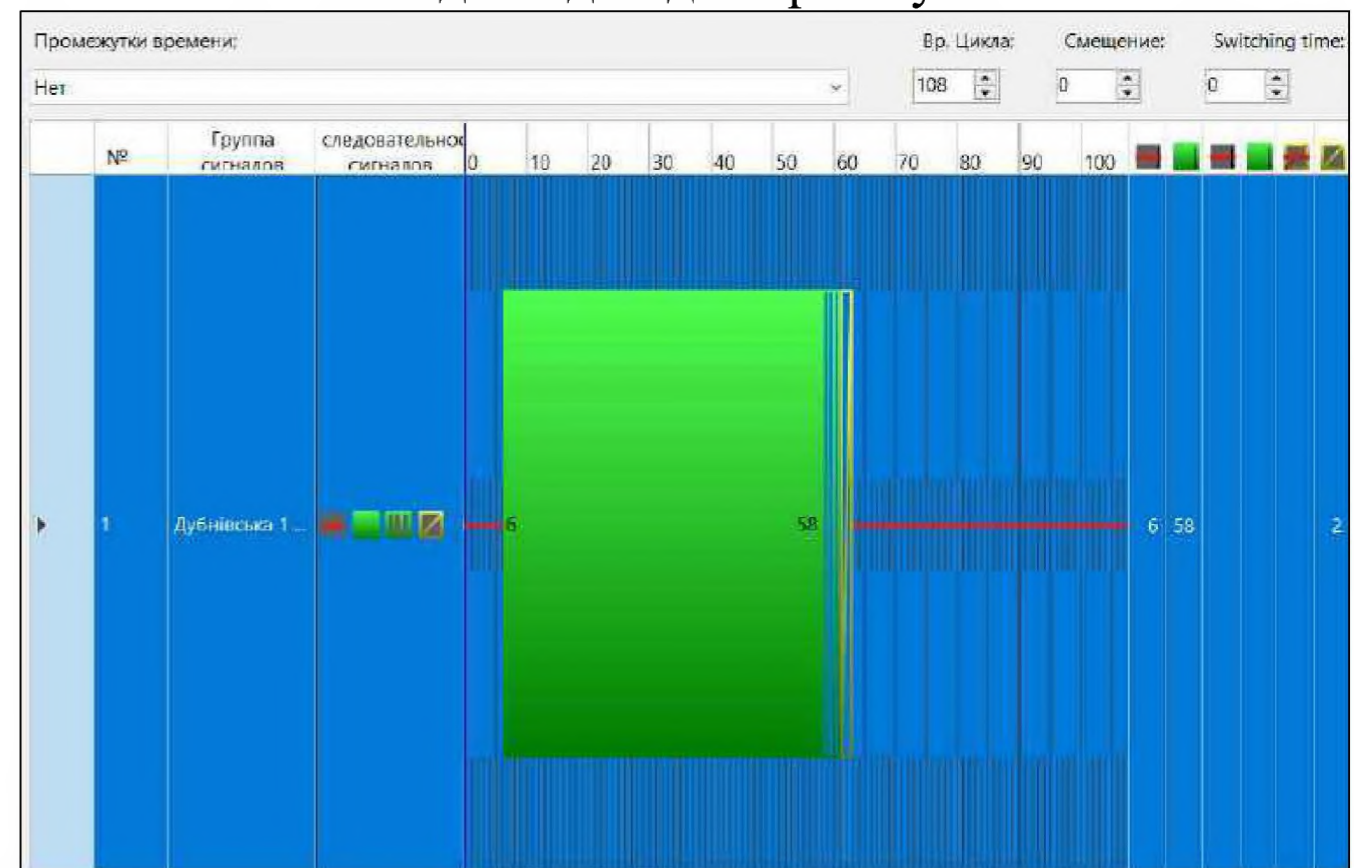
Поперечний профіль запропонованого варіанту 2



Аналіз роботи світлофорного регулювання

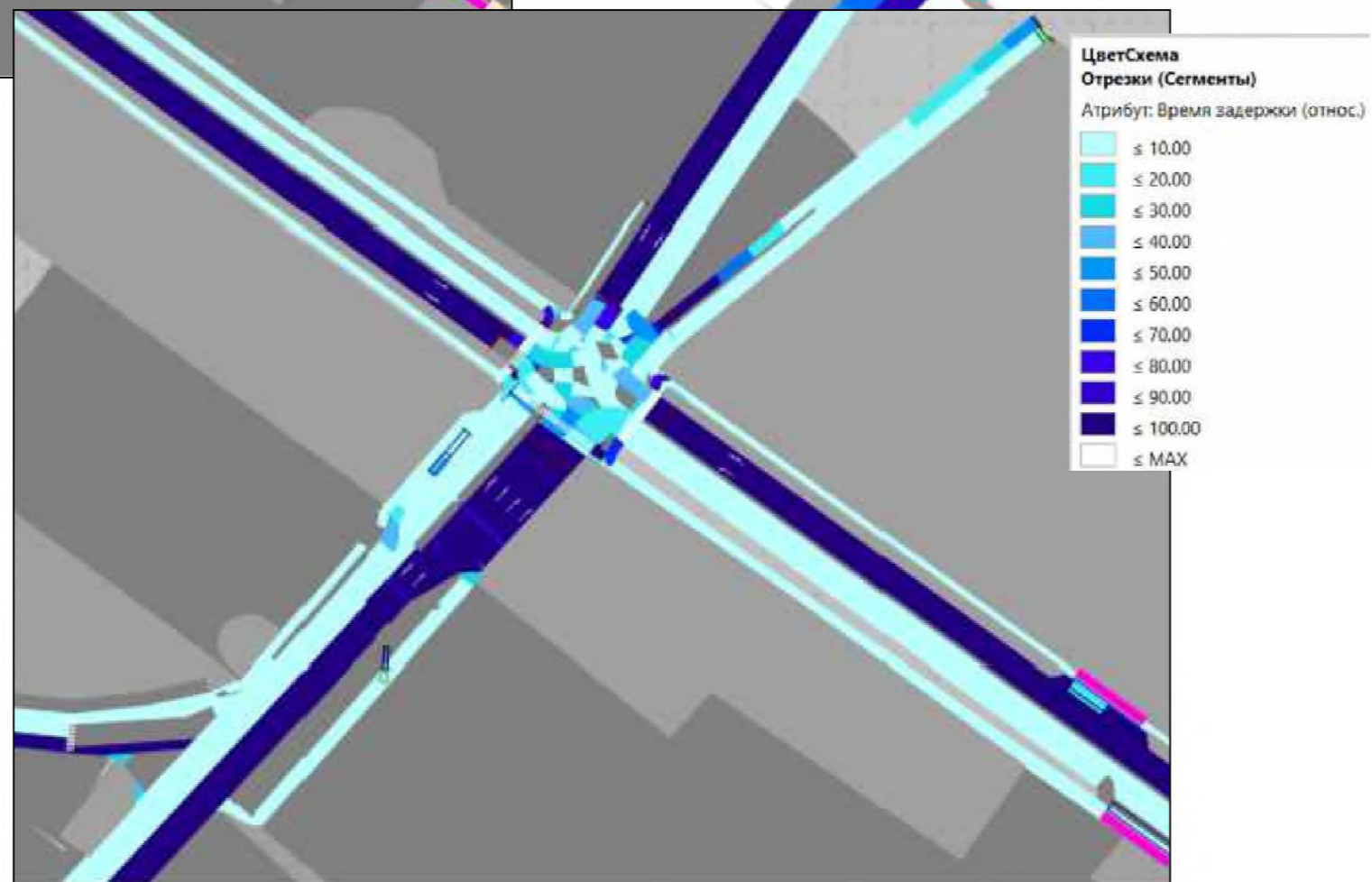
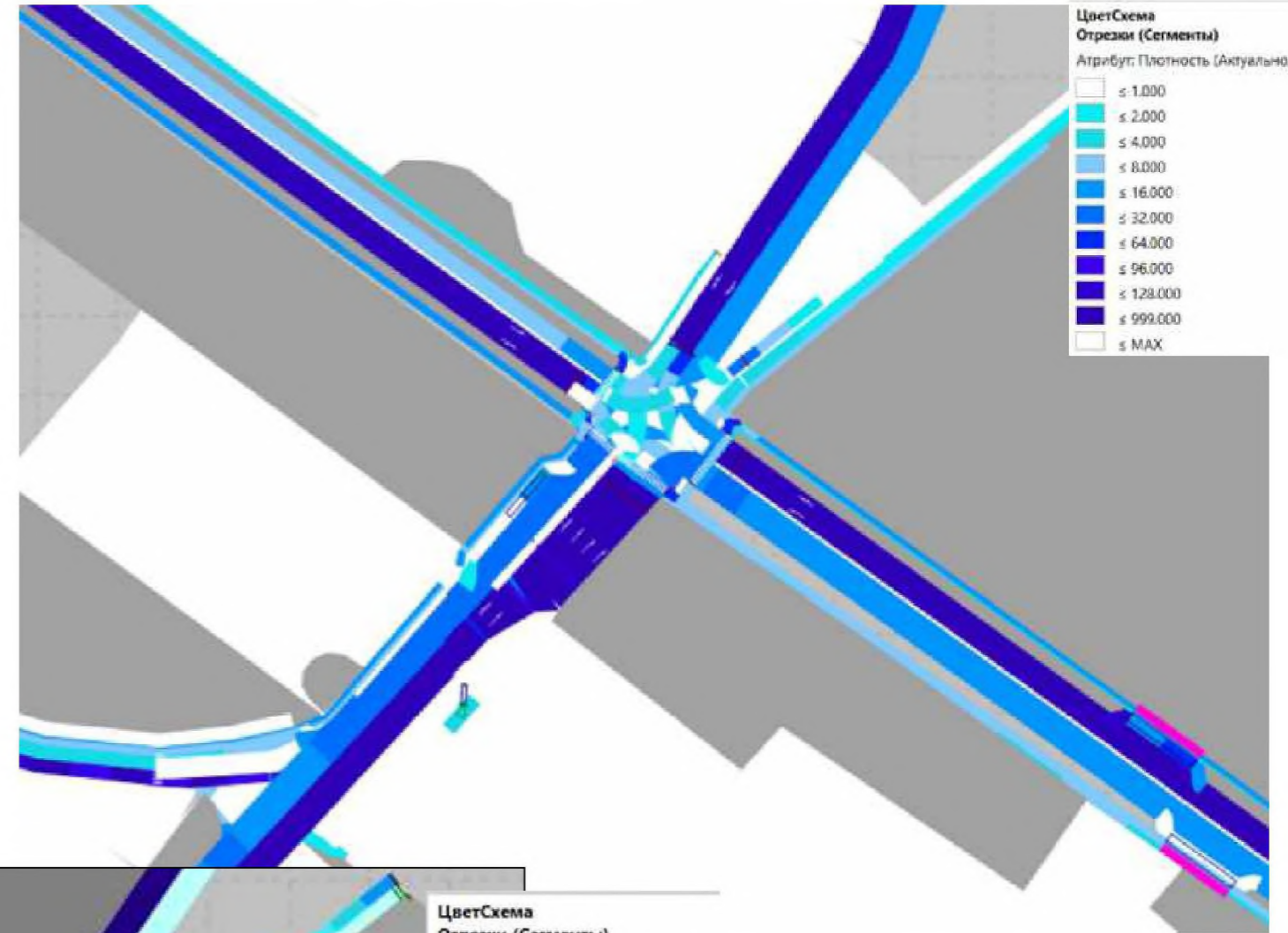
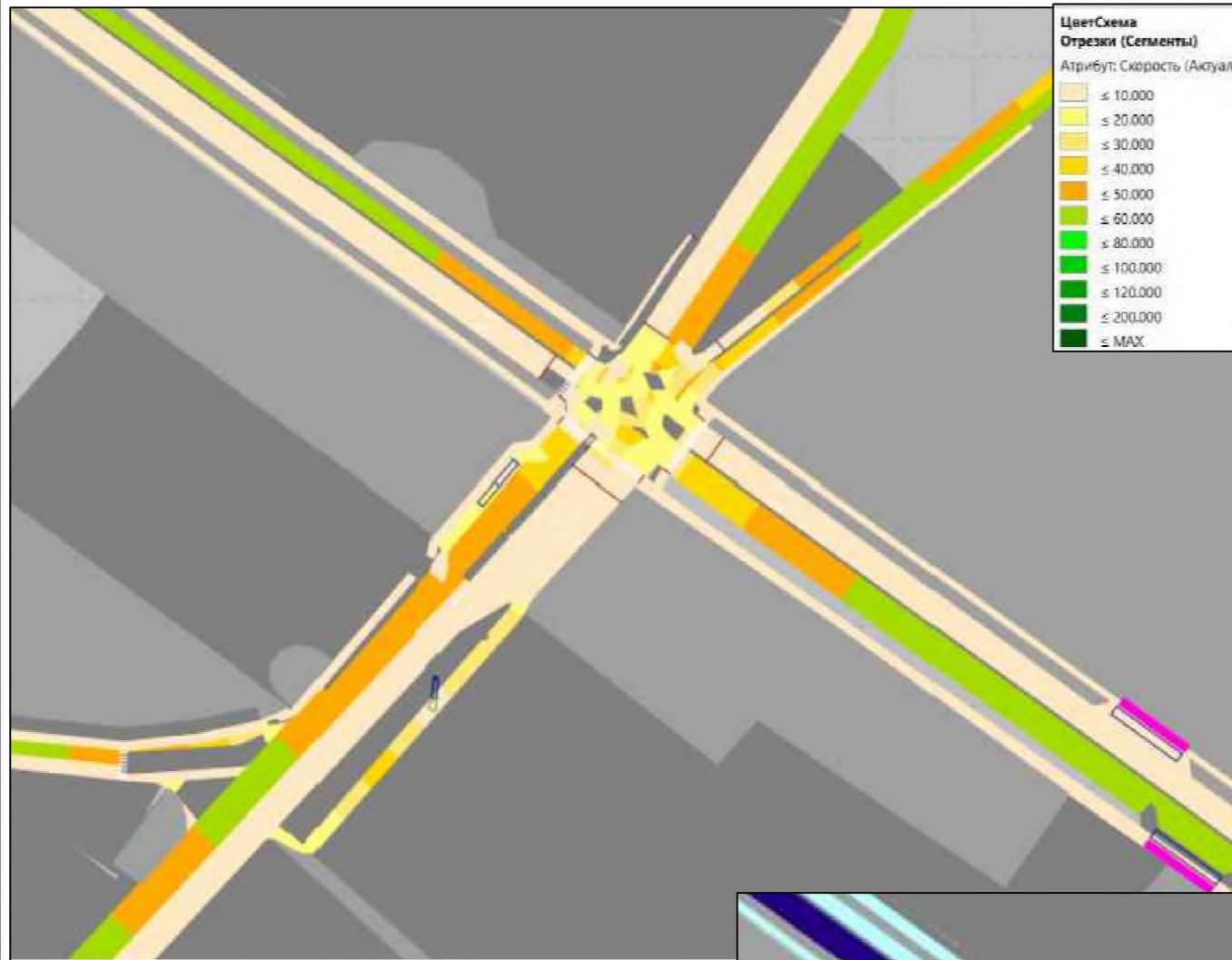


Змінене світлофорне регулювання на вул. Дубнівській 1 відповідно до варіанту 2

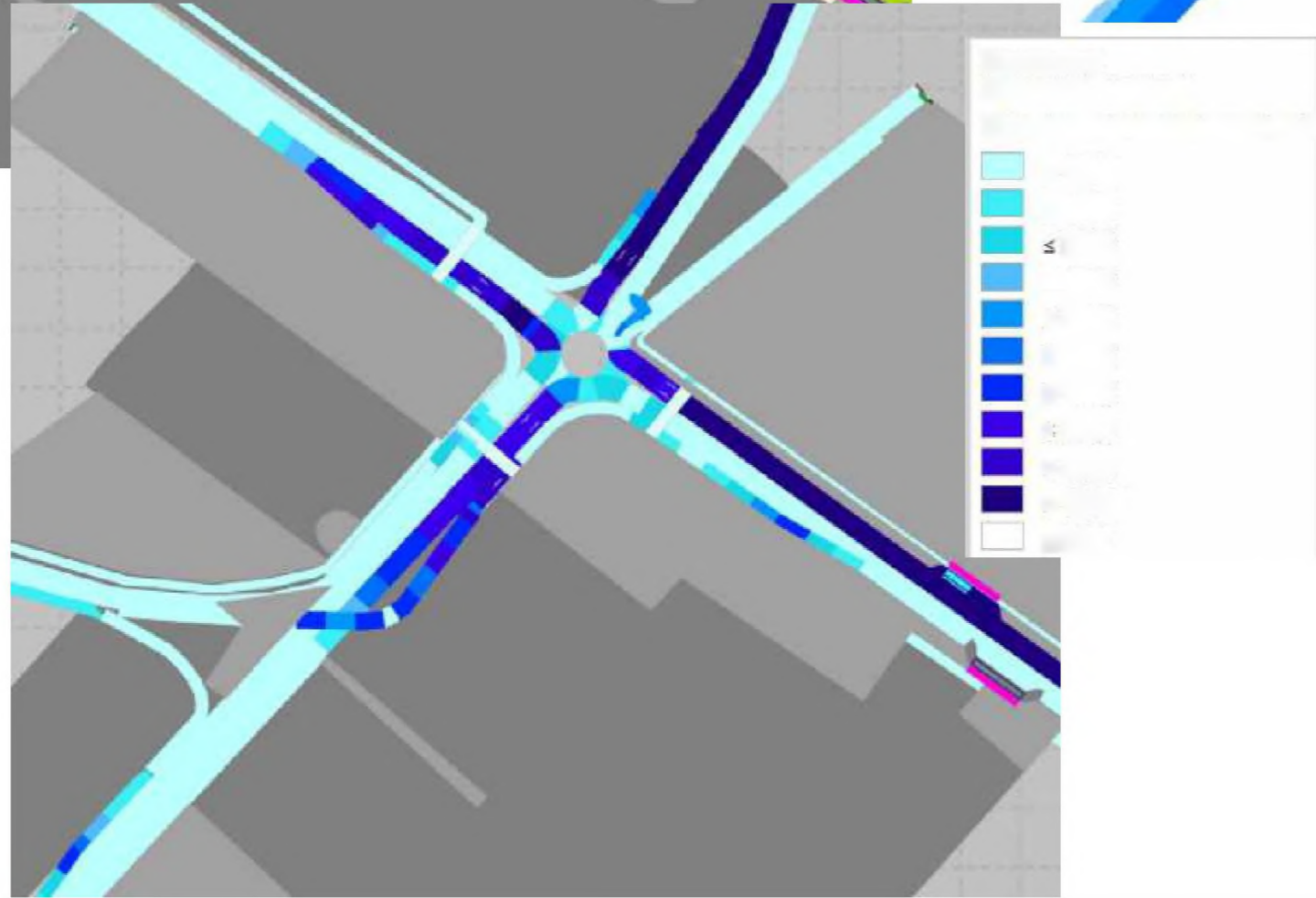
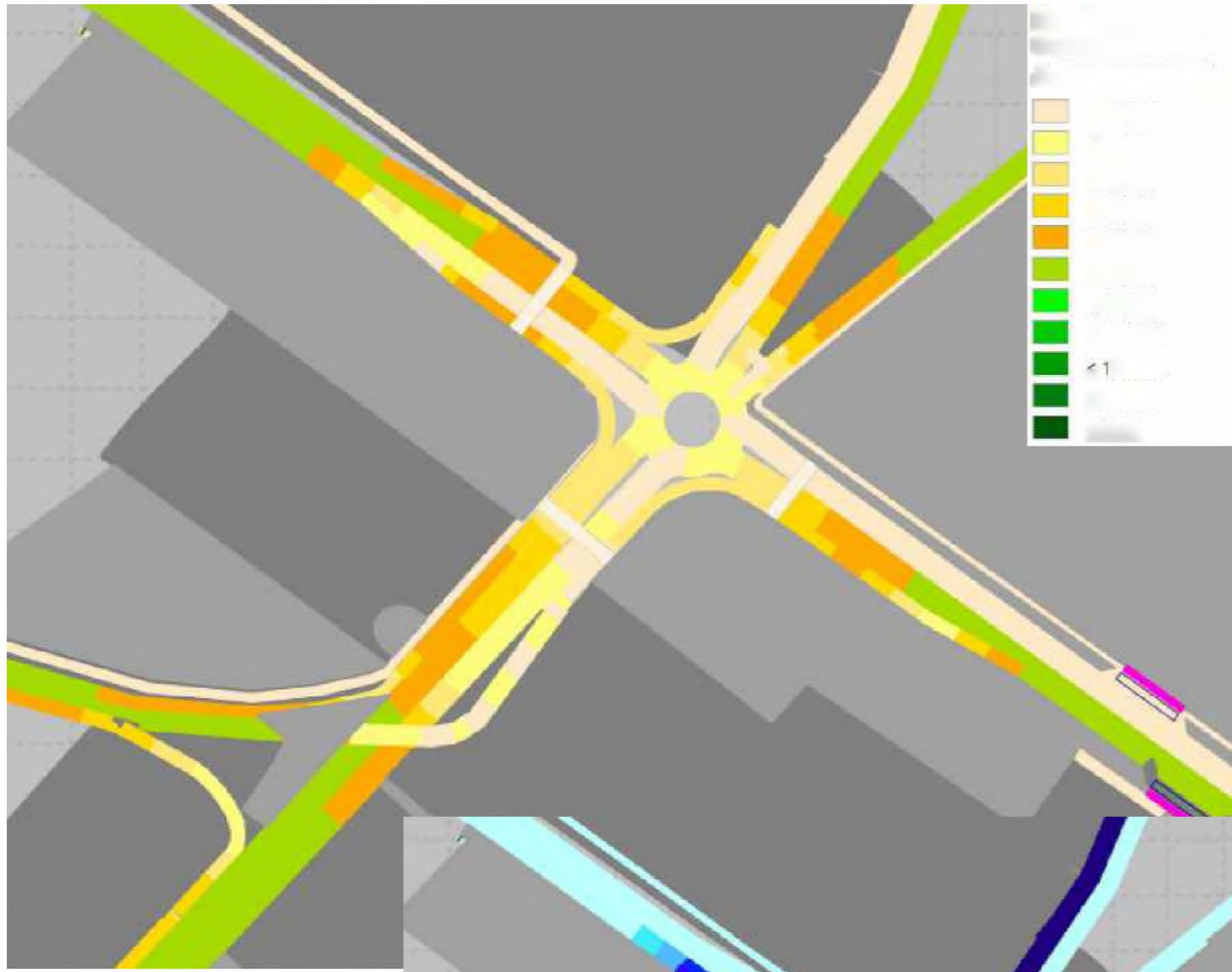




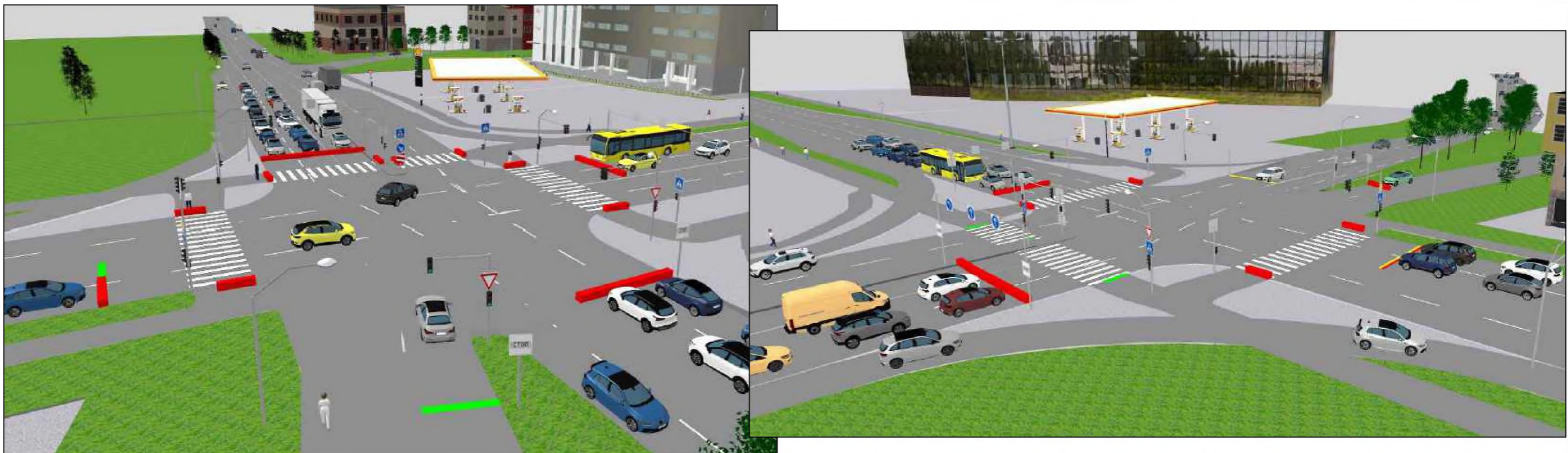
Картограми середньої швидкості, щільності транспортного потоку та часу затримки існуючого стану

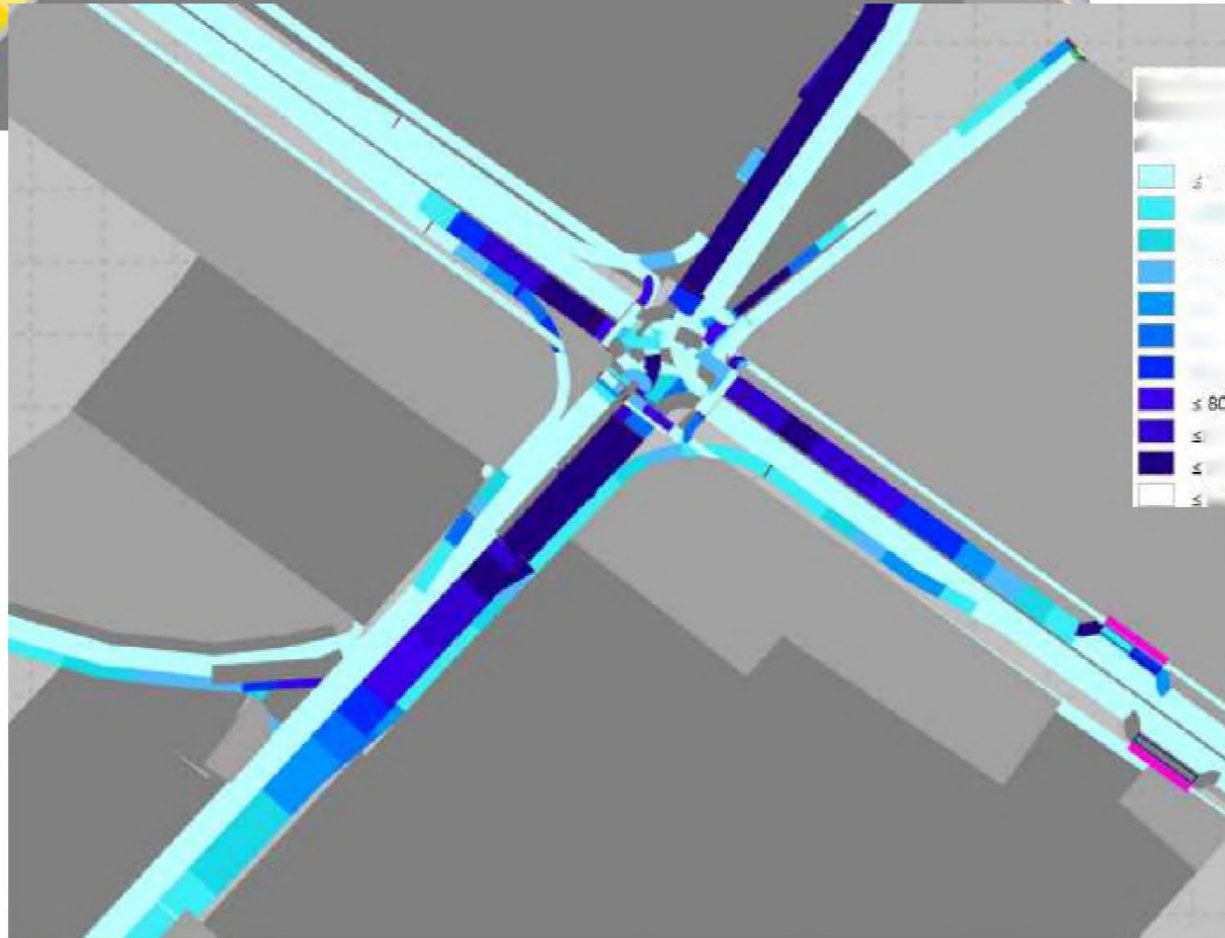
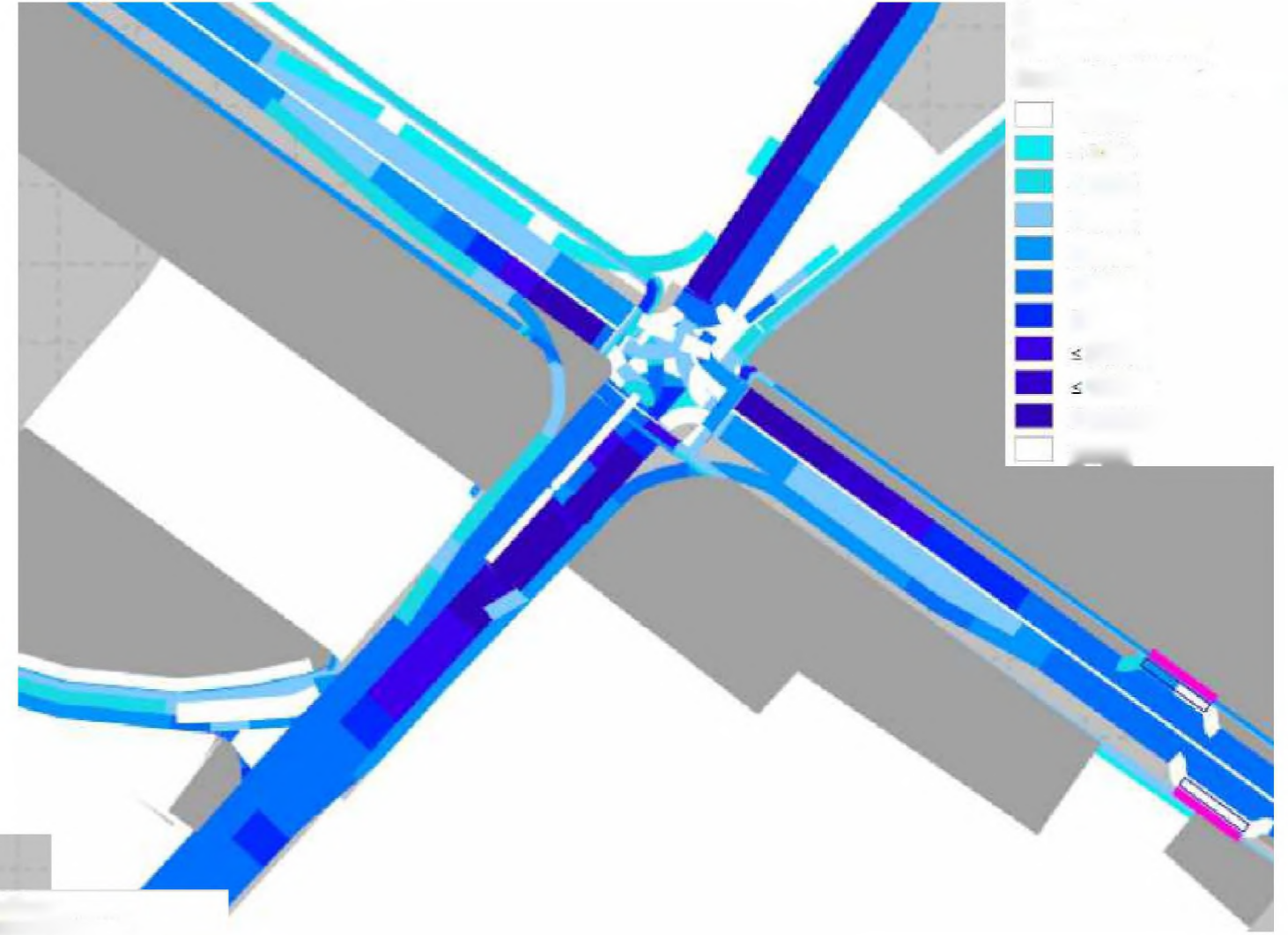
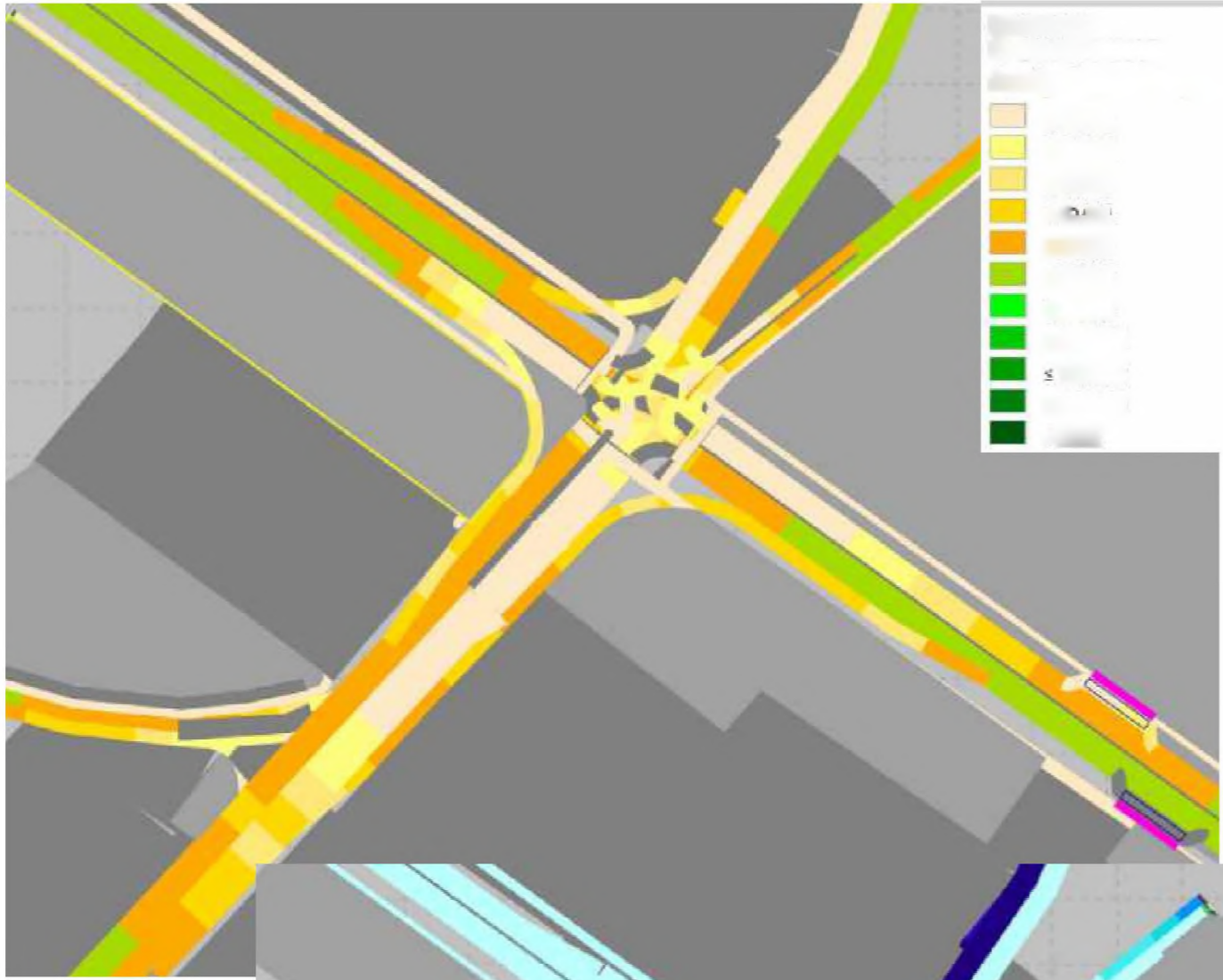




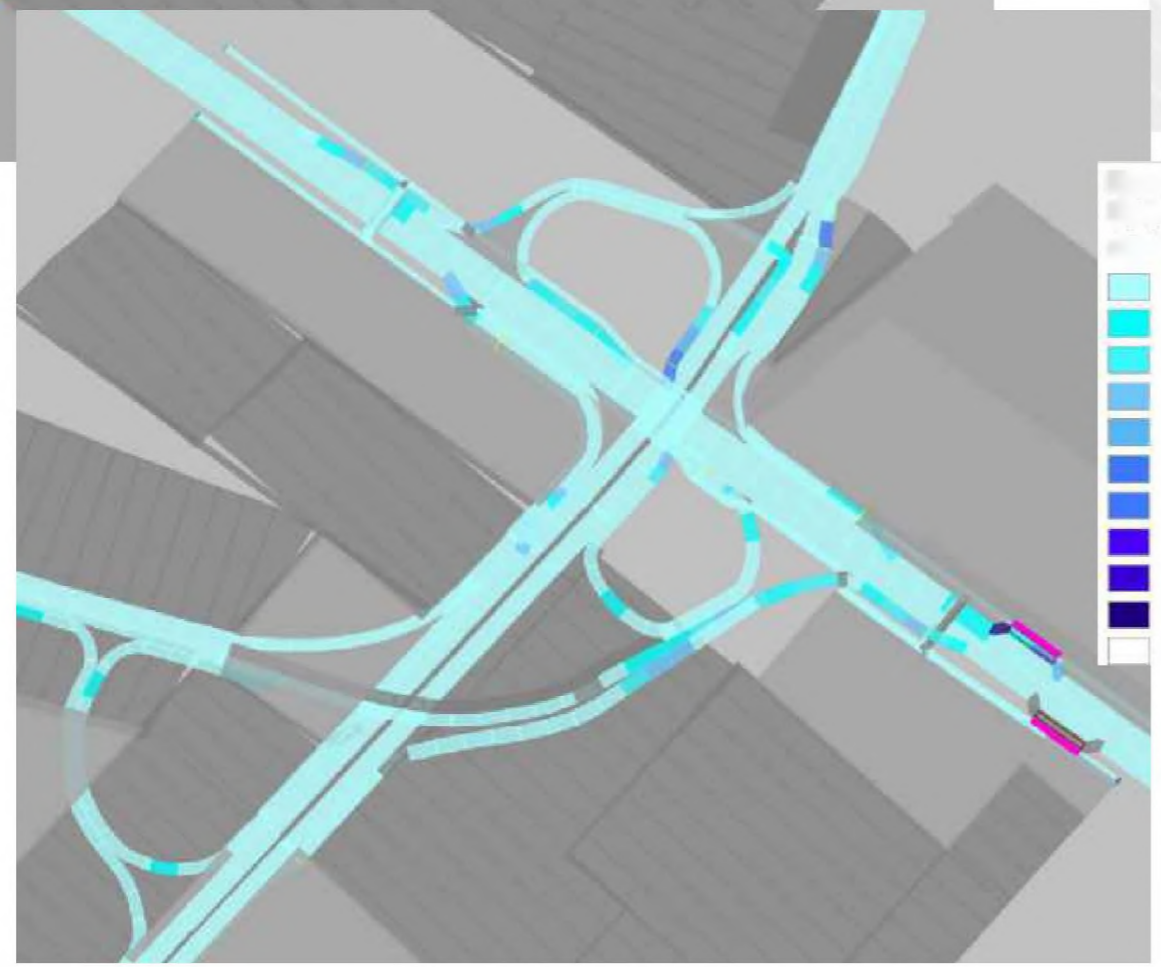
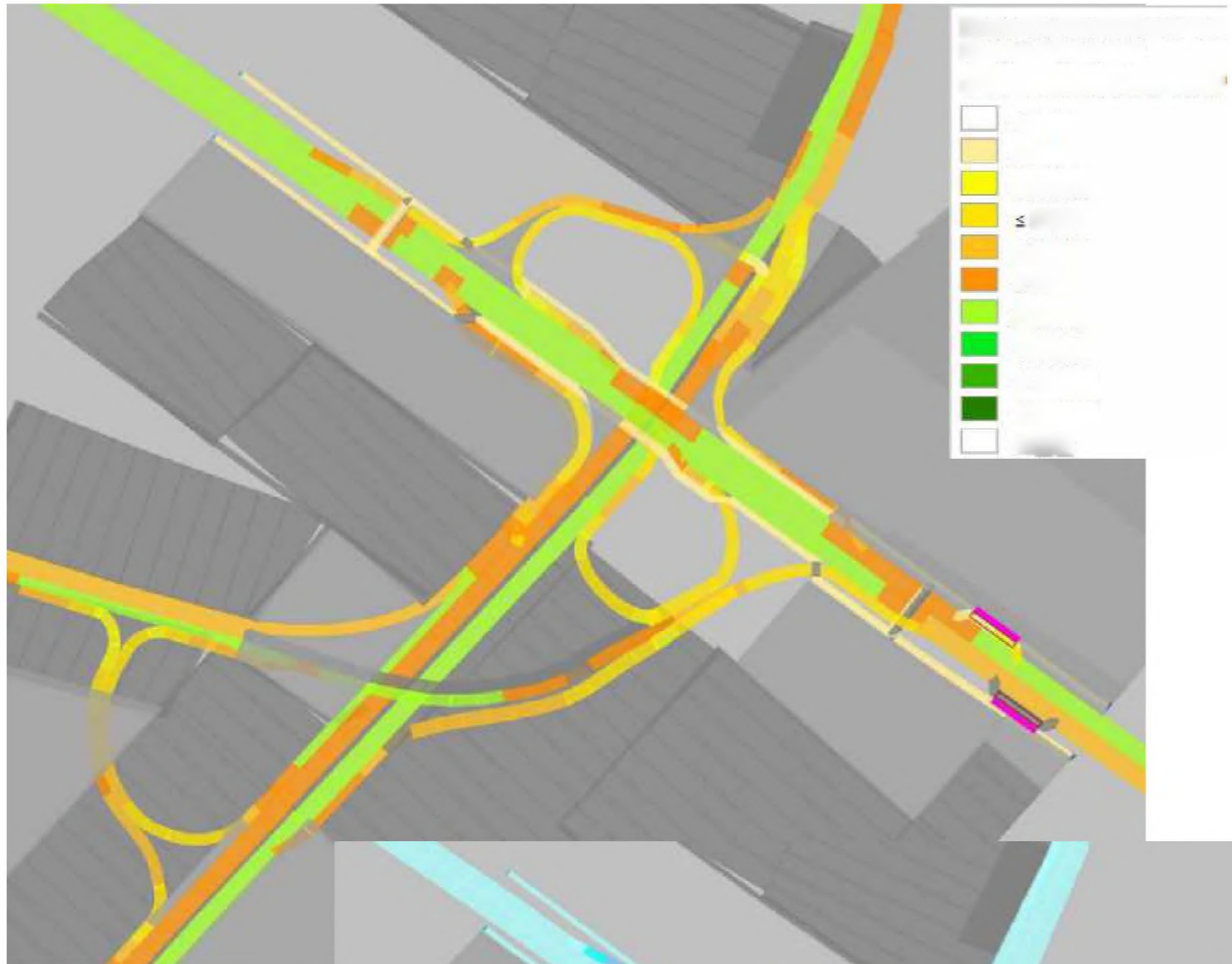


Змодельований варіант 2









Порівняльний аналіз показників ефективності
різних варіантів організації руху

Показник	Існуючий стан	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3
Середній час затримки, с.	274,35	30,55	96,69	3,05
Середній час простою, с.	202,11	15,26	76,05	0,04
Середня швидкість, км/год	11,15	30,8	23,67	44,72
Середнє число зупинок	9,44	2,12	3,31	0,1
Кількість ТЗ/год, шт.	2705	3505	3684	3721

Розрахунок конструкції дорожнього одягу

Розрахункові характеристики та результати розрахунку

Епотр=315				Езаг МПа	Запас міцності
Нр. = 72.0 см.	5.0	Щебеневомастиковий асфальтобетон ЦМА-15 на бітумі БМПА 40/60-57	E = 3410 E _p = 4510 R = 4.73 E _{зс} = 2200	559	Кмц=1.77 +24%
	12.0	Асфальтобетон щільний на бітумі БМПА 60/90-53 з термоеластопластом, Тип А	E = 3654 E _p = 5363 R = 10.40 E _{зс} = 1904	458	2.002 МПа Кмц=1.68 +24% 1.192 МПа
	15.0	Щебенево-піщані суміші, укріплені цементом М40	E = 700 R _и = 0.500	229	0.500 МПа Кмц=2.39 +77% 0.209 МПа
	15.0	Щебенево-піщана суміш С7	E = 260	134	
	25.0	Пісок середньої крупності	E = 120 F = 32.0 C = 0.004	95	0.01800 Кмц=2.05 +38% 0.00879
		Пісок однорідний	E = 75 F = 31.0 C = 0.003	75	0.01575 Кмц=4.35 +193% 0.00362

E, C, R - МПа; F - град.

Висновок

Для виконання дипломної роботи було використано опорний план та ситуаційну схему території досліджуваного перехрестя. Для уточнення рельєфу місцевості була також застосована геодезична зйомка, яка дозволила отримати актуальні дані для подальшого проектування. У процесі аналізу було детально вивчено існуючий стан перехрестя, включаючи інтенсивність руху транспортних потоків, роботу світлофорного регулювання, організацію дорожнього руху та виконано побудову поперечних профілів проїзної частини.

На основі отриманих даних були розроблені та проаналізовані три варіанти реконструкції перехрестя. За результатами розрахунків та моделювання найефективнішим виявився варіант №3 - дворівнева транспортна розв'язка типу «конюшина». Даний варіант показав найкращі показники: практично відсутні затримки та затори, значно підвищено пропускну здатність та забезпечено безперервний рух транспорту.