

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

**М. В. Ольхова,  
Д. М. Рославцев**

**ОЦІНЮВАННЯ ЗАХОДІВ МІСЬКОЇ ЛОГІСТИКИ:  
МОДЕЛЮВАННЯ ПОТОКУ ВАНТАЖНИХ  
ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ**

**МОНОГРАФІЯ**

**Харків  
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова  
2021**

УДК 656.073  
О-56

**Автори:**

**Марія Володимирівна Ольхова**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспортних систем і логістики Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова;

**Дмитро Миколайович Рославцев**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспортних систем і логістики Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова.

**Рецензенти:**

**Кузькін Олексій Феліксович**, доктор технічних наук, доцент, декан транспортного факультету Національного Університету «Запорізька політехніка»;

**Кристончук Михайло Євгенович**, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри транспортних технологій і технічного сервісу Національного університету водного господарства та природокористування.

*Рекомендовано до друку Вченою Радою ХНУМГ ім. О. М. Бекетова,  
протокол № 2 від 30 жовтня 2020 р.*

**Ольхова М. В.**

О-56 Оцінювання заходів міської логістики: моделювання потоку вантажних транспортних засобів : монографія / М. В. Ольхова, Д. М. Рославцев ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. – 99 с.

ISBN 978-966-695-555-8

У монографії викладено результати наукових досліджень щодо моделювання потоку вантажних транспортних засобів у італійському регіоні Венето, проведено статистично-описовий аналіз соціально-економічної діяльності, аналіз даних автоматизованого моніторингу транспортних засобів та моделювання маршрутів доставки. Проведено оцінювання європейських міських логістичних заходів задля розуміння необхідності планування міської логістики в українських містах.

Матеріали можуть бути корисними для студентів, аспірантів, викладачів, співробітників органів державної влади та всіх зацікавлених осіб у питаннях впровадження заходів міської логістики.

**УДК 656.073**

Цей проєкт фінансується за підтримки Європейської комісії. Ця публікація [повідомлення] відображає погляди лише автора, і Комісія не несе відповідальності за будь-яке використання інформації, що міститься в них.

ISBN 978-966-695-555-8

© М. В. Ольхова, Д. М. Рославцев, 2021

© ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021

## ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА .....	5
ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ СТАЛОГО ПЛАНУ МІСЬКОЇ ЛОГІСТИКИ.....	8
1.1 План сталої міської логістики.....	8
1.2 Стратегії міської логістики, заходи та оцінювання .....	11
1.3 Моделі оцінювання матриці кореспонденцій вантажних транспортних засобів .....	22
1.4 Дані автоматизованого моніторингу транспортних засобів під час моделювання автомобільних вантажних перевезень.....	24
1.5 Висновки за розділом .....	27
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОТОКУ ВАНТАЖНОГО ТРАНСПОРТУ .....	28
2.1 Модель маршрутів доставки.....	28
2.2 Специфікація моделі .....	32
2.3 Калібрування моделі .....	32
2.4 Перевірка моделі .....	33
2.5 Можливість інтегрування інформації з даних автоматизованого моніторингу транспортних засобів для розробки моделей маршрутів доставки.....	34
2.6 Висновки за розділом .....	35
РОЗДІЛ 3 МОДЕЛЮВАННЯ ПОТОКУ ВАНТАЖНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ .....	36
3.1 Область дослідження.....	36
3.2 Дані для моделювання маршрутів доставки .....	39
3.2.1 Соціально-економічна діяльність .....	39
3.2.2 Дані автоматизованого моніторингу транспортних засобів .....	44
3.3 Специфікація моделі та калібрування .....	52
3.3.1 Середня кількість зупинок на маршруті.....	52
3.3.2 Кількість маршрутів доставки .....	58
3.4 Перевірка моделей.....	60
3.5 Рекомендації щодо застосування результатів моделювання ...	63
3.7 Висновки за розділом .....	65
РОЗДІЛ 4 ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ЗАСТОСУВАННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ.....	66
4.1 Аналіз поточного стану збору даних в Україні .....	66
4.2 Дослідження потоку руху транспорту в центрі міста Харків ..	68

4.3 Проблеми функціонування міського вантажного транспорту у Харкові .....	73
4.4 Висновки за розділом .....	76
ВИСНОВКИ .....	78
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	80
ДОДАТОК А Класифікація видів діяльності за кодом АТЕСО .....	84
ДОДАТОК Б Соціально-економічні дані регіону Венето (Італія) .....	88
ДОДАТОК В Дані для моделювання потоку транспортних засобів .....	90
ДОДАТОК Г Інтенсивність транспортного потоку у центрі м. Харків (Україна) .....	93

## ПЕРЕДМОВА

Дослідження проведено на кафедрі транспортних систем і логістики Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова під час проходження стажування викладачами та студентами на кафедрі інженерії підприємств Римського університету Тор Вергата в межах реалізації освітньо-наукової програми «Розумний транспорт і логістика для міст» другого (магістерського) рівня вищої освіти. Магістерська програма впроваджена в Харківському національному університеті міського господарства імені О. М. Бекетова завдяки програмі Erasmus+ Capacity Building in the Higher Education у 2018 р.<sup>1</sup> Метою освітньо-наукової програми є здобуття компетенцій, достатніх для вирішення складних проблем у галузі транспортних систем урбанізованих територій на основі передового досвіду та технологій, розроблених у європейських країнах у сфері інтелектуального міського транспорту та логістики.

Автори висловлюють подяку партнерам проєкту Smart Transport and Logistics for Cities за спільну роботу, підтримку, можливість розвитку та професійного зростання. Особлива подяка координатору проєкту, Антоніо Комі (University of Rome Tor Vergata), чий високий професіоналізм у поєднанні з щирістю зробили роботу над проєктом приємною подорожжю у компанії однодумців, здатних надихати та мотивувати один одного до кращих результатів.

---

<sup>1</sup> URL: <http://smalog-2017.uniroma2.it/>. (дата звернення: 30.01.2021).

## ВСТУП

Міський вантажний транспорт та логістика є за своєю сутністю міждисциплінарними й на них впливають численні фактори, що стосуються поведінки різних зацікавлених сторін. Мешканці міських районів, транспортні та логістичні компанії, виробничі компанії, постачальники інформаційно-комунікаційних технологій та муніципальна влада, зокрема, живуть у складних міських умовах, які вони формують і водночас впливають на умови функціонування міста. Планування вантажних перевезень у місті – це складний процес і органи державної влади, зазвичай, не мають достатньої інформації щодо конкретних питань, тоді як приватні компанії, які беруть участь в організації та здійсненні міських вантажних перевезень, обізнані у технічних аспектах. Недостатня координація міських логістичних суб'єктів та доступність інформації, однак, сприяють поганому міському плануванню та інтеграції міських вантажних перевезень. Збору даних про вантажні перевезення в межах міста практично немає, навіть якщо вони існують, дані не є репрезентативними. Це призводить до того, що міська влада не має уявлення про сучасну ситуацію у сфері вантажних перевезень, що означає неможливість розробити необхідні заходи та стратегії.

У Європейських країнах місцева влада співпрацює з логістичними учасниками, бізнесом та науковцям задля забезпечення стійкої транспортної системи. У містах, впроваджено та реалізується багато проєктів, зокрема розроблені Плани сталої міської мобільності (далі – ПСММ), до яких, здебільшого, включені стратегії міської логістики. В Україні вже розроблені ПСММ у трьох містах – Львів (2019 р.), Житомир (2019 р.), Миколаїв (2019 р.). Започаткована робота над ПСММ у чотирьох містах – Харків, Київ, Чернівці, Вінниця. Окремі питання функціонування вантажного транспорту представлені у ПСММ м. Житомир та м. Миколаїв. Утім в Україні наразі не має жодного проєкту з міської логістики, однак потрібно зазначити, що масштаб проблеми ще не такий високий, як у мегаполісах Європи. Проте тенденція зростання потреби ефективного використання вантажного транспорту у містах України очевидна. Отже, доцільним та ефективним є проведення оцінювання європейських міських логістичних заходів задля розуміння необхідності планування міської логістики в містах України.

У монографії представлено процес моделювання потоків вантажних транспортних засобів у місті, використовуючи дані системи

автоматизованого моніторингу транспортних засобів. Такий спосіб дає змогу отримати найточнішу інформацію про місце розташування транспорту та кількість зупинок, що полегшує спосіб створення детальної інформації про соціально-економічні характеристики та комерційну структуру досліджуваної території.

Дослідження проведено у італійському регіоні Венето у такій послідовності: описання регіону Венето; районування регіону Венето; статистично-описовий аналіз соціально-економічної діяльності; статистично-описовий аналіз даних автоматизованого моніторингу транспортних засобів; моделювання маршрутів доставки.

Монографія складається із чотирьох розділів. У першому розділі проведено аналіз сучасного стану міської логістики у Європейських країнах. Другий розділ присвячено аналізу методів дослідження потоку вантажного транспорту у містах. У третьому розділі проведено моделювання потоку вантажних транспортних засобів у регіоні Венето (Італія) за допомогою даних автоматизованого моніторингу транспортних засобів. У четвертому розділі надані практичні рекомендації щодо застосування отриманих результатів. Проведено порівняльний аналіз можливості застосування методології моделювання потоку вантажних транспортних засобів в Україні. Виявлені проблеми функціонування вантажного транспорту у м. Харків.

# РОЗДІЛ 1

## АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ СТАЛОГО ПЛАНУ МІСЬКОЇ ЛОГІСТИКИ

### 1.1 План сталої міської логістики

План сталої міської логістики (Sustainable Urban Logistics Plan) є корисним інструментом підтримки місцевих органів влади та зацікавлених сторін в управлінні міськими логістичними заходами та посиленні процесів розподілу вантажів до економічної, соціальної та екологічної стійкості та ефективності. План включає стратегії, заходи та правила, які можуть бути прийняті при спільному підході між різними суб'єктами для досягнення спільних цілей, спрямованих на загальну міську стійкість. Інакше кажучи, План сталої міської логістики (далі – ПСМЛ) – це стратегічний план, розроблений для задоволення потреб мобільності вантажних перевезень людей та бізнесу у містах та їх околицях із метою досягнення кращої якості довкілля та життя. Він спирається на існуючі практики планування та належно враховує інтеграцію, співпрацю та принципи оцінювання. ПСМЛ потрібно розглядати як одну із основних частин Плану стійкої міської мобільності (Sustainable Urban Mobility Plans), присвяченої інтеграції міських логістичних схем, послуг, правил у загальній стратегії мобільності [1].

Процес розробки стратегій та Плану сталої міської логістики (далі – ПСМЛ) у межах Планів сталої міської мобільності (далі – ПСММ) – це зусилля щодо організації ініціатив громадськими та приватними зацікавленими сторонами для досягнення ефективного та комплексного підходу з усунення проблем, спричинених міським вантажним транспортом, урахуванням принципів ПСММ. Нижче наведені принципи Плану сталої міської логістики у контексті принципів мобільності (рис. 1.1).

Оскільки міська логістика є частиною загального міського ландшафту мобільності, будь-яка спроба вивчити її ізольовано від загального середовища міста була б помилковою. Відповідно до проекту NOVELOG розроблені рекомендації щодо планування сталої мобільності у місті:

- зрозуміти сучасну ситуацію у містах стосовно вантажних перевезень та логістики;
- залучити зацікавлених сторін у плануванні міського вантажного транспорту (далі – МВТ) та логістики у містах;



- визначити найдоцільніші рішення у міських вантажних перевезеннях на основі типології кожного міста;
- розвивати стійкі, економічно ефективні та економічно життєздатні рішення та стратегії функціонування МВТ;
- вимірювати ефективність рішень МВТ.

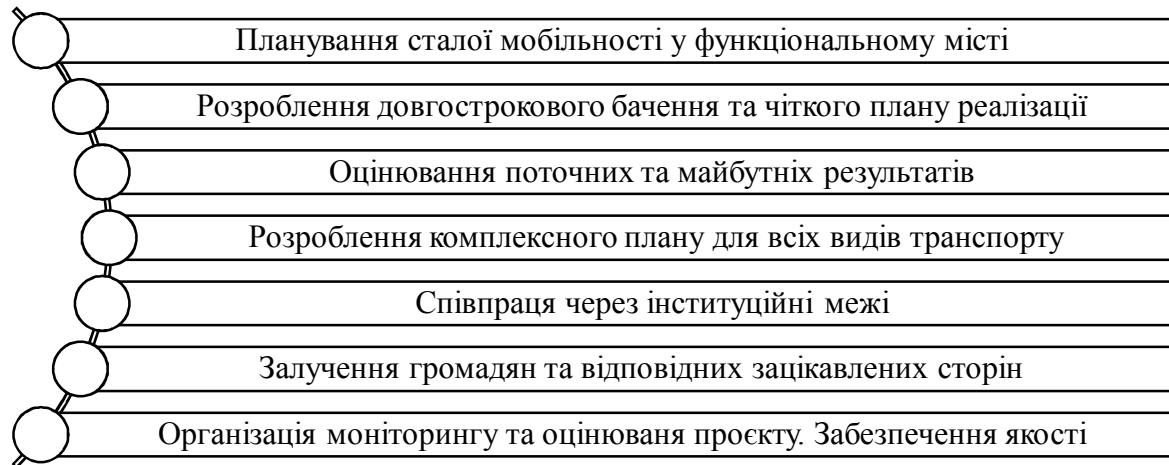


Рисунок 1.1 – Принципи Плану сталої міської логістики у контексті принципів ПСММ [2]

Стосовно розроблення довгострокового бачення та чіткого плану реалізації розуміється необхідність ресурсів та інструментів, визначення ролі та обов'язків приватних та державних зацікавлених сторін, а також встановлення часового плану та розподіл бюджету. Під час розробки сценаріїв МВТ та вибору заходів міська влада повинна розглянути тенденції щодо нових або інноваційних міських логістичних рішень, які здійснює транспортна та логістична галузь. Хоча міська логістика є порівняно новою сферою містобудування та міського управління, міські логістичні заходи, зокрема кооперативні вантажні транспортні системи, консолідовані міські розподільчі центри та мікроконсолідацію, вдосконалену маршрутизацію та планування транспортних засобів за допомогою інтелектуальних транспортних систем, управління коефіцієнтом навантаження, ціноутворення на дорогах, інтелектуальне управління паркуванням, пункти збору електронної комерції, дрони для доставки останніх миль тощо, вже впроваджені по всій Європі.

Оцінювання поточних та майбутніх результатів необхідно проводити у напрямках:

- сильні та слабкі сторони;
- наявні потужності та ресурси;
- основні характеристики МВТ та фактори, що впливають на нього.

Варто зазначити, що оцінювання міської логістики може включати низку параметрів та джерела даних, більшість з яких зазвичай належать зацікавленим сторонам приватної галузі. Вони збираються або за допомогою технології спостереження та управління логістичною діяльністю (записування зон розвантаження вантажу, відстеження GPS транспортних засобів тощо), або шляхом оцінювання роботи генераторів логістики міста та роботи логістичних постачальників.

Під принципом розроблення комплексного плану для всіх видів транспорту розуміється інтегрований погляд як традиційного, так і нетрадиційного використання різних видів транспорту, враховуючи при цьому, що домінуючим є використання автомобільного транспорту. Наприклад, використання електричних фургонів, вантажних велосипедів, водних шляхів, при цьому враховуючи потенційну спроможність спільного використання синергій між перевезеннями вантажів та пасажирів (cargo hitching) та кращу експлуатацію автобусних та залізничних пасажирських послуг у міській логістиці.

Принцип співпраці через інституційні межі передбачає тісну співпрацю та консультації з різними рівнями державних та законодавчих органів. Деякі приклади заходів, які потребують співпраці через інституційні межі для здійснення надані у проєкті NOVELOG [2]:

- використання інтелектуальних транспортних систем та інформаційно-комунікаційних технологій для забезпечення дотримання правил дорожнього руху та встановлення схем управління, таких як стягнення плати за забруднення повітря та проїзд великовантажних автомобілів за допомогою відеокамер;

- субсидії вантажовідправникам та перевізникам для того, щоб розпочати нові екологічно чисті ініціативи, які часто є коштовними;

- національні уряди та/або місцеві муніципалітети повинні, за необхідності, надавати підтримку, щоб допомогти новим міським центрам консолідації та інтермодальним вантажним терміналам.

Принцип залучення громадян та відповідних зацікавлених сторін. Одним із головних факторів успіху для впровадження ефективного ПСМЛ є залучення всіх суб'єктів, які або беруть участь безпосередньо в міських логістичних операціях (експедиційні компанії, транспортні оператори, вантажовласники, основні торгові мережі, власники магазинів, місцеві чи регіональні органи влади, промислові та комерційні асоціації, асоціації споживачів, науково-дослідницькі та наукові установи, експерти з логістики) або впливають у певний спосіб на зовнішні процеси міської логістики в процесі планування. Зважаючи на виникнення електронної

комерції та постачань прямих клієнтів, громадські або споживчі організації повинні активно залучатися.

Організація моніторингу та оцінювання проєкту повинна базуватися на оцінюванні структури, яка полегшить процес збору даних, визначення найвідповідніших показників, механізми збору даних та остаточне оцінювання впливу.

Забезпечення якості може бути досягнутої завдяки застосуванню Панелі забезпечення якості (Quality Assurance Panel) або використання інструментів самооцінки (Self-Assessment Tools). З іншого боку, має бути документ, у який залучено муніципалітет та промислові зацікавлені сторони, які впроваджують перелік дій, за які вони несуть взаємну відповідальність. Невиконання дій однією стороною (міської влади) призведе до відмови або ризику відмови з іншого боку (бізнес).

## **1.2 Стратегії міської логістики, заходи та оцінювання**

Багато міст та мегаполісів Європейського Союзу працюють над визначенням заходів для планування мобільності майбутнього. При цьому міська логістика все ще не має такого важливого значення, як інші складові міської мобільності. Транспортна діяльність є життєво важливою для економічного розвитку міста, як і комерційна діяльність, приватні потреби, державні послуги, але також гарантує соціальне включення та подальший економічний розвиток мегаполісів. Існує багато проєктів упровадження ПСМЛ в різних країнах, які створюються з метою покращення стану транспортних систем у всьому світі, деякі з яких подані в таблиці 1.1.

Одним із фундаментальних досліджень за тематикою міської логістики є роботи професорів Агустіно Нуццоло і Антоніо Комі (Римський університет Тор Вергата). У роботі [3] надано докладний опис міських логістичних заходів на стадії планування. Зазначено, що для зменшення негативного впливу міського вантажного транспорту на стійкість міста та підвищення ефективності міського ланцюга поставок можуть бути використані декілька логістичних заходів на рівні планування. Планування логістики міста включає кілька заходів, серед яких є такі:

- ідентифікація цілей та стратегій розробниками планів міської логістики;
- визначення показників результатів планування;
- визначення сценаріїв планування;

- попереднє оцінювання наслідків плану, зокрема моделювання сценаріїв планування.

Таблиця 1.1 – Проєкти стратегій сталої міської логістики [4, 5, 6]

Проєкт	ENCLOSE	NOVELOG	SULPiTER
Старт проєкту	2012	2015	2016
Координатор	MemEx Srl, Ліворно	Джорджія Айфантопулу, заступник директора НІТ, Керівник підрозділу «Розумна сталість – вантажний транспорт та мережі»	Інститут транспорту та логістики – ITL
Партнери	Австрія, Болгарія, Греція, Ірландія, Італія, Норвегія, Польща, Румунія, Португалія, Іспанія, Швеція, Нідерланди, Великобританія	Афіни, Барселона, Копенгаген, Емілія-Романья, Гетеборг, Грац, Лондон, Мехелен, Піза, Рим, Турін, Венеція	Болонья, Будапешт, Познань, Брешія, Штутгарт, Марибор, Ріска
Цілі	Підвищення знань про проблеми енерго-ефективності та сталої міської логістики в європейських малих середньоісторичних містах (SMHT) та про конкретні можливості для досягнення вдосконалень та переваг шляхом упровадження ефективних заходів, схем та підходів, спеціально спрямованих на міські середовища	Забезпечити знання та розуміння міського розподілу вантажних перевезень, щоб міста впроваджували ефективні та сталі заходи, а також сприяли співпраці зацікавлених сторін для забезпечення сталої логістики міста	Вирішення проблем міського вантажного транспорту в перспективі функціональних міських районів (FUA), приділяючи увагу функціональним транспортним та економічним відносинам між внутрішніми міськими центрами та прилеглими територіями

У межах сталою розвитку мобільності та прагнення врахувати цілі та стратегії операторів міського ланцюга поставок та інших зацікавлених сторін, цілі планувальників міської логістики можуть бути основані на такому [3]:

- економіка (поліпшення економічного результату досліджуваної області): зниження транспортних витрат у мережі; зниження транспортних та логістичних витрат ланцюга поставок (наприклад, дистриб'юторів, оптових торговців, перевізників, торгових мереж, кінцевих споживачів); зниження відпускних цін на товари для кінцевих споживачів;

- безпека: зменшення дорожньо-транспортних пригод, пов'язаних із мобільністю вантажу;

- навколишнє середовище та землекористування: зменшення впливу на мобільність вантажу та на навколишнє середовище; сталий розвиток землекористування;

- рівновага (суспільство): поліпшення торгового компонента якості життя у містах; розвиток транспортної, логістичної та роздрібної зайнятості; поліпшення законності вантажних секторів: транспортних засобів, водіїв та товарів.

Як поповнення запасів, так і потоки товарів негативно впливають на стійкість та життєздатність міста, і кілька міських логістичних заходів можуть бути запроваджені з метою зменшення негативних наслідків цих двох компонентів вантажного транспорту. При цьому заходи можна класифікувати як стратегічні, тактичні та оперативні [7]. Стратегічні заходи визначають цілі та завдання, довгострокову орієнтацію розвитку вантажних перевезень у країни загалом або на окремі райони. Операційні заходи призначені для вирішення поточних проблем або отриманих небажаних відхилень. Цей тип заходів встановлює конкретні, кількісно вимірювані орієнтири та використовує ситуаційний підхід, у якому вибирається прийнятний варіант на основі переважальних умов. Тактичне управління виражається в конкретних діях щодо реалізації стратегічних цілей. На основі достовірної інформації показники стратегічного плану порівнюються з досягнутими результатами за певний період. Якщо вони невтішні, то вживаються коригувальні заходи. Ці заходи можуть включати перегляд деяких цілей, якщо виявили раніше невраховані та неконтрольовані фактори.

Взаємозв'язки між стратегіями, заходами та рівнями планування узагальнені проф. Комі та проф. Нуццоло у роботі [3] (рис. 1.2).

Місцеві органи управління на стадії поповнення запасів (товарів у магазини) прагнуть:

- зменшити кількість комерційних транспортних засобів;
- збільшити використання малих, екологічно чистих транспортних засобів;
- оптимізувати операції з навантаження та розвантаження з метою зменшення заторів руху;
- зменшити перешкоди для інших міських компонентів мобільності (автомобілів та вразливих користувачів).

Щодо мобільності покупок, головний інтерес місцевих органів управління полягає у такому: зменшення використання приватних

транспортних засобів, збільшення використання транзиту, поїздок на велосипеді та ходьбі, скорочення відстані до торгових об'єктів, збільшуючи при цьому використання прилеглих комерційних районів.

Типи потоків	Рівень планування	Стратегії	Заходи
Поповнення запасів	Оперативний	Обмеження взаємодії з учасниками руху	Часові вікна
Поповнення запасів	Оперативний	Обмеження взаємодії з учасниками руху, Оптимізація навантаження/розвантаження	Зони навантаження/розвантаження
Поповнення запасів	Оперативний	Використання більш ефективних ТЗ	Обмеження доступу
Поповнення запасів	Оперативний	Зменшення кількості ТЗ	Платні зони
Поповнення запасів	Оперативний	Обмеження взаємодії з учасниками руху	Обмеження маршруту
Поповнення запасів	Тактичний	Використання більш ефективних ТЗ	Фінансові стимули
Поповнення запасів	Тактичний	Зменшення кількості ТЗ	Управління доступом
Поповнення запасів	Тактичний	Зменшення кількості ТЗ	Близька зона доставки
Поповнення запасів	Стратегічний	Використання більш ефективних ТЗ	Міські розподільчі центри, Транзитні пункти
Поповнення запасів	Стратегічний	Зменшення кількості ТЗ	Залізні колії
Поповнення запасів	Стратегічний	Зменшення кількості ТЗ, Використання більш ефективних ТЗ	Розробка стандартної міської інфраструктури
Поповнення запасів	Стратегічний	Зменшення кількості ТЗ, Використання більш ефективних ТЗ	Співробітництво
Поповнення запасів, Покупки	Стратегічний	Зменшення кількості ТЗ, Обмеження взаємодії з учасниками руху	Управління міським землекористуванням
Покупки	Оперативний	Збільшення використання транзитних зон, їзда на велосипеді та ходьба, зменшення відстані подорожі до магазину, збільшення використання торгівельних зон поблизу	Збільшення екологічних та пішохідних зон
Покупки	Стратегічний	Збільшення використання транзитних зон, їзда на велосипеді та ходьба	Покращення рівня обслуговування міського пасажирського транспорту
Покупки	Стратегічний	Збільшення використання транзитних зон, їзда на велосипеді та ходьба	Транзитно-орієнтований розвиток

Рисунок 1.2 – Загальний опис міських логістичних заходів [3]

Ще одним прикладом класифікації заходів може бути розподілення за класами [8]:

- регулювання вантажоперевезень (паркування, навантажувально-розвантажувальне регулювання);
- фізична інфраструктура (логістичні центри, вузли);
- інтелектуальні транспортні системи (далі – ІТС);
- вантажні одиниці та транспортні засоби (типи, види).

Проект BESTUFS (Best Urban Freight Solutions) I та II описує кращі практики, плани та перешкоди запровадження міських логістичних рішень [9]. Класифікація заходів як інструменту, який використовує міська

влада для регулювання вантажних перевезень та логістики в межах міст та мегаполісів, подана нижче у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Класифікація міських логістичних заходів [10]

Захід	Мета	Приклади
Заходи щодо матеріальної інфраструктури	Підвищення сталості в межах міста завдяки впровадженню заходів з оптимізації вантажних перевезень	- зони навантаження та розвантаження; - міський розподіл
Нематеріальні інфраструктурні заходи	Підвищення ефективності логістичних потоків, а також зменшення негативних зовнішніх явищ	- електронний контроль доступу; - моніторинг руху ТЗ; - контроль руху ТЗ
Заходи, що використовують спеціальне обладнання	Розробка стійких до експлуатації пристроїв із точки зору руху та керування (на місцях навантаження та доставки)	- транспортні засоби з низьким рівнем викидів забруднювальних речовин; - невеликі транспортні засоби для міських поставок; - спеціальна технологія перевалки
Заходи управління державної влади	Знаходження балансу між мінімізацією як економічних витрат, так і наслідків вантажного транспорту від усієї групи зацікавлених сторін	- часові вікна; - мережа для вантажних транспортних засобів; - ціноутворення на дорогах; - стимули до оптимізації ефективності транспорту

У роботі [11] зазначається, що заходи міської логістики повинні відповідати принципам сталої мобільності – економічним, екологічним та соціальним. Ці принципи можна трактувати за допомогою таких термінів, (рис. 1.3).

Економічний	Соціальний	Екологічний
<ul style="list-style-type: none"> <li>•затори (швидкість руху);</li> <li>•довжина поїздки;</li> <li>•час доставки;</li> <li>•вартість інфраструктури</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•зменшення перешкод серед сегменту міської мобільності;</li> <li>•скорочення експлуатації транспортних засобів;</li> <li>•зменшення дорожньо-транспортних пригод;</li> <li>•життєздатність міста</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•зменшення забруднюючих речовин;</li> <li>•зменшення шуму</li> </ul>

Рисунок 1.3 – Перелік цілей міської логістики у контексті принципів сталої мобільності [11]

У статті [12] виділено декілька особливостей транспорту, негативні наслідки та їх кореляцію із заходами міської логістики для зменшення

негативного впливу, такі як: розподіл місця та часу, заохочення до співпраці (також між державним та приватним сектором), зміна поведінки.

У дослідженні [13] оглядаються визначення ефектів впливу найчастіше реалізованих міських логістичних заходів, які були розділені на 6 кластерів, намагаючись зробити співвідношення основних ознак кожного заходу з очікуваними основними наслідками для полегшення процесу прийняття рішень (рис. 1.4).

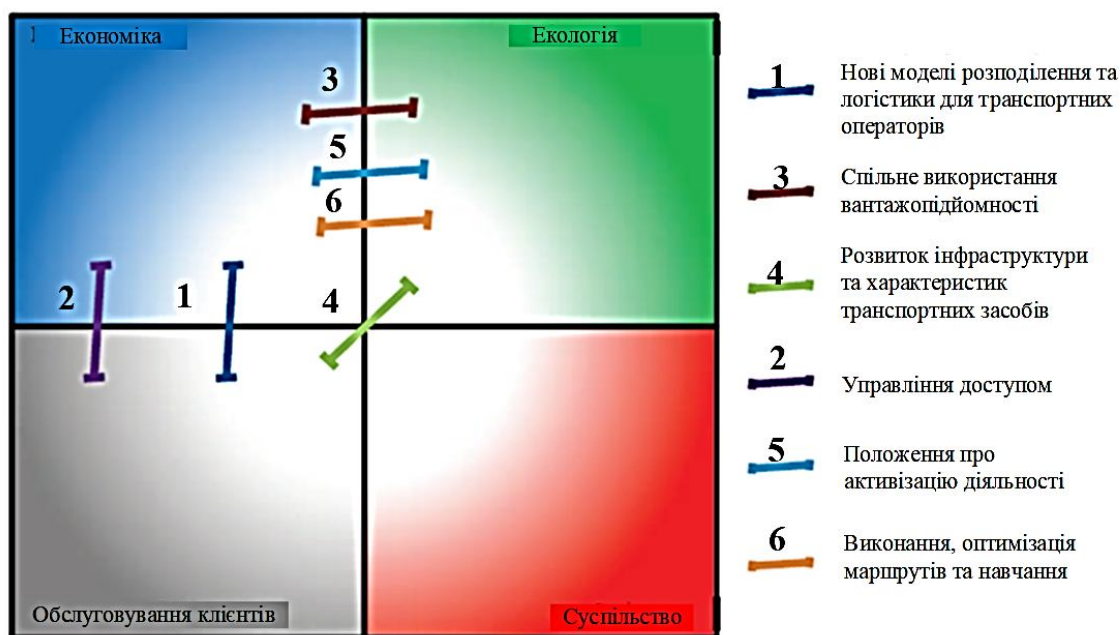


Рисунок 1.4 – Основні зони впливу для кожного кластеру заходів [13]

У багатьох роботах увагу приділено ідентифікації суб'єктів міської логістики, зацікавленим сторонам, які беруть участь у процесі міської вантажної логістики та важливості урахування інтересів кожного стейкхолдера [7, 8, 10–16]. Основні учасники міської логістики надані на рисунку 1.5.

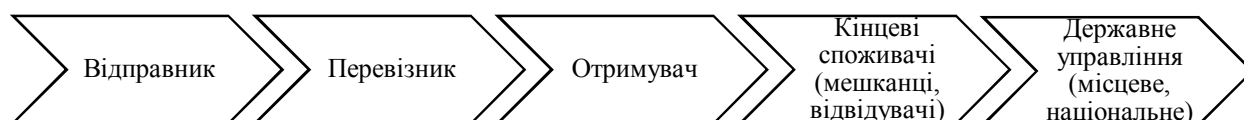


Рисунок 1.5 – Учасники міської логістики

Логістичні заходи з точки зору перевізників описуються у статті [14]. Як і інші учасники транспортного процесу, перевізники можуть брати активну участь у вирішенні проблем у сфері міського вантажного транспорту. В роботі відзначені три основні напрями для перевізників



щодо підвищення мобільності транспорту в містах: інноваційні транспортні засоби, тобто рішення щодо двигунів; рішення для автомобілів та обладнання, що дають змогу доставку з низьким рівнем шуму; рішення інформаційно-комунікаційних технологій та інтелектуальних транспортних систем, які підвищують ефективність роботи перевізників.

Важливим моментом застосування логістичних заходів є те, що вони мають підходити для кожної із зацікавлених сторін і спрямовані на зменшення негативного впливу вантажних перевезень. Для цього необхідно оцінити кожен захід, як перед реалізацією, так і після з'ясування, який захід найкраще підходить для конкретного випадку. Багато досліджень зазначають, що більшість заходів у європейських містах та у всьому світі зазвичай здійснюються без попередньої оцінки впливу та не є ефективними [15]. Для оцінки заходів вантажного транспорту можуть використовуватися як однокритеріальні, так і багатокритеріальні підходи. Деякі з них наведені на рисунку 1.6.

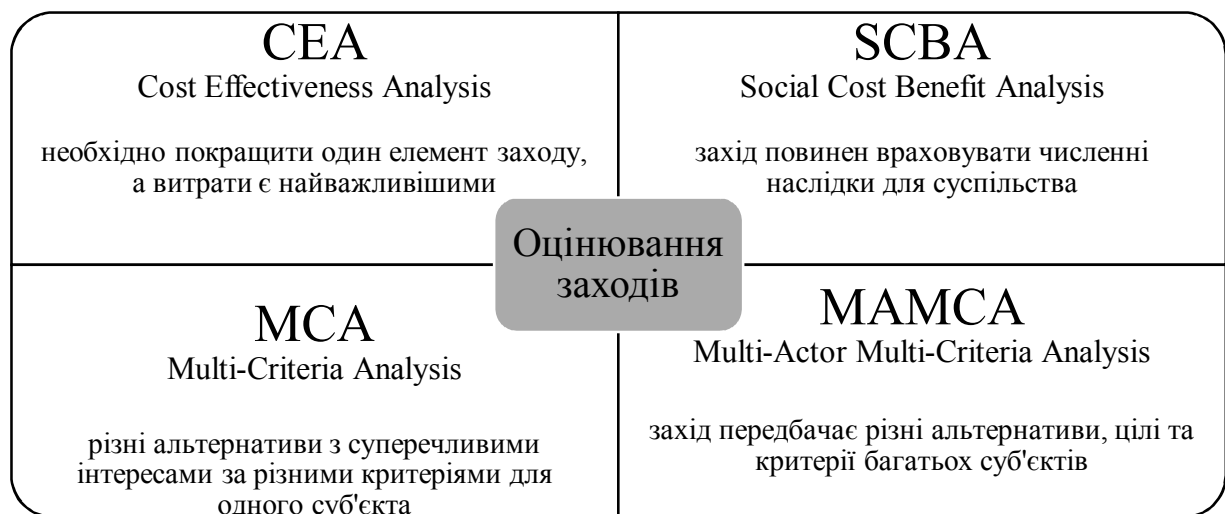


Рисунок 1.6 – Сфери застосування методів оцінки міських логістичних заходів [15]: CEA – аналіз ефективності витрат; SCBA – аналіз соціальних вигід та витрат; MCA – багатокритеріальний аналіз; MAMCA – багатофакторний аналіз за багатьма критеріями.

У проєкті SULPiTER використовувався багатокритеріальний аналіз прийняття рішень (MCDA) з метою надання напрямків, що враховують різні компоненти сталого розвитку, тобто економіку, довкілля, суспільство, транспортну систему. Однак формулювання інтегрованого інструменту стає ще складнішим, коли у процесі прийняття рішень беруть участь різні групи зацікавлених сторін. З цієї причини це може бути дійсним фактором

для впровадження MCDA з кількома стейкхолдерами у конкретному секторі. Розроблено індекс сталої логістики (Logistics Sustainable Index, LSI) із застосуванням низхідного підходу (bottom-up approach), який починається з оцінювання основних показників ефективності, які будуть агреговані в зважені складені показники на область впливу і, нарешті, в унікальний синтетичний показник [5].

У роботі [16] автори також розглядають використання багатокритеріальної моделі, яка б враховувала інтереси кожного із зацікавлених сторін, створюючи навчальні моделі та модель для маршрутизації та планування транспортного засобу із прогнозованим часовим вікном, що використовував метод Q-навчання (алгоритм навчання, заснований на цінностях), методику навчання з підкріпленням під час побудови тестової моделі.

У статті [17] оцінюються конкретні заходи щодо вдосконалення процесу міської логістики в малих та середніх містах за допомогою багатокритеріального аналізу в межах розробки ПСМЛ для міста Сера (Греція). З 13 представлених заходів було обрано три основні: підвищення обізнаності користувачів та інформації про стійкий міський вантажний транспорт, інформаційні карти, просторові та часові обмеження, які в обох категоріях є з найвищим коефіцієнтом зважування, витратами та ефективністю. Автори стверджують, що метод вибору критеріїв та зважування дає досліджуваному місту можливість оцінити будь-який захід, який може вважатися доповненням його ПСМЛ та реалізації. Ваговий коефіцієнт, який застосовується, забезпечує пріоритетні критерії для малих та середніх міст, які можуть призвести до ефективних заходів або бути відхилені як непридатні через низькі бали.

Наукова література містить дослідження, пов'язані з оцінкою заходів міського вантажного транспорту після їх упровадження (ex-post evaluation). Але у дослідженні [8] автори стверджують, що методологія попередньої оцінки можливих наслідків (ex-ante evaluation) підтримки заходів є вирішальною. Існує практичний посібник із попередньої оцінки дослідницької інфраструктури [18]. Характеристики попереднього оцінювання, моніторингу, проміжної та подальшої оцінки дослідницької інфраструктури на основі посібника наведено на рисунку 1.7.

Проф. Комі та проф. Нуццоло зробили значний внесок у планування та моделювання міської логістики на основі попередньої оцінки заходів. У статті [8] зазначається, що для реалізації найефективніших міських логістичних заходів, вибір комплексу заходів повинен базуватися на

процесі впровадження проєктного сценарію, який складається з декількох етапів, які здатні:

- розкрити поточні критичні проблеми за допомогою конкретних опитувань (наприклад, кількість перевезень, інтерв'ю з представниками роздрібною торгівлі, водіями вантажних автомобілів, зацікавлених сторін);

- обмінюватися цілями та стратегіями з метою досягнення оптимального компромісу між різними учасниками;

- визначати показники результатів;

- знаходити відповідні заходи та створювати нові сценарії логістики міста;

- визначати моделі для симуляції поточного сценарію та оцінки майбутнього;

- оцінювати попередній новий сценарій шляхом оцінки впливів та продуктивності системи та порівняти їх із набором заданих заздалегідь значень (цілей).

Попередня оцінка	Моніторинг	Проміжна оцінка	Оцінка результатів
Стадія розробки	Функціонування ДІ	Функціонування ДІ	Головний етап закінчився
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Визначає та документує потреби, які має вирішувати дослідницька інфраструктура</li> <li>• Документує отримані результати</li> <li>• Встановлює доцільність запланованих заходів</li> <li>• Може формувати дизайн ДІ</li> <li>• Може сприяти вибору втручання</li> <li>• Оцінює ймовірність розвитку успішного сценарію</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Складається з систематичного збору даних щодо прогресу ДІ</li> <li>• Веде облік здійснених заходів</li> <li>• Забезпечує, що процес впровадження триває в наміченому напрямку</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Документує прогрес і здійснює різні втручання</li> <li>• Форми роботи / впровадження програми</li> <li>• Дає докази щодо раннього впливу</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Орієнтований на результати та адаптацію ДІ щодо внесених змін</li> <li>• Сприяє перегляду політики шляхом оцінки ефективного використання державних коштів</li> </ul>

Рисунок 1.7 – Характеристика попереднього оцінювання, моніторингу, проміжної оцінки та результату дослідницької інфраструктури [18]

У роботі [3] зазначається, що мобільність вантажного потоку у місті може бути визначена в результаті декількох варіантів, які здійснюють різні суб'єкти міської логістики (рис. 1.8):

- кінцеві споживачі (мешканці, відвідувачі) вибирають де та в якому типі торгових точок здійснювати покупки (місцевий ринок, торговий центр) та обирають вид транспорту;

- роздрібні торговці (зокрема великі торгові точки), в середньостроковій перспективі вибирають спосіб перевезення (інсорсинг, аутсорсинг) та розмір відвантаження; в довгостроковій перспективі їх вибір стосується місця розташування магазину та складу поповнення запасів;

- оптові торговці та дистриб'ютори вибирають спосіб перевезення для виконання замовлень своїх клієнтів (інсорсинг, аутсорсинг), час відправлення, тип транспортного засобу, маршрут перевезення;
- вибір перевізників здебільшого пов'язаний з часом відправлення, типом транспортного засобу, а також маршрутом перевезення.

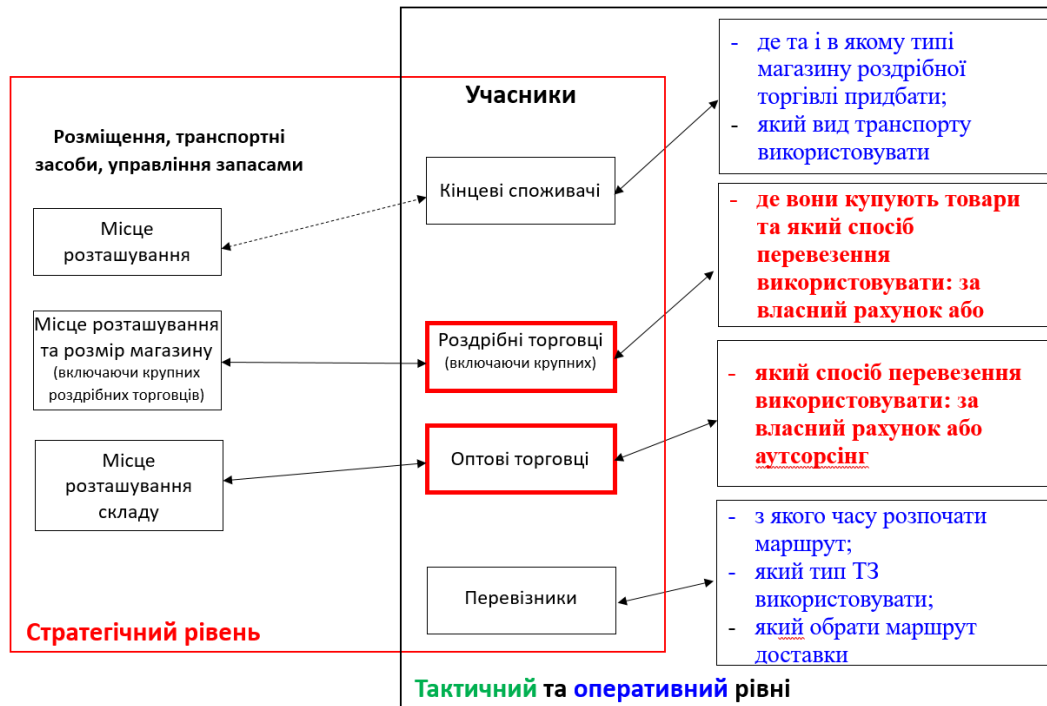


Рисунок 1.8 – Міський вантажний транспорт: учасники та вибір [3]

Наслідки впровадження нового міського логістичного сценарію стосовно часу можна класифікувати як короточасні наслідки, які з'являються через кілька днів або тижнів і середньо/довгострокові ефекти, які проявляються через кілька місяців або років.

Крім того, в кожному з цих двох класів ефекти можуть мати, або прямі наслідки, що є різницею у транспортній системі, або непрямі ефекти або ефекти другого порядку, переважно коливання витрат, спричинені зміною транспортних витрат, пов'язані з економічною та соціальною сферою або з місцем розташування бізнесу.

Учасників міських логістичних заходів можливо розділити:

- на внутрішніх, якщо в них беруть участь оператори міського ланцюга поставок (роздрібні торговці, оптові торговці, дистриб'ютори, перевізники) та кінцеві споживачі;

- на зовнішніх, таких як представники громадськості, які безпосередньо не беруть участь у використанні системи (викиди

забруднювальних речовин, шум, дорожньо-транспортні пригоди).

У роботі [3] пропонується використовувати логічний рамковий підхід під час оцінювання процесу планування (табл. 1.3).

Таблиця 1.3 – Приклад визначення показників унаслідок упровадження міських логістичних заходів

Галузь	Цільовий показник	Стратегічна задача	Показник результату
Економіка	Загальний час руху на мережі	Зменшення перешкод для інших компонентів мобільності	Середня швидкість мережі
		Зменшення часу навантаження-розвантаження	Середній час навантаження-розвантаження
	Загальний час доставки та час зупинки	Зменшення відстані проїзду вантажних ТЗ	Вантажні ТЗ-км
Навколишнє середовище	Викиди CO <sub>2</sub>	Зменшення відстані проїзду вантажних ТЗ	Вантажні ТЗ-км + шопінг авт-км
		Збільшення частки ТЗ, які краще працюють	Менше забруднень від вантажних ТЗ-км
		Збільшення частки аутсорсингу	Аутсорсингові ТЗ-км
Безпека	Загиблі у ДТП із залученням вантажних ТЗ	Зменшення відстані проїзду вантажних ТЗ	Вантажні ТЗ-км + шопінг авт-км
		Зменшення перешкод для інших компонентів мобільності	Довжина дороги спільного використання

У процесі, описаному вище, ключову роль відіграють імітаційні моделі, що використовуються для оцінки попередніх показників цілі та результатів стосовно прямих наслідків сценарію, який повинен бути реалізований. Змінними показниками сценарію прогнозування можуть бути такі:

- час руху по мережі та середня швидкість;
- середній час навантаження-розвантаження;
- загальна кількість вантажних транспортних засобів – км та шопінг авт-км;
- транспортний засіб – зменшення км руху вантажного транспортного засобу із виділенням забруднювальних речовин;
- транспортний засіб – аутсорсингові ТЗ-км;
- довжина шляху спільного використання.

### 1.3 Моделі оцінювання матриці кореспонденцій вантажних транспортних засобів

Моделі є одним із ключових складників планування процесу перевезень на тактичному та оперативному рівнях для підтримки оцінювання міських логістичних сценаріїв. Державна влада повинна прогнозувати майбутні транспортні потреби в товарах, щоб забезпечити інфраструктуру та людські ресурси, які роблять можливим такий рух. Приватний сектор потребує прогнозів попиту на транспортні послуги, щоб передбачити, серед іншого, майбутні фінансові потреби, обладнання та потреби в робочій силі. Планування вантажних перевезень ще знаходиться на ранній стадії розвитку як у Європейських країнах, так і в Україні. Більшість аналізів та оцінок транспортних проєктів передбачає визначення деяких кількісних даних, які неможливо безпосередньо виміряти, але їх необхідно оцінити за допомогою математичних моделей [7]. Тому одним з ефективних інструментів підвищення функціонування вантажного транспорту у місті є застосування математичного моделювання вантажного потоку транспортних засобів. У роботі [7] запропоновано виділити різні типи моделей попиту для ідентифікації вантажного потоку поповнення запасів (наприклад, від оптових торговців до роздрібних торговців або до кінцевих споживачів): матриця кореспонденцій вантажів та матриця кореспонденцій транспортних засобів. Що стосується тактичних та оперативних заходів, зважаючи на матриці кореспонденцій (O-D matrix) вантажного транспорту, вибір, на який можна вплинути, стосується способу перевезення (інсорсинг, аутсорсинг), розміру відправлення та, відповідно, кількості поставок та характеристик маршруту доставки (час відправлення, тип транспортного засобу, кількість поставок та їх послідовність для кожного маршруту).

Матрицю кореспонденцій вантажного транспорту можна оцінити з матриць кореспонденцій маршрутів доставки. Матриця кореспонденції транспортних засобів є одними з важливих вихідних даних для багатьох систем динамічного призначення та моделювання трафіку. Матриці кореспонденцій вантажних транспортних засобів (кількість транспортних засобів у кожній зоні та їх розподіл між зонами) можна отримати за допомогою двоетапної процедури: визначення маршрутів доставки від матриць кореспонденцій поставок (обсяг відвантаження) через моделі маршрутів руху (рис. 1.9).

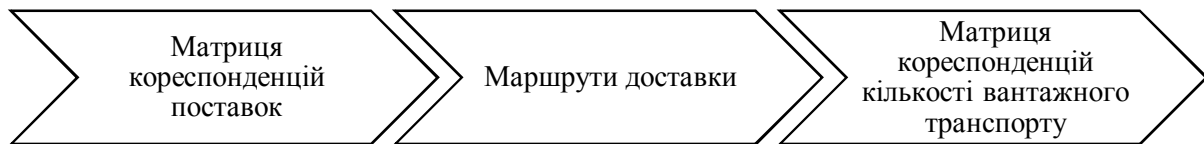


Рисунок 1.9 – Порядок моделювання потоків вантажного транспорту [7]

У роботі [19] підходи моделювання можна розділити за такими категоріями: економетричні моделі, просторові моделі цінової рівноваги та моделі мережевої рівноваги.

Інша класифікація досліджень вантажоперевезень стосується географічного масштабу, що розглядається у роботі [20]. Ця класифікація особливо корисна тому, що особи, які приймають рішення, залучені до кожної категорії стейкхолдерів, сильно відрізняються, у зв'язку з цим враховуються усі точки зору. Крім того, технології кожної категорії, істотно відрізняються. Моделі, що засновані на характері даних, що використовуються для оцінки, класифікуються в [21] (рис. 1.10). Варто зазначити, що первинна відмінність між агрегованими та дезагерованими моделями – це характер необхідних даних, а не різні поведінкові підходи. Обидва типи моделей можуть бути виведені з однієї і тієї самої теорії оптимальної поведінки.

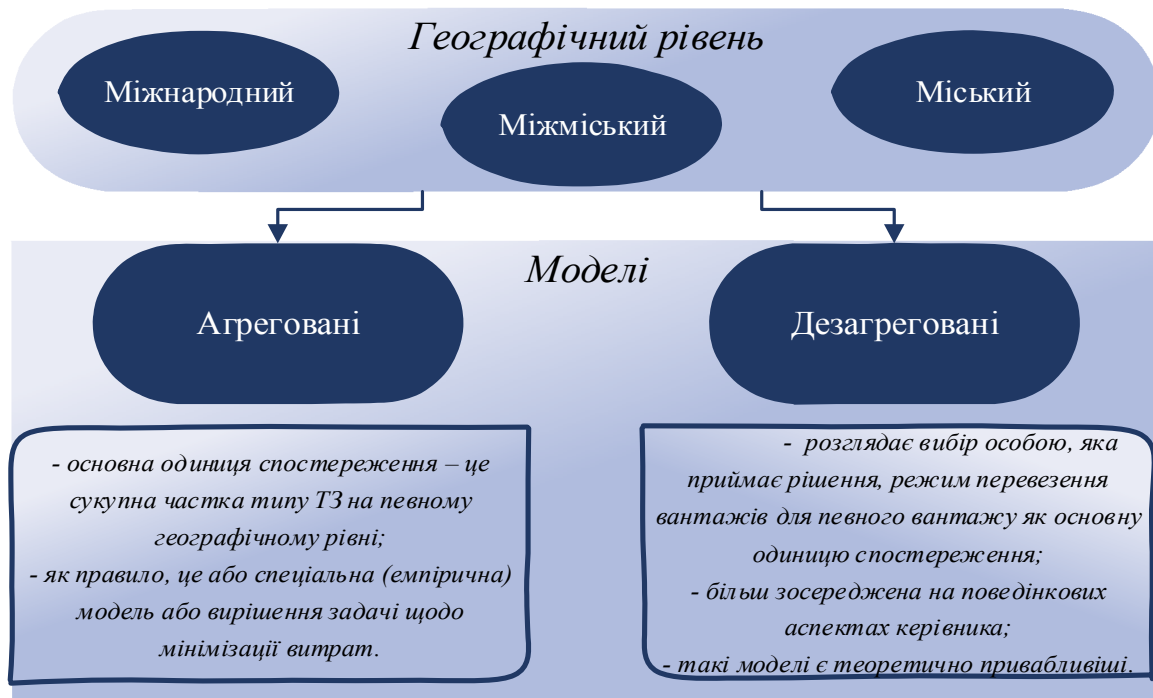


Рисунок 1.10 – Класифікація моделей за характером даних, які використовуються для оцінювання

Вантажні перевезення зазвичай вимірюються та описуються рухом товарів або переміщенням транспортних засобів. Рух товарів зазвичай

представлений матрицями кореспонденцій, які містять як вид, так і кількість переміщених товарів. У більшості досліджень запропоновані моделі, що розроблені в межах підходу послідовного моделювання з урахуванням трьох категорій моделей на основі вантажного транспорту, вантажу та поставок [22–27].

Моделі оцінювання матриць кореспонденції кількості вантажного транспорту відповідно до виду вантажу та кількості для попередньої оцінки міських логістичних заходів розглядаються у роботах [28, 29]. Використання моделей поставок краще підходить для міського середовища [30, 31]. Ці моделі дають змогу краще зрозуміти вплив кількості зупинок вантажних транспортних засобів під час доставки вантажу на міський простір.

У дослідженні [32] представлено модель міського вантажного транспорту, яка на думку авторів, все ще залишається статистично надійною, хоча потребує незначних адаптацій щодо організаційних елементів у зв'язку із давністю її створення. Модель розроблена на основі широко функціонуючих методів, що застосовуються під час моделювання міських вантажних перевезень (виявлення проблеми, опитування, спостереження, моделювання), основні результати отримані завдяки проекту FRETURB (Freight Transport Modelling in Urban Areas). У роботах [33–35] запропонована система моделювання маршрутів у містах та мегаполісах, використовуючи підхід на основі маршрутів руху. З аналізу попередніх досліджень можна зазначити, що деякі з них не дотримуються механізму, що забезпечує визначення матриці кореспонденцій, вони не використовуються або не можуть бути використані для прогнозування впливу впровадження транспортних заходів у міському масштабі.

#### **1.4 Дані автоматизованого моніторингу транспортних засобів під час моделювання автомобільних вантажних перевезень**

Високоякісні дані необхідні для ефективного моделювання будь-якого етапу функціонування системи вантажоперевезень. На тактичному рівні функціонування вантажного транспорту – це процес, коли просторові та часові виміри особливо актуальні, а отже, їх потрібно включати в моделювання. Розгляд просторових даних традиційно був громіздким через практичні та теоретичні (економетричні) проблеми. Поява географічних інформаційних систем (далі – ГІС) вирішила більшість цих проблем і стала стандартним інструментом для багатьох транспортних досліджень, що дозволяють ефективно аналізувати просторово пов'язані дані. Поєднання технологій, таких як дистанційне зондування, системи



бездротового зв'язку (GPS) та спеціалізоване програмне забезпечення (ГІС), можуть запропонувати неоціненну допомогу для виведення практики збору даних про вантаж за межі стандартного натурального обстеження та відповідної кількості трафіку [36, 37].

За деякими критеріями, такими як великий обсяг інформації, GPS дані можна розглядати як «big data» [38]. Збір даних методом автоматизованого моніторингу транспортних засобів (Automated Vehicle Monitoring, AVM) також може бути альтернативою опитуванням, таким як анкетування. Варто зазначити, що процес збору даних автоматизованого моніторингу транспортних засобів можна поділити на три основні напрями:

1) дозволяє надати інформацію про транспортні засоби для перевірки технології з метою відстеження транспортних засобів та збору всієї необхідної інформації. Ці роботи, здебільшого, стосуються декількох транспортних засобів та невеликої кількості даних;

2) збір даних для калібрування та тестування моделі. У цьому випадку, який користується великою популярністю у міській логістиці, кількість транспортних засобів може бути обмежена, а отримані дані легко визначити та проаналізувати;

3) використовується рідше й пов'язаний зі збором даних для характеристики перевезення товарів у межах міста. Цю категорію потрібно пристосувати до вимірюваного об'єкта (іноді безпосередньо пов'язаного з процесом доставки та повинен бути пов'язаний з деякими суб'єктами (переважно компаніями або характером перевезень вантажів). Крім того, для цього напрямку важлива кількість даних.

Існує декілька досліджень, у яких вже використовували дані автоматизованого моніторингу транспортних засобів. У роботі [39] представлено технологію збору даних на основі GPS для обстежень руху міських товарів, точніше для характеристики маршрутів руху у місті Більбао (Іспанія). У статті [40] досліджується застосування у моделюванні вибору маршруту, орієнтуючись на вантажні автомобілі великої вантажопідйомності. У роботі [41] надано оцінку доцільності методики машинного навчання для прогнозування часу зупинки доставки (дані, зібрані у Медельїні (Колумбія)). Однак методи обробки та аналізу таких даних для використання у моделюванні вантажних перевезень потребують більшого вивчення. Важливо зазначити, що зібрані дані під час планування логістики міста можуть покращити поведінкові моделі, щоб допомогти державним та приватним особам, які приймають рішення [42]. Ураховуючи все зазначене вище, дане дослідження можна схематизувати в такий спосіб (рис. 1.11).

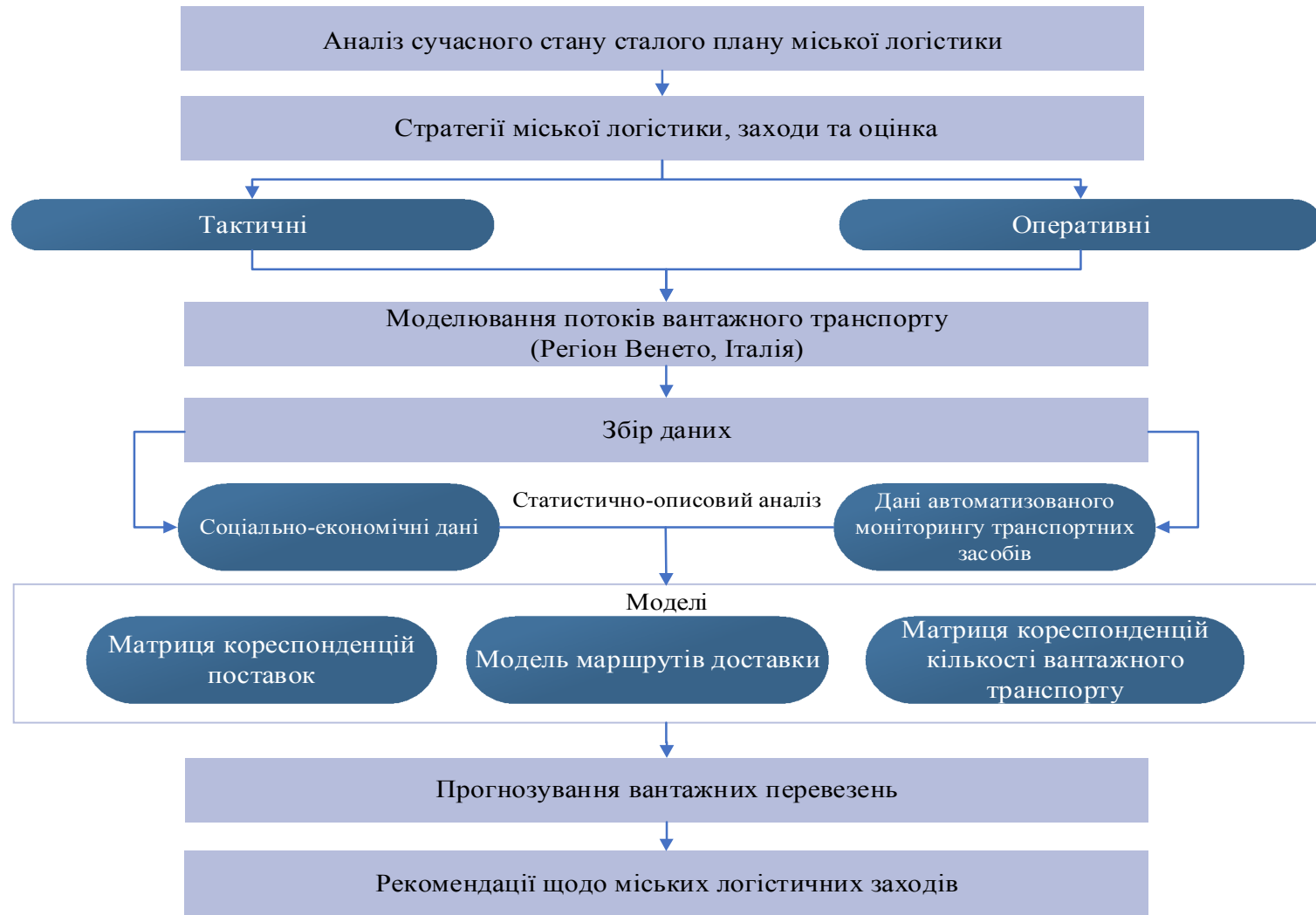


Рисунок 1.11 – Логіко-структурна схема дослідження прогнозування потоку вантажних транспортних засобів

## 1.5 Висновки за розділом

Проведено аналіз стану плану сталої міської логістики, який є однією із можливостей покращення функціонування міського вантажного транспорту. Розглянуто його етапи та приклади використання в європейських країнах. Визначені міські логістичні заходи на тактичному та оперативному рівнях, їх класифікація, що застосовуються міською владою для регулювання функціонування міського вантажного транспорту з урахуванням інтересів усіх стейкхолдерів. Також були розглянуті методи попереднього оцінювання та оцінювання після впровадження логістичних заходів.

Важливим компонентом планування транспорту є моделювання вантажних транспортних потоків. Розглянуті сучасні підходи до моделювання, зважаючи на той факт, що найкращі якісні дані для моделювання вантажопотоків можна отримати з моніторингу транспортних засобів. Розглянуто переваги даних автоматизованого моніторингу транспортних засобів.

## РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОТОКУ ВАНТАЖНОГО ТРАНСПОРТУ

### 2.1 Модель маршрутів доставки

Різні типи моделей можна використовувати для визначення маршрутів доставки з відомою матрицею кореспонденцій поставок. Модель маршрутів руху доставки, яка може бути модифікована тактичними або оперативними логістичними заходами, зазвичай пов'язана з кількістю зупинок на маршруті, кількістю маршрутів доставки, типом транспортного засобу [7]. Розглянемо детально методологію розрахунку даної моделі, запропоновану проф. Нуццоло та проф. Комі.

У роботі [7] зазначається що  $ND_{od}$  – це загальний елемент матриці кореспонденцій поставок, що становить середню кількість поставок, що відправляються зі складу  $o$  до зони призначення  $d$ . Матриця кореспонденцій кількості вантажних транспортних засобів, що задовольняють заданій матриці кореспонденцій поставок, можуть бути потім оцінені, використовуючи сукупну багатоступеневу модель маршрутів доставки, яка враховує середню поведінку всіх постачальників, що здійснюють відправлення з тієї самої зони складу.

Загальна кількість маршрутів перевезення  $T_o$ , що відправляються з зони  $o$  визначається за такою формулою:

$$T_o = \sum_{d'} ND_{od'} / \bar{n}_o, \quad (2.1)$$

де  $\bar{n}_o$  – середня кількість зупинок на маршруті, що виконуються із зони  $o$ .

Припустимо, що  $p[n/o]$  – це ймовірність того, що маршрут, який відправляється з зони  $o$  має  $n$  зупинок/доставок, отриманих за моделлю послідовності розвізного маршруту. Тому  $\bar{n}_o$  можна оцінити як:

$$\bar{n}_o = \sum_n n \cdot p[n/o], \quad (2.2)$$

Припустимо, що  $p[v/no]$  – це ймовірність використання  $v$ -го типу транспортного засобу, отриманого за допомогою моделі типу транспортного засобу. Тому кількість  $n$  зупинок/доставок, що здійснюються з зони  $o$  і

експлуатується  $v$ -им типом транспортного засобу,  $T_o[vn]$ , можна визначити як:

$$T_o[vn] = T_o \cdot p[nv/o] = T_o \cdot p[n/o] \cdot p[v/no]. \quad (2.3)$$

Припустимо  $p[d_j^{k+1}/d_i^k vno]$  це ймовірність доставки у зону  $d_j$  товарів  $(k+1)$ , за умови попередньої доставки у зону  $d_i$  товарів  $k$ , у межах маршруту  $n$  зупинок/доставок, що відправляються з зони  $o$  та використовують  $v$ -ий тип транспортного засобу, отриманий за допомогою моделі вибору місця доставки.

Отже, кількість транспортних засобів  $VC_{d_i d_j} / (d_i d_j)$  може бути оцінена в такий спосіб:

$$VC_{d_i d_j} [vno] = \sum_k VC_{d_j^{k+1} d_i^k} [vno] = T_o[vn] \cdot \sum_k p[d_j^{k+1}/d_i^k vno]. \quad (2.4)$$

Ймовірності  $p[n/o]$ ,  $p[v/no]$ ,  $p[d_j^{k+1}/d_i^k vno]$  можуть бути отримані випадковими моделями корисності, відкаліброваними з даних опитування.

Загальна структура підходу моделі маршруту доставки проілюстрована на рисунку 2.1 як структура дерева з трьома рівнями вибору: послідовність розвізного маршруту, тип транспортного засобу та послідовність місця доставки. Ця структура запропонована проф. Комі та проф. Нуццоло у роботі [7]. У цій роботі докладно представлено етапи розробки зазначених моделей, встановлені недоліки та надані рекомендації щодо їх застосування.

Атрибутами моделі послідовності розвізного маршруту та моделі типу транспортного засобу запропоновані наступні: середня відстань від зони відправлення  $o$  до досліджуваної зони, індекс доступності роздрібної торгівлі зони  $o$ , з якої відправляється маршрут (наприклад розташування складу), середній обсяг вантажу у кожний пункт доставки, характеристика виду вантажу.

Атрибутами моделі вибору місця доставки є такі: кількість робітників роздрібної торгівлі; відстань між зонами відправлення та прибуття; відсоток поставок, що здійснюється між зонами відправлення та прибуття (розподіл кількості поставок між зонами); відношення відстані, яку необхідно пройти, щоб досягти наступного місця доставки, до загальної пройденої відстані, кількість пунктів доставки на маршруті.

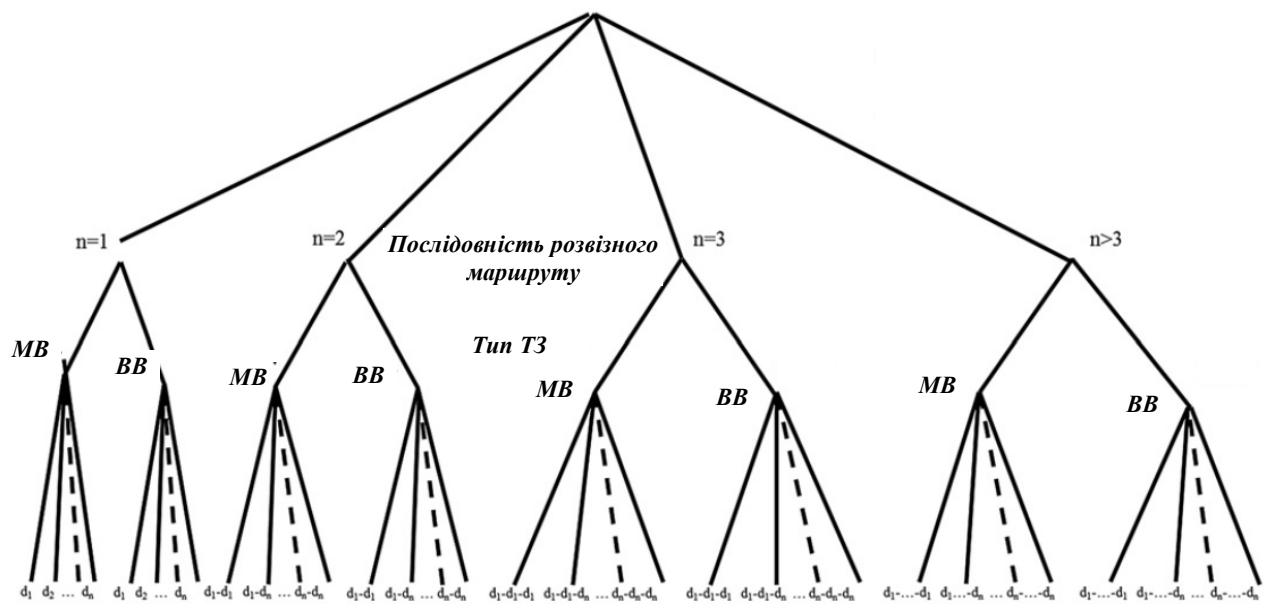


Рисунок 2.1 – Структура моделі маршруту доставки: **МВ** – транспортний засіб малої вантажопідйомності (до 1,5 т); **ВВ** – транспортний засіб великої вантажопідйомності (понад 3,5 т)

Запропоновані моделі можуть бути застосовані під час прийняття рішення щодо тактичних чи оперативних заходів міської логістики. Наприклад, здійснення заходів щодо управління вантажопотоком, таких як часові вікна, ціноутворення на місцевості, обмеження маршруту або обмеження типу транспортного засобу, може змінити доступність зони доставки, а також розмір відвантаження з подальшим впливом на становлення маршруту доставки. Звідси атрибути моделі стосуються рівня обслуговування (доступність складу та роздрібної зони), характеристик доставки (наприклад вид вантажу та кількість доставки) та маршрутів (відстань).

Для визначення функціональної форми моделей їх змінних, необхідно оцінити коефіцієнти або параметри моделі та перевірити її статистичну якість. Процес вимагає специфікації, калібрування та оцінювання моделей. Ці операції разом називаються оцінюванням моделі [43]. Найширше використовуваним методом оцінки статистичних моделей є застосування регресійного аналізу. Регресійний аналіз – концептуально простий метод дослідження функціональних зв'язків між змінними. Зв'язок виражається у вигляді рівняння або моделі, що з'єднує відповідь або залежну змінну й один або більше пояснювальних або прогнозних параметрів [44]. Етапи регресійного аналізу наведені на рисунку 2.2.



Рисунок 2.2 – Етапи регресійного аналізу

## 2.2 Специфікація моделі

На етапі специфікації моделі визначається, які незалежні змінні повинні бути включені або виключені з рівняння регресії. Можна використовувати статистичну оцінку в процесі конкретизації моделі. Вибір функціональної форми моделі залежить від багатьох факторів, таких як її обчислювальна здатність, результати, отримані в подібних випадках, або апріорні очікування щодо співвідношення випадкових залишків. Функцію моделі можна класифікувати на два типи: лінійну та нелінійну [44].

Специфікація не повинна базуватися лише на статистичних заходах. Фактично, основа процесу вибору моделі повинна багато в чому залежати від теоретичних проблем. Наприклад, якщо теорія припускає, що незалежна змінна важлива, вона може включати її до рівняння регресії навіть тоді, коли її  $p$ -значення не є суттєвим. Якщо знак коефіцієнта протилежний теорії, потрібно досліджувати, модифікувати модель або пояснити невідповідність [45].

Результати калібрування як мультиноміальної, так і вкладена логіт-модель (generalized nested logit model), щодо поведінки вибору кількості зупинок та типу транспортного засобу розглянуті в [7]. Ці моделі були розроблені для розгляду поведінки, на яку можуть впливати тактичні та оперативні заходи. Після процесу калібрування моделей, проф. Нуццоло та проф. Комі повідомляють, що вкладена логіт-модель (nested logit model) дає значну перевагу перед мультиноміальною. По-перше, значення коефіцієнта логарифмічної суми  $Y$  вказує на те, що незалежність альтернативної гіпотези неприйнятна й що потрібно віддати перевагу вкладеній логіт-моделі. Крім того, ця процедура дає змогу поєднувати вибір кількості зупинок та типу транспортного засобу за виявленим ієрархічним процесом доставки, тобто вибір маршруту здійснюється з урахуванням альтернатив, наявних на нижньому рівні (тобто тип транспортного засобу). Значущість моделі досить добра для цього типу, що демонструється порівнянням з іншими подібними моделями, представленими в роботах проф. Комі.

## 2.3 Калібрування моделі

Калібрування передбачає оцінку значень різних констант і параметрів у структурі моделі. З цієї причини зусилля з розробки моделі іноді називають «оцінкою». Оцінювання коефіцієнтів і констант моделі зазвичай проводиться шляхом вирішення модельного рівняння для



параметрів, що цікавлять, після надання спостережуваних значень як залежних, так і незалежних змінних. Спостережувані значення змінних отримують із фактичних обстежень транспорту [46]. Найчастіше використовувані методи калібрування моделі наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Методи калібрування моделі [44]

Метод	Опис
Метод найменших квадратів	Підхід до оцінки параметрів моделі шляхом пошуку набору параметрів, що призводить до найменшої помилки між прогнозами моделі та фактичними виходами, усередненої по всіх прикладах у наборі даних, так званої середньої квадратичної помилки
Максимальна оцінка ймовірності	Шукає набір параметрів для моделі, які максимізують функцію вірогідності
Метод Рідж	Методика аналізу даних множинної регресії, які зазнають шкоди від мультиколінеарності
Метод основних компонентів	Методика зменшення розмірності наборів даних, підвищення інтерпретаційності, але водночас мінімізація втрат інформації. Це робиться шляхом створення нових некорельованих змінних, які послідовно максимізують дисперсію

## 2.4 Перевірка моделі

Валідація (підтвердження достовірності) – це завдання продемонструвати те, що модель є розумним поданням фактичної системи: вона відтворює поведінку системи з достатньою точністю для задоволення цілей аналізу. Модель здебільшого розробляється для аналізу певної проблеми, і тому може представляти різні частини системи на різних рівнях абстракції. У результаті модель може мати різний рівень дійсності для різних частин системи в усьому спектрі поведінки системи. Для більшості моделей є три окремі аспекти, які потрібно враховувати під час перевірки моделі:

- припущення;
- значення та розподіли вхідних параметрів;
- вихідні значення та висновки.

Однак на практиці може бути складно досягти такого повного підтвердження достовірності моделі, особливо якщо модельована система ще не існує. Якщо обставини дозволяють, модель навіть може бути порівняна з цією фактичною системою. Якщо ці процедури виконуються, не зустрічаючи розбіжностей між реальною системою та моделлю, кажуть, що модель дійсна.

Існує три підходи до підтвердження достовірності моделі, і будь-яка їх комбінація може бути застосована у відповідних випадках до різних аспектів конкретної моделі. Такі підходи експертна інтуїція, реальні вимірювання системи, теоретичні результати/аналіз.

## **2.5 Можливість інтегрування інформації з даних автоматизованого моніторингу транспортних засобів для розробки моделей маршрутів доставки**

Автоматизований моніторинг транспорту забезпечує надійну інформацію позиціонування та хронометражу стосовно вантажних перевезень, яка може бути джерелом для моделювання та планування транспортних мереж. Існує багато переваг використання даних автоматизованого моніторингу транспорту для створення кращих моделей. Один із них, як уже згадувалося в розділі 1.4, полягає в тому, що моделі можуть надавати точніші дані, ніж традиційні опитування, проведені на папері або по телефону. Зокрема, ці моделі можуть усунути людські помилки та одразу зробити дані доступними в цифровій формі, унаслідок чого процес дослідження відбувається значно швидше.

Деякі дослідження припускають, що інформація, отримана за допомогою моделей, побудованих на основі даних автоматизованого моніторингу транспорту, не зможе повністю замінити традиційні методи збору даних у майбутньому, але може стати відмінним доповненням до опитувань комерційних транспортних засобів та бізнесу. Також існуючі моделі базуються на порівняно невеликих зразках, оскільки неможливо зібрати величезну кількість даних уручну, що займає багато часу, і такі дослідження досить дорого виконувати. Побудова моделей маршрутів доставки за допомогою моніторингу може не тільки збільшити вибірки даних, але й покращити якість прогнозованих даних.

Однак дані, що використовуються за допомогою GPS, також мають свої обмеження та недоліки, такі як невизначеність інформації про вантаж: швидкість завантаження, тип товару або інші характеристики транспортного процесу [47]. Втрати сигналів та просторова неточність, спричинена міським перешкодами (наприклад тунелі та високі будівлі), труднощі з очищенням даних. При цьому очищення даних GPS дає змогу видалити підозрілі точки із необроблених даних, не втрачаючи інформацію про маршрути. Цю процедуру можна виконати на основі даних про швидкість, час або тривалість маршрутів доставки. GPS-збір даних може бути успішно використаний для побудови точної матриці кореспонденцій

за часом доби. Зрозуміло, найточнішим способом для побудови моделі доставки маршрутів рекомендується використовувати як дані автоматизованого моніторингу транспорту, так і опитування водіїв.

## **2.6 Висновки за розділом**

Розглянуто методи дослідження вантажних перевезень. Визначено методіку створення моделі маршрутів доставки на основі тактичних та оперативних заходів. Описані етапи оцінки моделі: специфікація (визначення незалежних змінних), калібрування (оцінювання значень різних констант і параметрів у структурі моделі) та перевірка моделі (тест моделі на адекватність). Встановлено, що правильно відкалібрована модель дозволяє вибирати тип логістичних заходів та оцінити їх вплив. Визначено перелік заходів щодо кількості зупинок, типу транспортного засобу та послідовності зупинок на маршруті.

Розглянуто можливість використання інформації від автоматизованого моніторингу транспорту під час створення моделей маршрутів доставки. Встановлено, які дані можуть бути оброблені, а які неможливо отримати за допомогою цього методу збору даних. З'ясовано, що використання декількох типів збору даних дасть найточніший результат.

## **РОЗДІЛ 3**

### **МОДЕЛЮВАННЯ ПОТОКУ ВАНТАЖНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ**

Існує величезна нестача даних про рух товарів у містах, як для міських органів влади, так і для дослідників. Логістичні заходи потрібно розглядати на прикладі різних міст, оскільки кожне місто має свої особливості, наприклад, рельєфність, рівень розвитку транспортної системи та інші характеристики. Докладний порівняльний аналіз ознак міських логістичних заходів щодо перевезень вантажів у різних містах представлений у статті [48].

Завданням цього дослідження є моделювання потоків вантажних перевезень, використовуючи дані системи автоматизованого моніторингу транспортних засобів для визначення кількості маршрутів доставки, кількості зупинок на маршруті та інших показників для прогнозування майбутніх перевезень вантажів у містах. Автоматизований моніторинг транспорту дає змогу отримати найточнішу інформацію про місце розташування транспорту та кількість зупинок, що полегшує спосіб створення детальної інформації про соціально-економічні характеристики та комерційну структуру досліджуваної території.

#### **3.1 Область дослідження**

Розділ містить детальну інформацію про досліджувану область із метою визначення просторових моделей, що характеризують потік вантажних транспортних засобів. Така інформація включає опис досліджуваних зон, дані про населення, соціально-економічні дані, дані автоматизованого моніторингу транспорту. Дослідження було проведено на прикладі регіону Венето в Італії, оскільки він є одним із найрозвиненіших регіонів.

Послідовність дослідження така:

- 1) описання регіону Венето;
- 2) районування регіону Венето;
- 3) статистично-описовий аналіз соціально-економічної діяльності;
- 4) статистично-описовий аналіз даних автоматизованого моніторингу транспортних засобів;
- 5) моделювання маршрутів доставки.

Регіон Венето, один із 20 регіонів Італії (рис. 3.1). Столиця регіону – Венеція. Площа регіону Венето становить 18 399 км<sup>2</sup>, населення налічує 4 926 818 осіб, щільність населення становить 267,78 осіб на км<sup>2</sup>. Венето має один із найвищих показників щільності населення серед італійських регіонів (265 жителів на 1 км<sup>2</sup> у 2008).



Рисунок 3.1 – Досліджувана область (регіон Венето, Італія)

Особливо це стосується провінцій Падуя, Венеція та Тревизо, де мешканців на 1 км<sup>2</sup> понад 300. Беллуно – найменш густонаселена провінція, що має 57 жителів на 1 км<sup>2</sup> (табл. 3.1). Венето ділиться на столичне місто Венеція та шість провінцій, а також розділене на 581 муніципалітет.

Таблиця 3.1 – Характеристика провінцій регіону Венето

Провінція	Абревіатура	Площа, км <sup>2</sup>	Населення, осіб	Щільність, осіб/км <sup>2</sup>
Беллуно	BL	3,678	213,059	57,9
Падуя	PD	2,141	905,112	422,8
Ровіго	RO	1,789	245,598	137,3
Тревизо	TV	2,477	865,194	349,3
Венеція	VE	2,463	841,609	341,7
Верона	VR	3,121	889,862	285,1
Віченца	VI	2,722	848,642	311,8

Регіональна галузь складається з малого та середнього бізнесу, які є основними користувачами транспортних послуг. Цей бізнес працює у кількох секторах: харчові товари, дерево та меблі, шкіра та взуття, текстиль та одяг, золоті прикраси, а також хімія, металеві вироби, механіка та електроніка. Це призвело до створення сильно орієнтованої на експорт системи галузей.

Для створення моделі необхідно провести зонування території з урахуванням основних вимог, які наведені нижче (рис. 3.2).

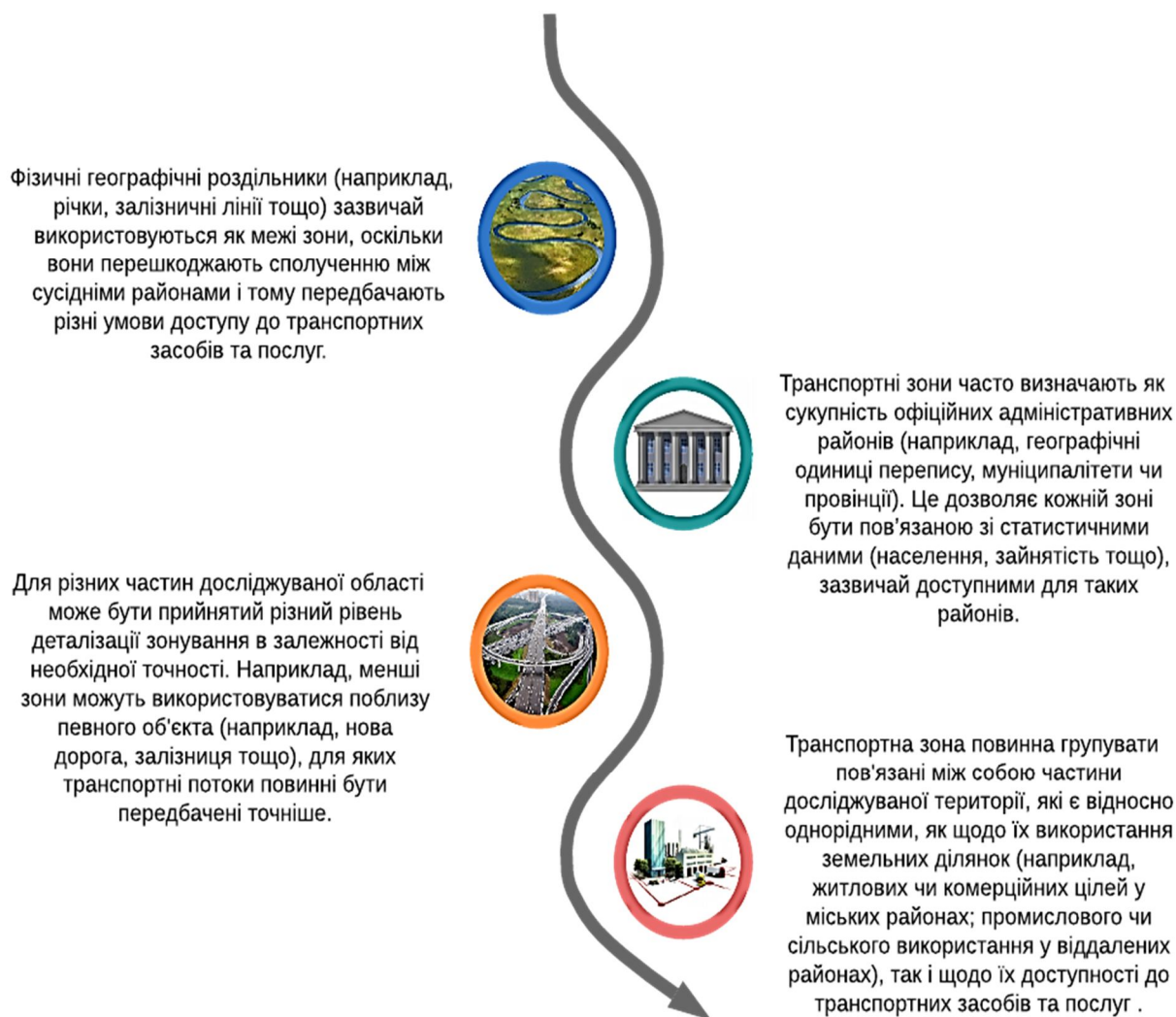


Рисунок 3.2 – Основні принципи транспортного зонування (на основі [43])

Досліджувана область була розділена на 42 зони за допомогою географічної інформаційної системи (GIS), зокрема програмного забезпечення Quantum GIS, що дозволяє аналізувати та редагувати просторову інформацію (рис. 3.3).

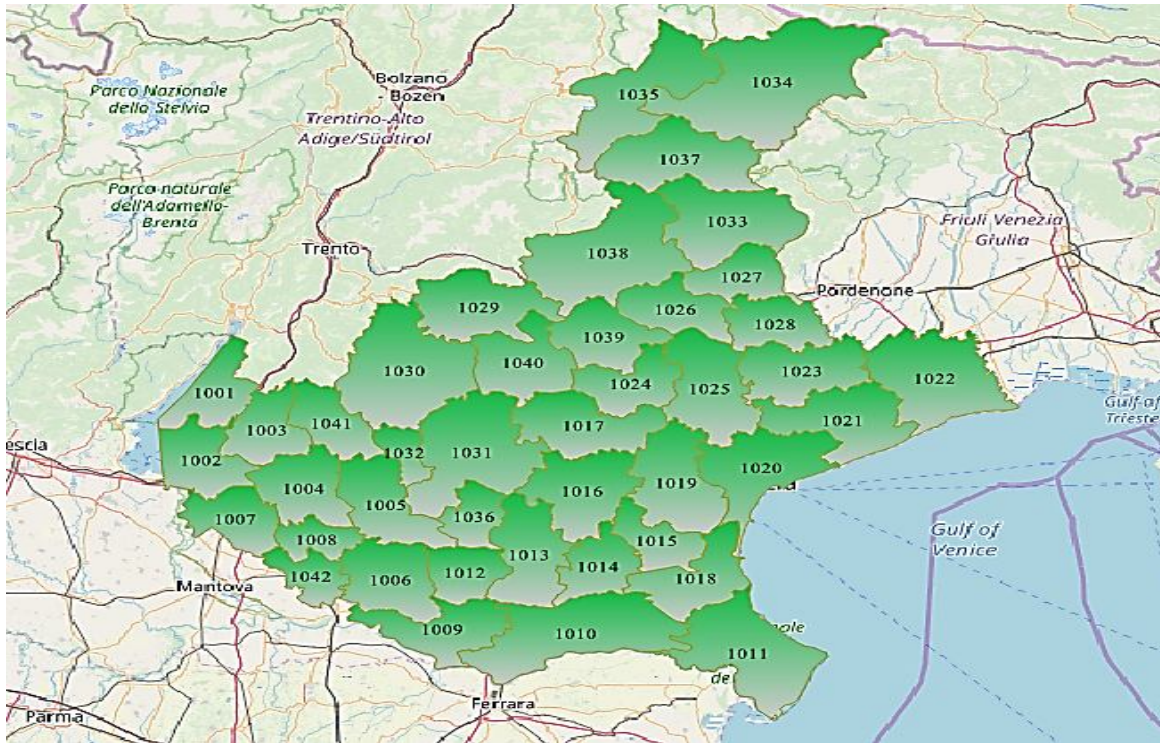


Рисунок 3.3 – Зонування області дослідження

## 3.2 Дані для моделювання маршрутів доставки

### 3.2.1 Соціально-економічна діяльність

Наступним кроком було проведено статистично-описовий аналіз соціально-економічної діяльності обраної території, використовуючи інформацію Національного статистичного інституту Італії (ISTAT), у якому були отримані такі дані, як населення, кількість працівників та інші (табл. 3.2).

Далі були проаналізовано перелік видів діяльності у регіоні, встановлено відповідність до класифікації секторів діяльності (АТЕСО). Класифікація секторів економічної діяльності АТЕСО є типом класифікації, прийнята ISTAT для національних економічних статистичних обстежень. Це італійський переклад номенклатури економічної діяльності (NACE) створений Євростатом, адаптований ISTAT до специфічних характеристик італійської економічної системи (дод. А).

Обрано 8 макрокласів секторів діяльності за групами, найбільш задіяних у транспортному секторі: роздрібна та оптова торгівля, житло, будівництво, виробництво, ресторанне та громадське господарство, транспорт та зберігання, транспортування відходів (дод. Б).

Таблиця 3.2 – Соціально-економічні дані

Зона	Населення, ,осіб	Щільність, осіб/км <sup>2</sup>	Кількість робітників, осіб	Кількість видів діяльності, од.
1001	20 042	67,800	6 226	2 562
1002	108 397	319,186	43 388	11 967
1003	67 686	223,465	20 111	6 531
1004	324 079	869,372	153 807	35 002
1005	108 932	264,086	38 898	9 316
1006	77 103	185,997	28 742	7 195
1007	103 094	341,281	37 167	8 841
1008	39 985	229,130	14 453	3 663
1009	52 148	131,759	16 890	4 543
1010	142 400	187,596	49 466	13 327
1011	47 801	71,936	18 076	6 243
1012	42 973	172,793	12 277	3 903
1013	103 546	232,139	34 616	10 244
1014	56 319	203,029	18 236	5 040
1015	75 306	308,095	25 594	7 437
1016	457 296	970,250	216 401	54 528
1017	185 921	407,480	77 367	17 930
1018	67 726	172,127	18 225	5 432
1019	266 746	535,481	80 742	21 178
1020	298 938	581,038	149 489	31 738
1021	131 843	268,121	45 309	13 681
1022	95 746	150,342	30 619	9 383
1023	109 076	255,933	44 106	9 460
1024	135 957	435,260	57 239	13 662
1025	289 914	581,249	119 629	30 403
1026	72 779	236,931	26 367	6 825
1027	61 484	231,172	20 671	5 294
1028	110 122	367,615	47 848	11 192
1029	19 946	41,968	6 402	2 256
1030	216 376	276,400	79 612	19 224
1031	349 590	481,224	153 283	35 732
1032	62 591	465,070	31 530	6 000
1033	74 206	131,330	31 836	6 953
1034	31 801	28,101	10 291	3 533
1035	14 742	24,484	8 405	2 023
1036	35 292	175,406	12 948	3 133
1037	19 514	36,738	12 728	1 605
1038	66 812	82,915	20 623	5 279
1039	86 347	250,610	30 680	7 903
1040	175 410	436,148	72 637	17 931
1041	23 257	81,118	6 442	1 960



Отримавши дані про кількість працюючих, було встановлено, що найбільша кількість працівників – у виробництві, а найбільша кількість існуючих видів діяльності – в оптовій та роздрібній сфері (рис. 3.4 та 3.5).

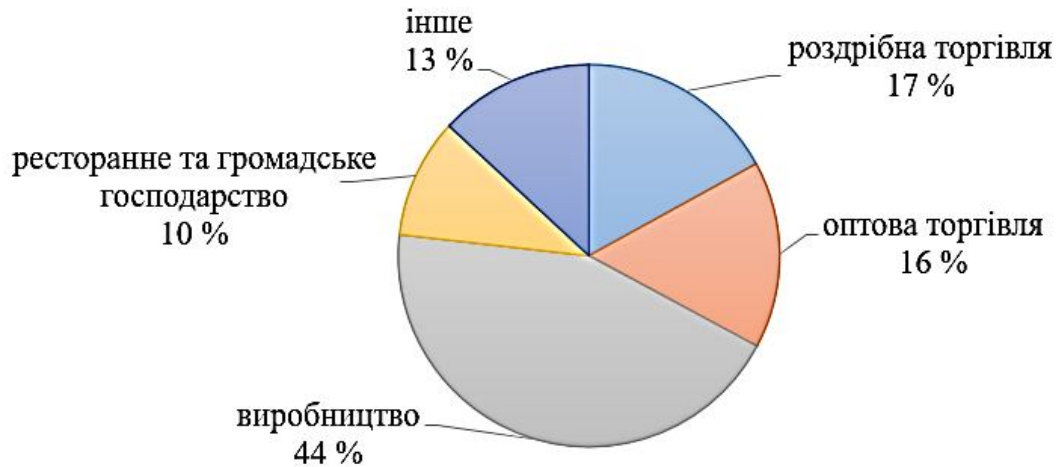


Рисунок 3.4 – Розподіл працівників між соціально-економічними секторами діяльності

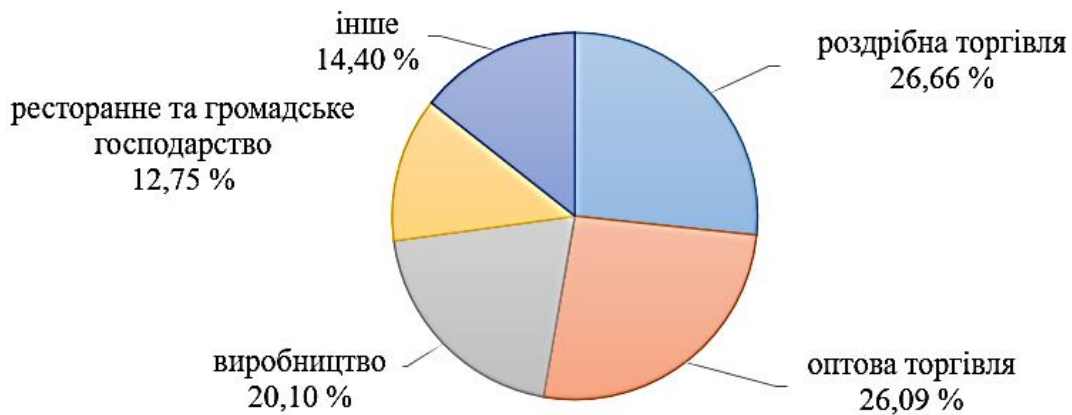


Рисунок 3.5 – Розподіл видів діяльності між соціально-економічними секторами діяльності

За допомогою програмного забезпечення Quantum GIS були створені такі карти: щільність населення, кількість працівників та населення, кількість існуючих видів діяльності у кожній зоні, кількість маршрутів доставки (рис. 3.6–3.9).

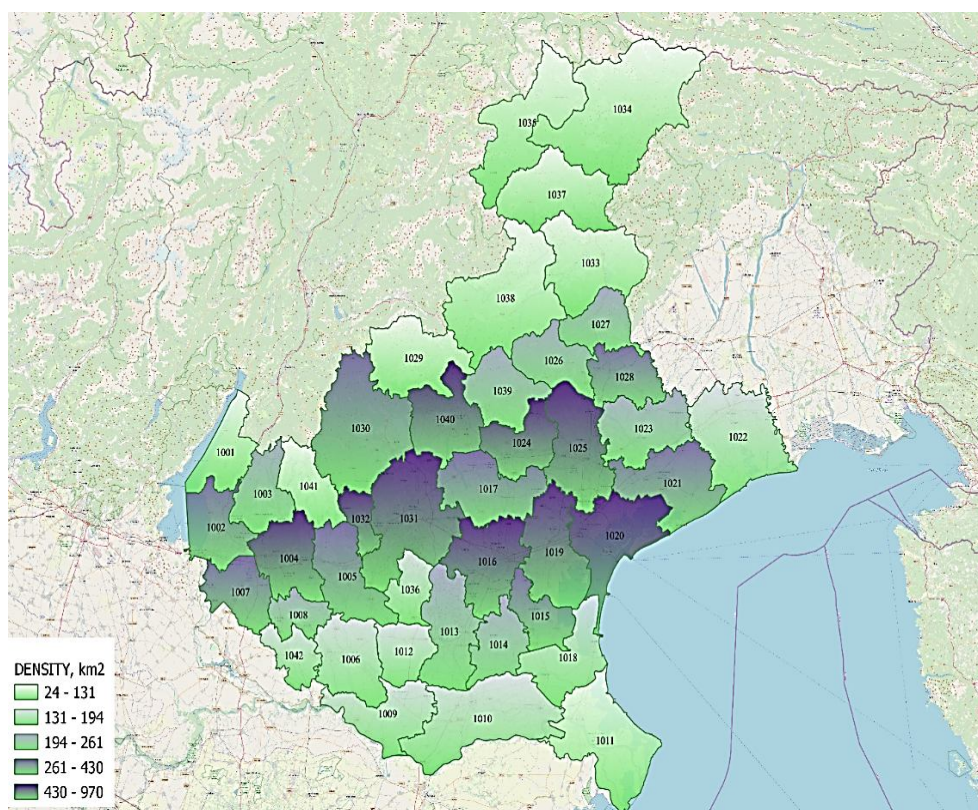


Рисунок 3.6 – Щільність населення, осіб/км<sup>2</sup>

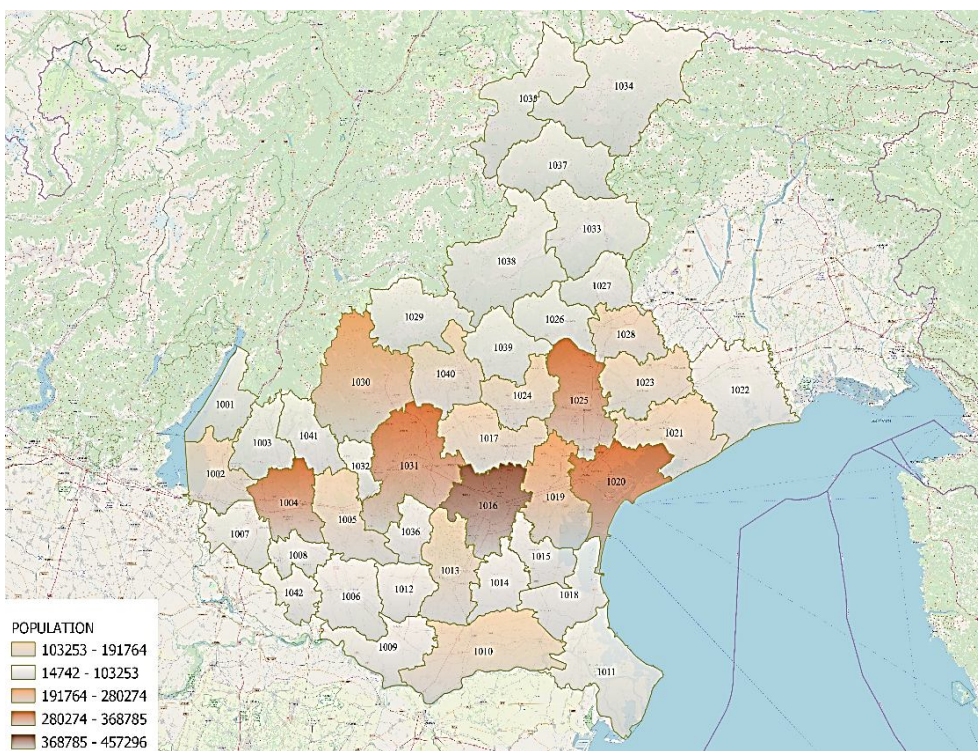


Рисунок 3.7 – Кількість населення, осіб

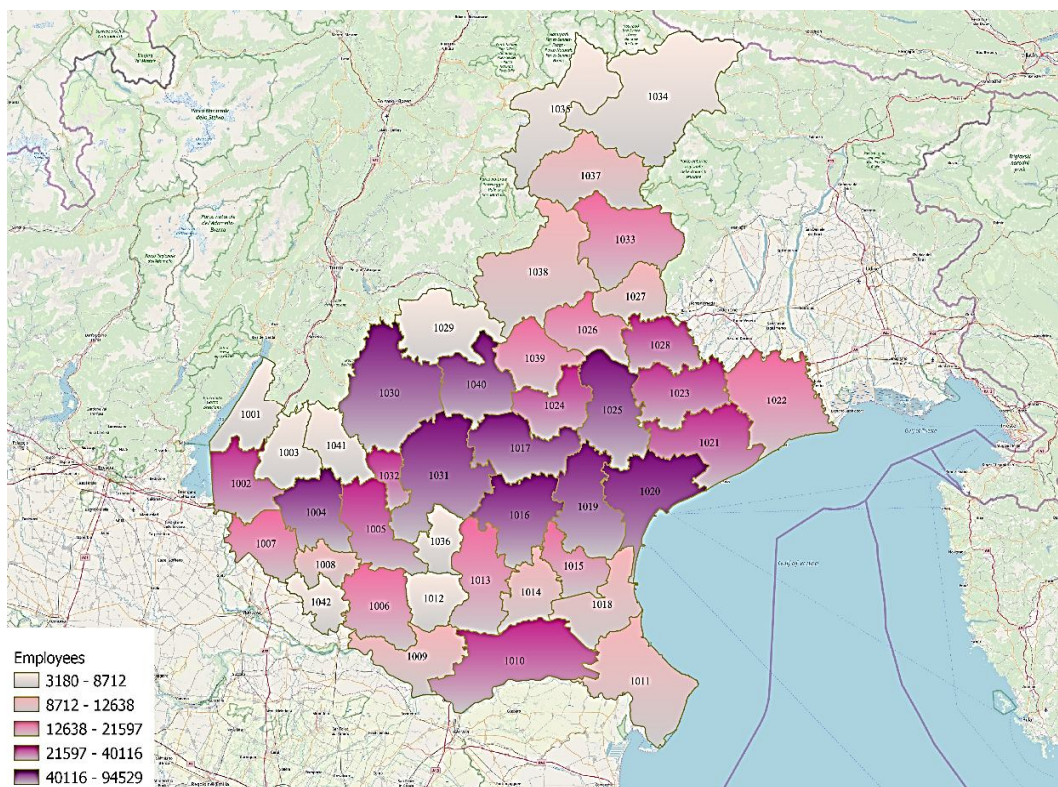


Рисунок 3.8 – Кількість робітників, осіб

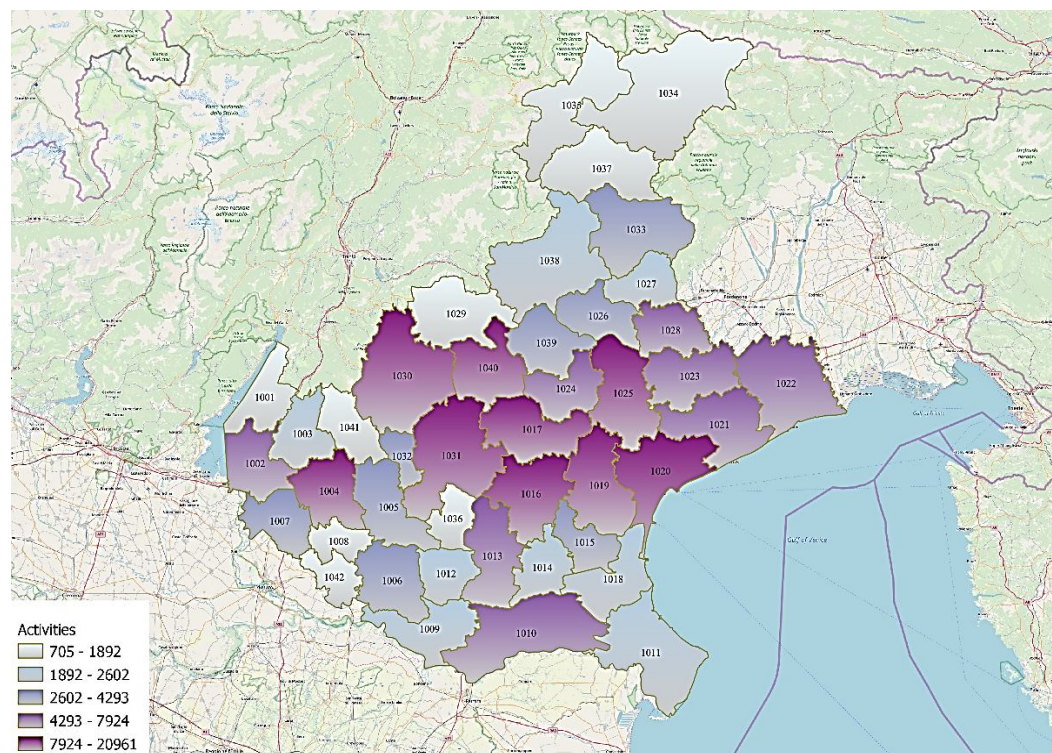


Рисунок 3.9 – Кількість видів діяльності, од.

### 3.2.2 Дані автоматизованого моніторингу транспортних засобів

Наступна база даних отримана у результаті обробки інформації з автоматизованого моніторингу транспорту (за 60 робочих днів спостережень з січня по червень 2018 року), зокрема, такі як клас транспортного засобу, марка, модель, рік, тип, вид палива, вага, точка та час відправлення та прибуття маршрутів, координати (географічне положення: широта та довгота), миттєва швидкість, тип дороги (міська, позаміська, магістраль) (табл. 3.3, 3.4).

Дані були оброблені з метою дослідження видів маршрутів доставки та показників маршрутів. Проаналізовано базу даних із 1 386 транспортних засобів, що відповідає понад 27 000 здійснених маршрутів.

Аналіз даних автоматизованого моніторингу транспорту був проведений з метою детального з'ясування інформації про транспортний процес щодо кількості доставок та транспортних засобів: який вантаж та обсяг його переважно перевозили, скільки поставчань виконували, які транспортні засоби використовували тощо. Аналіз показав, що виділено чотири категорії основного виду вантажів. На рисунку 3.10 показано обсяг вантажу в тонах за весь період дослідження та його відсоткове співвідношення.



Рисунок 3.10 – Розподіл виду вантажу за загальним обсягом перевезень на маршрутах: тонни; %

Таблиця 3.3 – Дані автоматизованого моніторингу транспортних засобів у регіоні Венето

ID маршруту	Зона	ID транспорту	Дата відправлення	Час відправлення	Час прибуття	Час на маршруті, год	Кількість зупинок	Адреса відправлення
2400022T 43108	1008	2400022	08.01.2018	07:51	17:52	10,00	6	ITALIA-VENETO-VR-VALEGGIO SUL MINCIO-VIA NILO MONDIN 1-6
2400022T 43110	1008	2400022	10.01.2018	08:02	17:42	9,67	7	ITALIA-VENETO-VR-VALEGGIO SUL MINCIO-VIA NILO MONDIN 8-10
2400022T 43116	1008	2400022	16.01.2018	07:57	16:26	8,49	6	ITALIA-VENETO-VR-VALEGGIO SUL MINCIO-SP27
2400022T 43118	1008	2400022	18.01.2018	07:34	18:28	10,89	9	ITALIA-VENETO-VR-VALEGGIO SUL MINCIO-VIA NILO MONDIN 1-6
2400022T 43119	1008	2400022	19.01.2018	07:50	17:33	9,71	7	ITALIA-VENETO-VR-VALEGGIO SUL MINCIO-SENZA NOME
2400022T 43122	1008	2400022	22.01.2018	07:49	17:48	9,98	8	ITALIA-VENETO-VR-VALEGGIO SUL MINCIO-VIA NILO MONDIN 8-10
...	...	...	...	...	...	...	...	...
2400022T 43126	1008	2400022	26.01.2018	07:20	18:15	10,92	7	ITALIA-VENETO-VR-VALEGGIO SUL MINCIO-SENZA NOME

Таблиця 3.4 – Дані автоматизованого моніторингу транспортних засобів у регіоні Венето

ID транспорту	Клас ТЗ	Тип	Євростандарт	Тип палива	Викиди, г	Марка	Об'єм, дм <sup>3</sup>	Обсяг вантажу, т.	Вантажо-підйомність, т.
2400022	1	A	5	Бензин	133	263 ZXC1A SN2CN	1 248	2,07	1,365
2400063	1	A	5	Бензин	180	RENAULT MA MAFE MAFEYC	2 299	3,5	1,965
2400075	1	A	4	Бензин		PEUGEOT BOXER	2 148	3,5	3,450
2400094	1	A	5	Бензин	180	RENAULT MA MAFE MAFEYC	2 299	3,5	1,965
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
2400105	1	A	5	Бензин	133	FIAT 263 ZXC1A SN2CNES S.P.A.	1 248	3,5	1365

На жаль, із даних, отриманих від автоматизованого моніторингу транспортних засобів, неможливо детально визначити види товарів, які перевозяться. Існує категорія «Інші», в якій деталі не представлені.

Встановлено, що транспортні засоби поділяються на такі типи за вантажопідйомністю: малі (1, 2, 3 клас), середні (4, 5, 6 клас) та великі (7, 8 клас). У цьому наборі даних є лише категорія транспортних засобів малої вантажопідйомності (1-й клас, менше 3 тон). Отже, було проаналізовано набір із 1 386 транспортних засобів. Їх відсоток за видами вантажу наведений на рисунку 3.11.

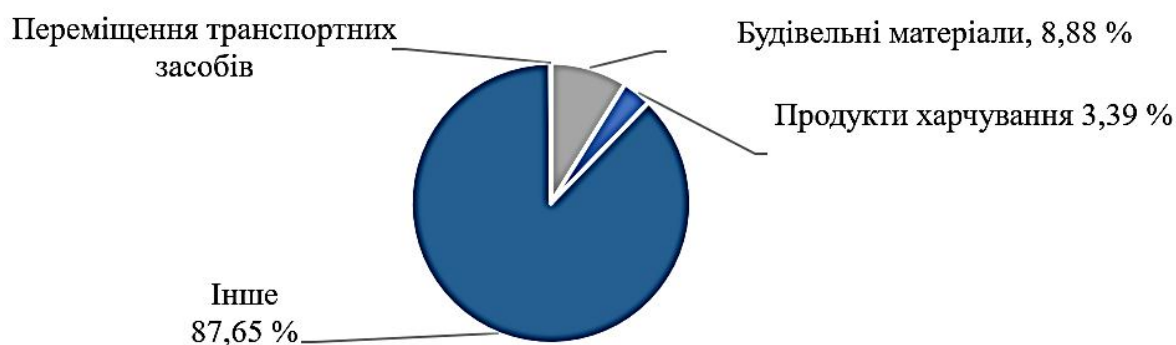


Рисунок 3.11 – Розподіл кількості транспортних засобів за видами вантажу на маршрутах

Наступний проаналізований показник – коефіцієнт використання вантажопідйомності. Це відношення фактичного обсягу вантажу до загальної вантажопідйомності в тонах [49]. Цей параметр вказує на ступінь використання місткості транспортного засобу. На рисунку 3.12 показано середній коефіцієнт використання вантажопідйомності за видами вантажу.

Середній коефіцієнт використання вантажопідйомності для всіх типів вантажу становить 0,72. Щоб збільшити значення коефіцієнта, необхідно підбирати транспортні засоби відповідно до кількості та типу вантажу, щоб правильно розкласти вантаж у кузові.

Важливим фактором транспортного процесу є тип палива, який використовується. На рисунку 3.13 показано, що найпоширенішим видом палива є дизельне. Транспортні засоби з цим типом двигуна споживають небагато та є досить економічними. Також використовується газ, який має декілька переваг, що стосуються експлуатації автомобілів. Порівняно з дизелем, газ не виробляє побічні продукти згоряння: це найбільш екологічно чистий вид палива, який відповідає стандартам Євро-5 та Євро-

6. Варто зазначити, що електромобілі взагалі не використовувалися у розглянутий період дослідження.

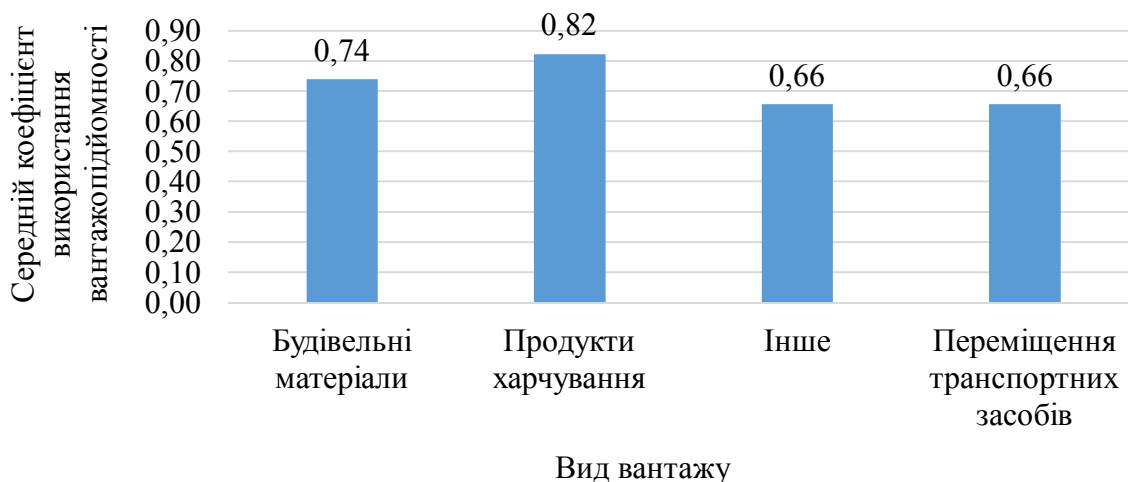


Рисунок 3.12 – Середній коефіцієнт використання вантажопідйомності за видами вантажу

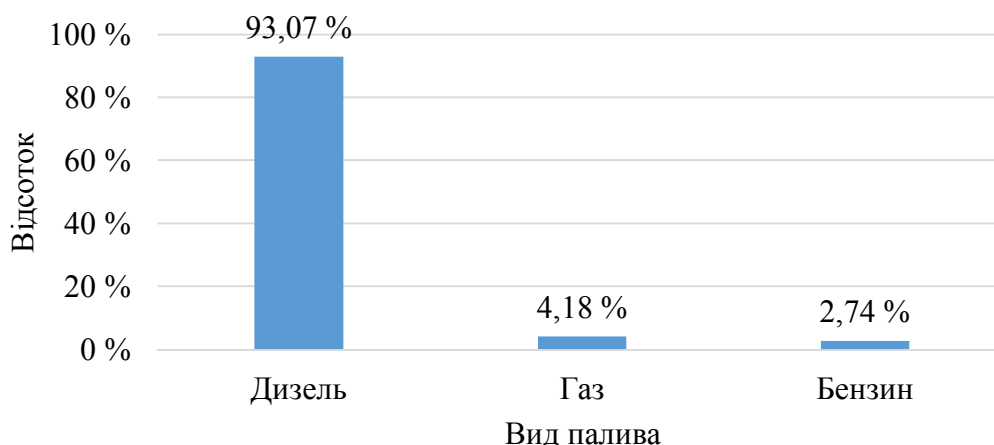


Рисунок 3.13 – Вид палива, що використовується транспортними засобами на маршрутах

На наступному графіку показано відсоткове співвідношення автомобілів за типом власності – власні або використання послуг третьої сторони (рис. 3.14). Існує тенденція до використання аутсорсингу, оскільки ця система пропонує єдине рішення для комплектування, упакування, складування та дистрибуції товарів. Використання аутсорсингу дає підприємствам надійну логістичну перевагу та максимально збільшує прибутковість у більшості випадків. Це має кілька переваг, особливо для часткової системи оренди, яка набуває популярності та під час змінного обсягу вантажу залежно від пори року.

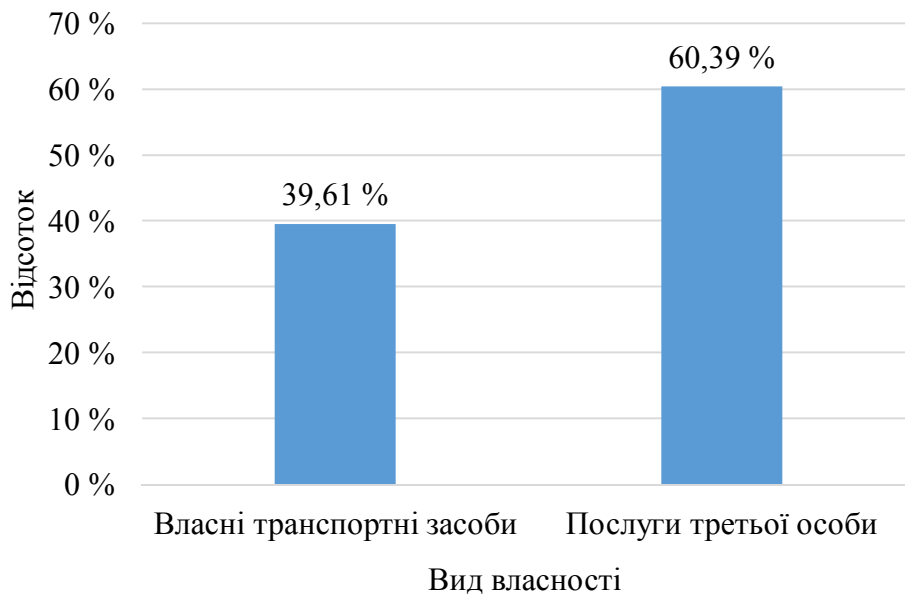


Рисунок 3.14 – Співвідношення типу власності транспортних засобів у відсотках

Детально проаналізовано кількість маршрутів руху. Було виявлено, що найбільша кількість маршрутів здійснюється у великих містах, оскільки вони є пунктами транспортного з'єднання – Венеція, Віченца, Падуя, Тревизо, завдяки розвиненій промисловості та сільському господарству, а також туристичному бізнесу (рис. 3.15). Це чотири найбільші провінції регіону.

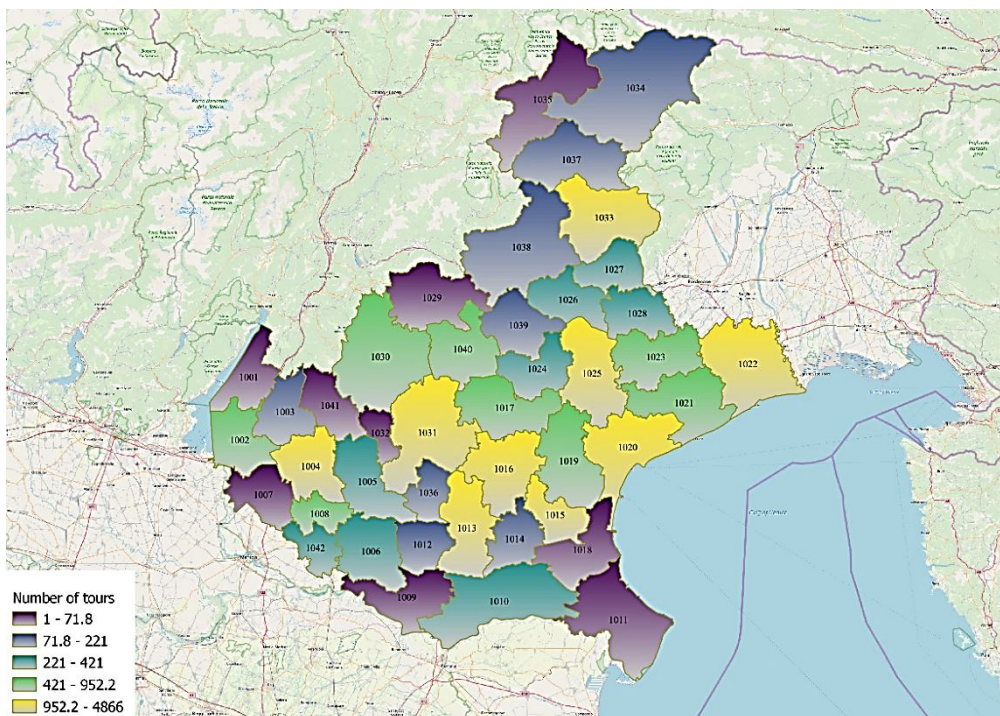


Рисунок 3.15 – Кількість маршрутів доставки у регіоні Венето



Найбільша кількість маршрутів доставки знаходиться в зоні 1016 – Падуа (рис. 3.16). Провінція має найвищу густоту в районі. Кількість маршрутів руху становить 20 % від усіх маршрутів у регіоні. Це також може бути пов'язане з туристичним бізнесом, кількістю підприємств готельно-ресторанного комплексу, які займають велику частку у транспортному середовищі.

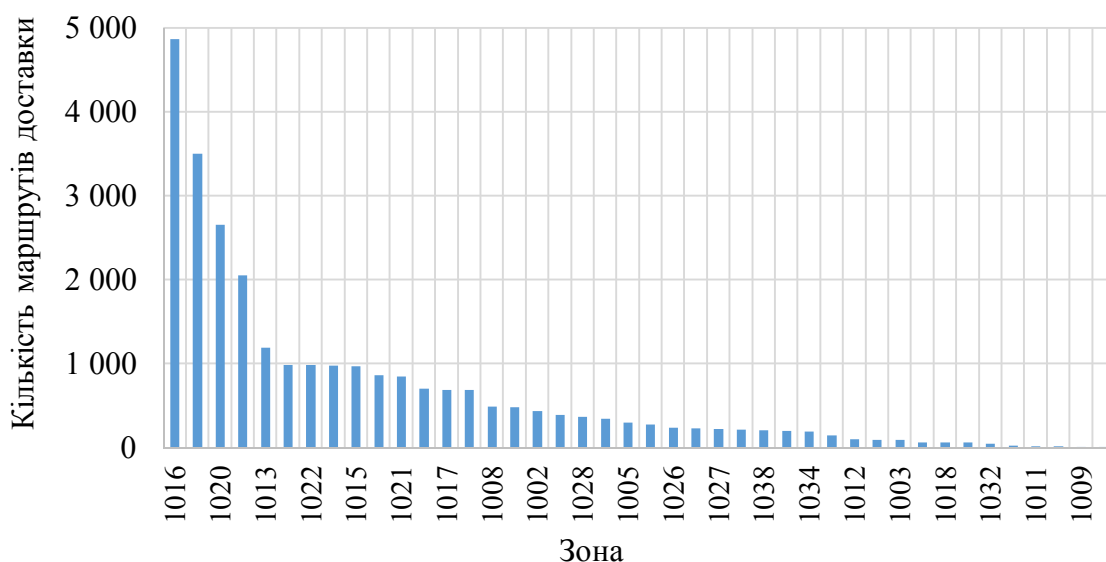


Рисунок 3.16 – Кількість маршрутів доставки по зонах регіону Венето

Однією із важливих характеристик маршрутів доставки вантажів є кількість зупинок, що описує вид маршруту, наприклад поїздка в одну сторону або поїздка з багаторазовим завантаженням/розвантаженням. Визначено два типи маршрутів доставки: маятникові, з однією зупинкою, що становить 12 % від загальної кількості маршрутів руху; розвізні (кільцеві) – з 2 і більше зупинками, маршрут, за яким транспортні засоби рухаються між декількома точками навантаження та розвантаження, що займає 88 % (рис. 3.17).



Рисунок 3.17 – Типи маршрутів доставки

Аналіз даних автоматизованого моніторингу транспорту дає змогу виявити кількість зупинок у кожній зоні залежно від вантажопідйомності транспортного засобу (рис. 3.18).

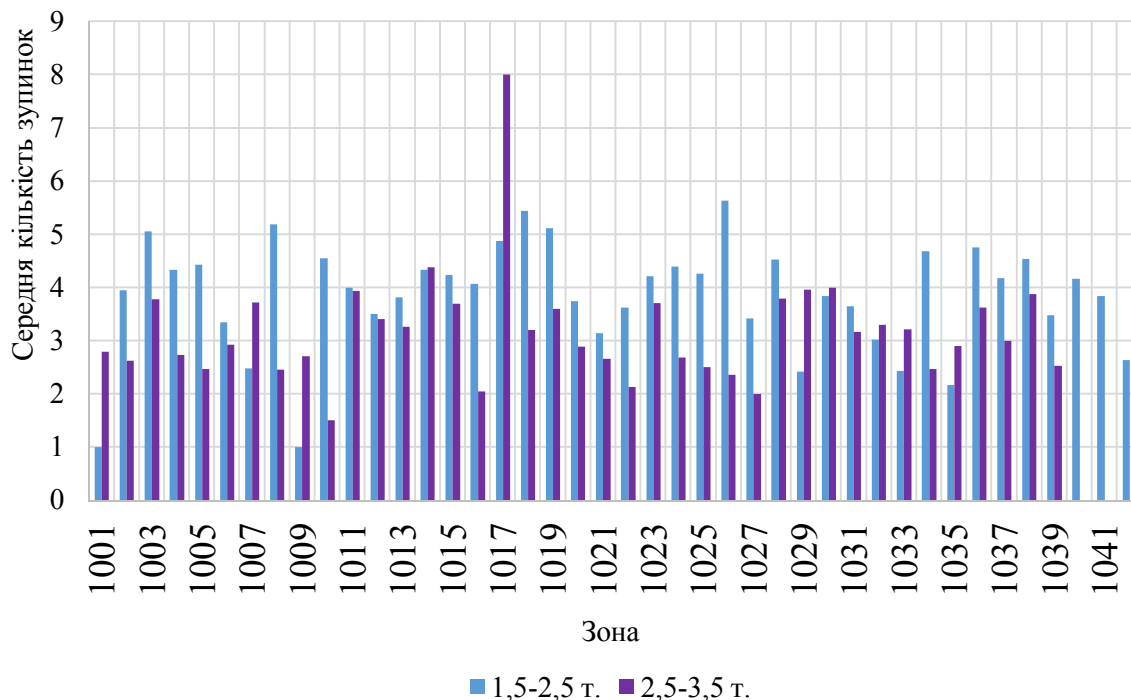


Рисунок 3.18 – Середня кількість зупинок на маршруті

Транспортні засоби були розділені на дві категорії до 2,5 т і від 2,5 до 3,5 т, щоб зрозуміти, які транспортні засоби здійснюють більше зупинок на одному маршруті. У першій категорії – до 2,5 т, транспортні засоби роблять у середньому 4 зупинки за маршрут, у другій категорії – близько 3. Різниця невелика, але все-таки є тенденція – чим більша вантажопідйомність транспортного засобу, тим менше кількість зупинок. Це може бути пов'язано з тим, що маршрут здійснюється у межах міста на невелику відстань та маршрут здійснюється між містами до складу зберігання товарів.

Також вагомим показником характеристики маршруту є час. Аналіз даних дозволяє з'ясувати час відправлення маршруту. Кожен із перелічених вище маршрутів має свої особливості, зокрема час його відправлення. На рисунку 3.19 показано розподіл кількості маршрутів за часом відправлення від точки відправлення.

Очевидно, що найбільша кількість відправлень маршрутів відбувається в період із 6:00 до 10:00 ранку. Це може бути пов'язано, як було зазначено раніше, з поставками готельно-ресторанного комплексу,

доставкою вранці до відкриття магазинів/кафе, а також доставкою будівельних матеріалів, до початку виробництва.

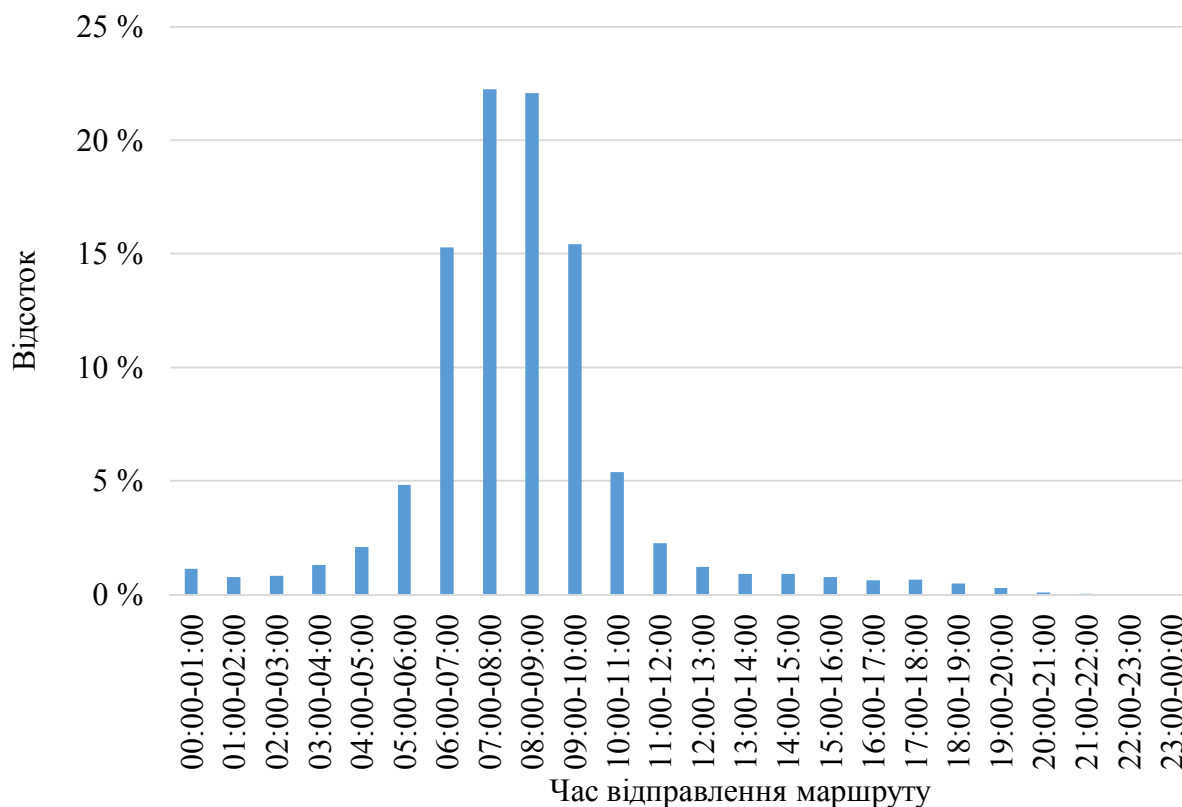


Рисунок 3.19 – Розподіл часу відправлення маршруту із зони

Наступним кроком, проаналізовано середню кількість зупинок залежно від часу відправлення транспортного засобу. Максимальна кількість зупинок – 7 за певний проміжок часу з зони 1006 та 1017. Зазвичай, якщо ми беремо поставки готельно-ресторанного комплексу, дуже важливо доставити товари та свіжі продукти вчасно, до відкриття магазину чи супермаркету. Багато компаній використовують нічні поставки, оскільки мешканці проживають поблизу магазинів, які піддаються шуму, або над ними. Деякі дослідження показують, що багато видів навантажувально-розвантажувальних робіт перевищують межі 60 дБ та 65 дБ (А), запропоновані вдень та вночі. Мінімальна кількість зупинок з 21:00 до півночі – це в середньому 1 зупинка. Кількість обслуговуваних зон відправлення зменшується з 42 до 14.

Встановлено, що маршрути, які відправляються з півночі до 6:00, роблять більше зупинок, ніж у денний – вечірній період, оскільки деякі підприємства використовують переваги нічної доставки. Це може бути кільцевий розвізний маршрут із великою кількістю зупинок без заторів.

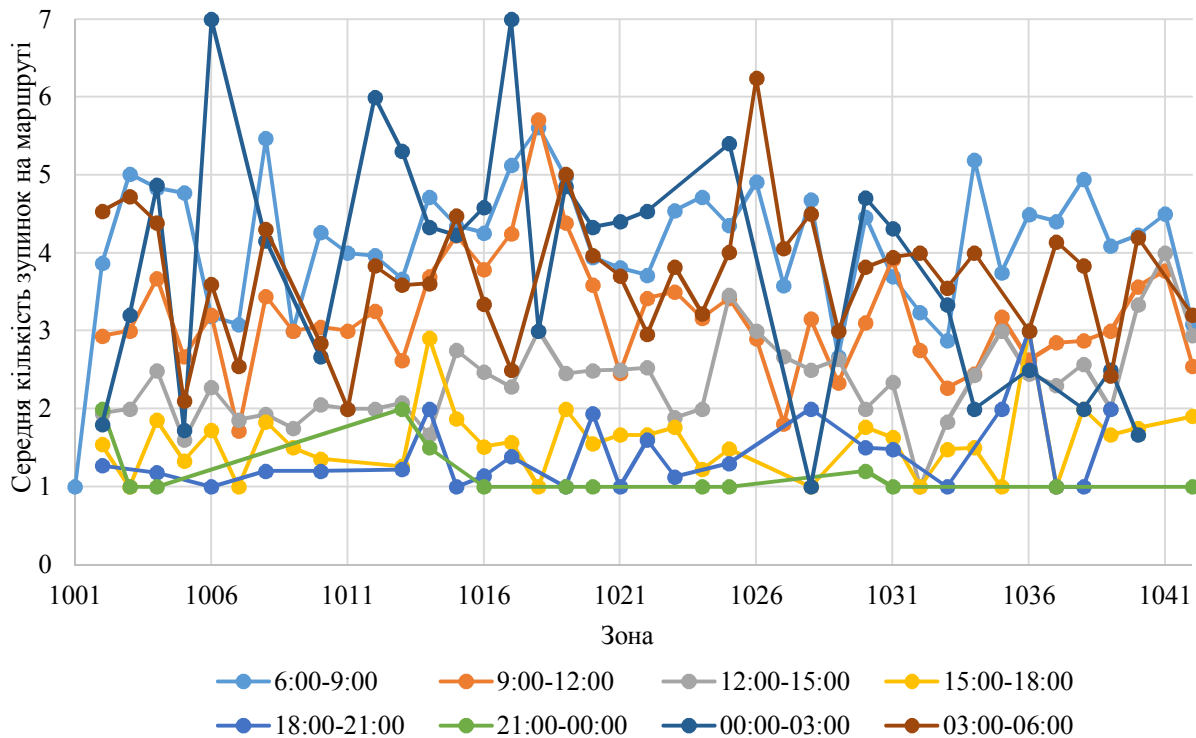


Рисунок 3.20 – Середня кількість зупинок у кожній зоні у різний час доби

### 3.3 Специфікація моделі та калібрування

Використовуючи методологію моделювання маршрутів доставки проф. Комі та проф. Нуццоло, було побудовано модель зміни середньої кількості зупинок на маршруті та модель зміни кількості маршрутів доставки за допомогою регресійного аналізу.

#### 3.3.1 Середня кількість зупинок на маршруті

Кількість зупинок у зоні можна охарактеризувати за допомогою такої функції:

$$n = f(t, q, E, A), \quad (3.1)$$

де  $n$  – середня кількість зупинок на маршруті, що відправляється із заданої зони;

$t$  – середній час руху на маршруті, що відправляється із заданої зони, год.;

$q$  – середня вантажопідйомність транспортного засобу, що відправляється із заданої зони, т;

$E$  – кількість працівників роздрібної та оптової торгівлі заданої зони;

$A$  – кількість видів роздрібної та оптової діяльності заданої зони.

На цьому етапі дослідження було проведено кореляційний аналіз, що показує міцність зв'язку між двома змінними. По-перше, були проаналізовані соціально-економічні дані регіону Венето. Визначено, що такі види діяльності найбільш залучені у транспортний процес: роздрібна торгівля, оптова торгівля, житлове будівництво, виробництво, ресторанне та громадське господарство, транспорт та зберігання, транспортування відходів. Залежності зазначених даних наведені на рисунках 3.21–3.23.

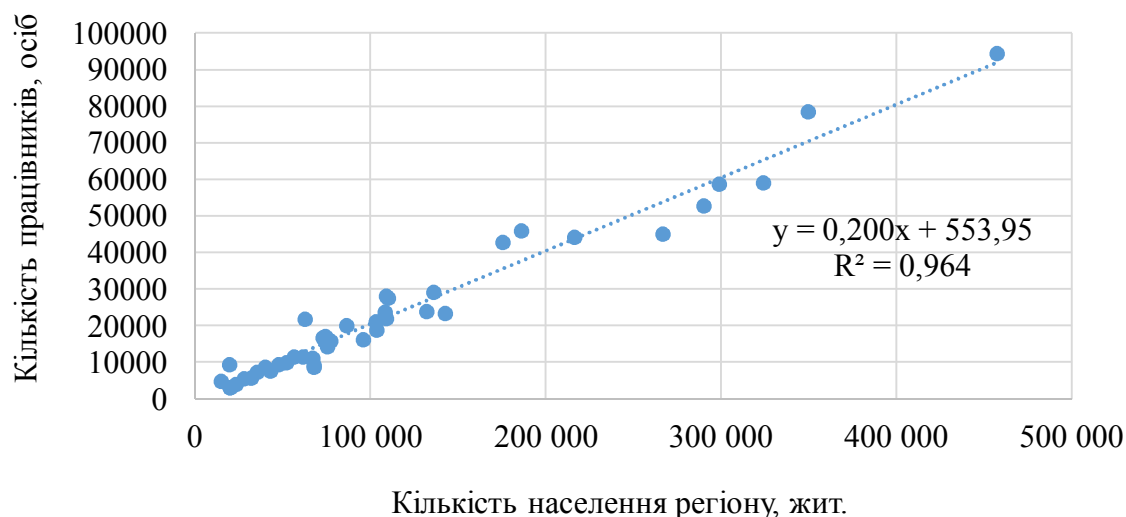


Рисунок 3.21 – Залежність кількості працівників від населення в регіоні

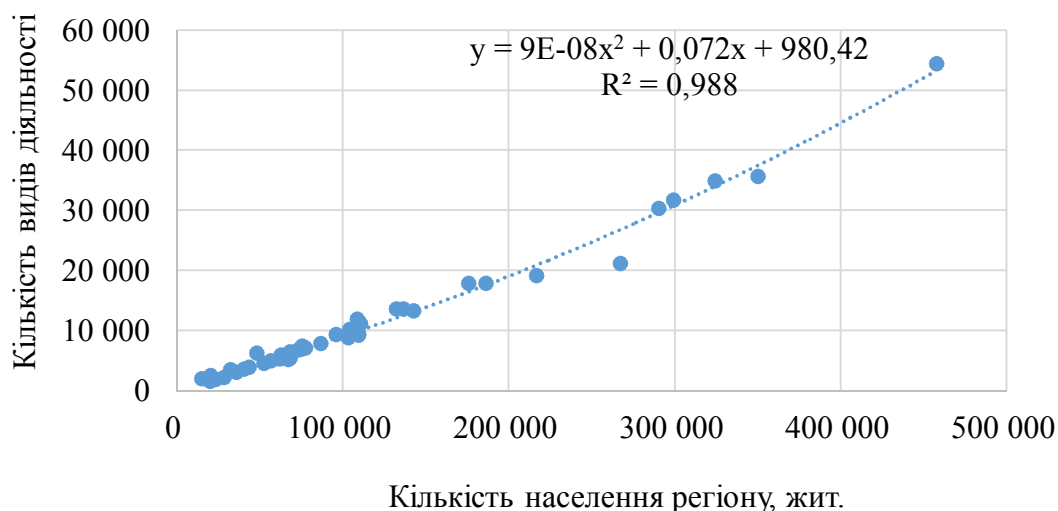


Рисунок 3.22 – Залежність кількості видів діяльності від населення у регіоні

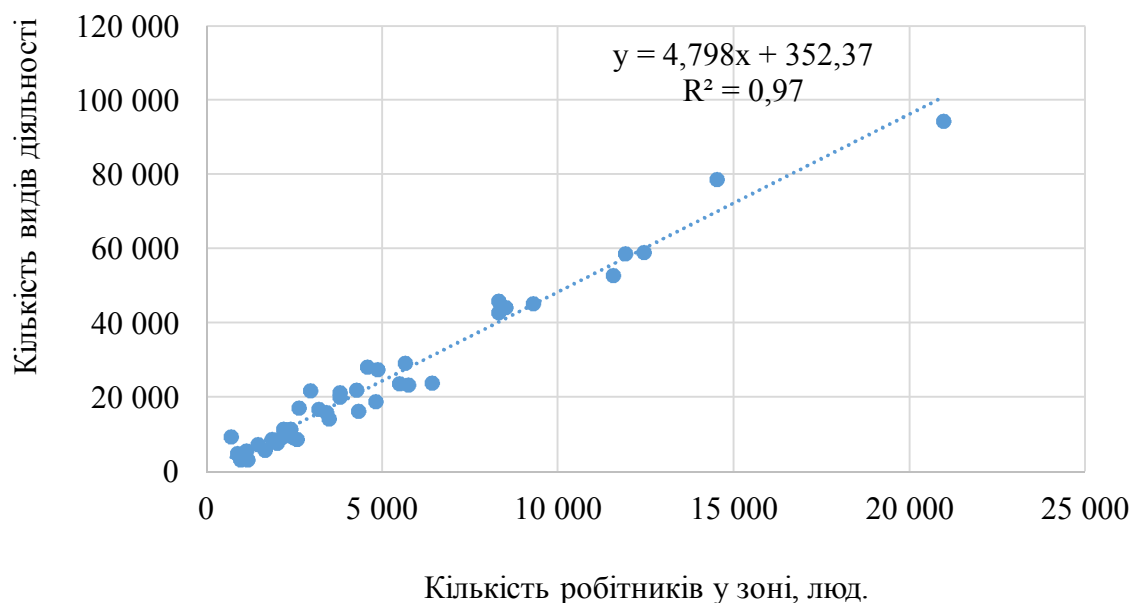


Рисунок 3.23 – Залежність кількості видів діяльності від кількості працівників у регіоні

По-друге, проаналізовано показники транспортного процесу за даними, отриманими з автоматизованого моніторингу транспорту: час руху на маршруті, середня кількість зупинок на маршруті, обсяг вантажу (рис. 3.24– 3.26).

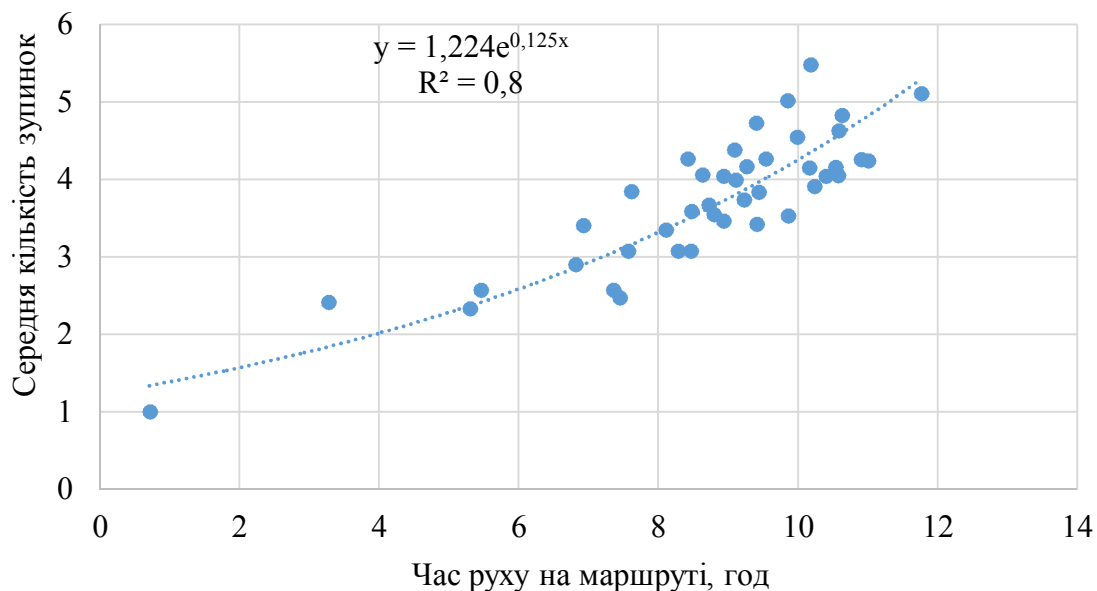


Рисунок 3.24 – Залежність середньої кількості зупинок від часу руху на маршруті

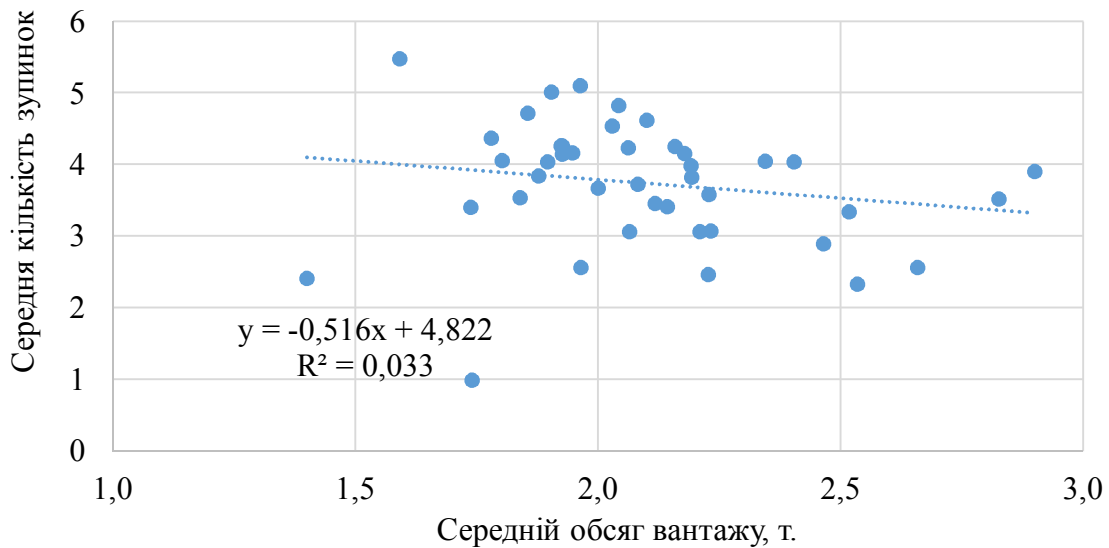


Рисунок 3.25 – Залежність середньої кількості зупинок від середньої кількості вантажу в транспортному засобі за маршрут

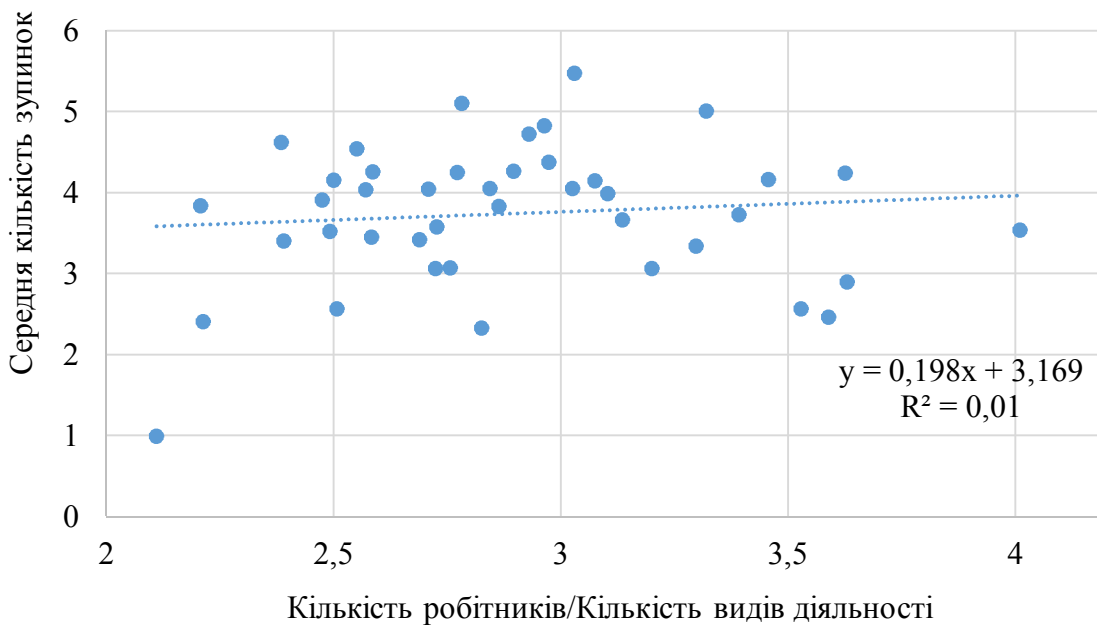


Рисунок 3.26 – Залежність середньої кількості зупинок від співвідношення працівників роздрібної та оптової торгівлі до видів діяльності

З іншого боку, регресійний аналіз дає більше інформації: можливим є продемонструвати, наскільки одна чи кілька змінних потенційно можуть спричинити позитивні чи негативні зміни в іншому параметрі. Модель середньої кількості зупинок на маршруті була побудована за допомогою багаторазового регресійного аналізу, який є одним із найширше використовуваних статистичних інструментів, оскільки забезпечує прості методи встановлення функціонального зв'язку між змінними. Розмір вибірки для регресійних моделей дорівнює кількості зон у регіоні – 42.

Щоб передбачити залежну змінну – середню кількість зупинок на маршруті до незалежних змінних – застосовується математична формула, обрана методом послідовного вибору змінних. Були обрані параметри, які мають найбільший вплив та відображають соціально економічну частину, а також транспортні характеристики (формула 3.1).

Стандартне рівняння регресії складається з таких параметрів:

- залежна змінна (Y);
- незалежні змінні (X);
- коефіцієнти регресії ( $\beta$ ).

Обрані незалежні змінні відображають соціально-економічну частину, а також транспортні характеристики: співвідношення працівників роздрібною торгівлі та оптової торгівлі до видів діяльності, середній час поїздки на маршруті, середній обсяг вантажу у транспортному засобі (дод. В, табл. В.1, рис. В.1).

Фактичні дані середньої кількості зупинок обчислювались за формулою 2.2. Для визначення точності даних було обчислено стандартне відхилення – міра того, наскільки розподілені дані та коефіцієнт варіації – статистичний показник дисперсії точок даних у ряді даних навколо середнього (табл. 3.5).

Для обчислення коефіцієнтів регресії, оцінки стандартних помилок, значень та інших критеріїв використовувався програмний пакет STATGRAPHICS Centurion 18. Це продукт для статистичного аналізу, візуалізації даних та прогнозу аналітики, який містить понад 260 процедур, що охоплюють широкий спектр методів аналізу даних. У цій програмі було використано метод найменших квадратів для вирішення задачі обчислення регресійних параметрів.

Оскільки модель є зональною, враховуючи зону руху, середня кількість зупинок на маршруті, що відправляються із заданої зони, може бути виражена в такий спосіб:

$$n_i = 0,219 \frac{E_i}{A_i} + 0,413 t_i - 0,245 q_i, \quad (3.2)$$

Модель регресії тим краще, чим більша частина дисперсії пояснюється зміною регулярного складника. Коефіцієнт детермінації ( $R^2$ ) отриманої моделі дорівнює 98,6, що свідчить про те, що модель відповідає реальним даним області дослідження. Одним із показників стійкості є стандартна похибка коефіцієнтів, яка демонструє дисперсію незалежної змінної. Стандартна похибка становить 0,47. Середня абсолютна похибка (MAE) становить 0,38.



Таблиця 3.5 – Характеристика даних

Зона	Кількість маршрутів	Середня кількість зупинок	Мінімальна кількість зупинок	Максимальна кількість зупинок	Стандартне відхилення	Коефіцієнт варіації
1001	1	1	1	1	-	-
1002	439	3,344	1	9	2,010	0,601
1003	91	4,626	1	10	2,219	0,480
1004	988	4,243	1	14	2,198	0,518
1005	297	4,168	1	13	2,966	0,712
1006	348	3,072	1	8	1,548	0,504
1007	67	2,567	1	7	1,598	0,622
1008	492	5,016	1	10	2,300	0,459
1009	12	2,333	1	4	0,888	0,380
1010	394	3,584	1	10	2,146	0,599
1011	22	3,545	1	6	1,535	0,433
1012	102	3,912	1	11	1,792	0,458
1013	1190	3,527	1	10	1,618	0,459
1014	217	4,263	1	11	2,073	0,486
1015	974	4,256	1	11	1,900	0,446
1016	4866	3,990	1	14	2,191	0,549
1017	692	4,725	1	12	2,516	0,532
1018	67	5,478	1	9	2,106	0,384
1019	865	4,828	1	14	2,158	0,447
1020	2660	3,734	1	11	1,934	0,518
1021	848	3,072	1	10	1,743	0,567
1022	988	3,421	1	11	1,851	0,541
1023	702	4,058	1	11	2,055	0,506
1024	276	4,377	1	11	2,331	0,533
1025	2056	4,151	1	12	2,251	0,542
1026	236	5,106	1	10	1,990	0,390
1027	227	3,405	1	9	1,224	0,360
1028	367	4,267	1	12	2,394	0,561
1029	63	2,413	1	5	0,978	0,405
1030	686	3,832	1	11	2,095	0,547
1031	3502	3,672	1	13	2,084	0,568
1032	52	3,077	1	7	1,582	0,514
1033	981	2,470	1	9	1,461	0,592
1034	195	4,544	1	10	2,307	0,508
1035	20	2,900	1	7	1,774	0,612
1036	146	4,158	1	10	1,795	0,432
1037	198	4,045	1	11	1,980	0,490
1038	212	4,042	1	9	1,553	0,384
1039	98	3,459	1	9	2,101	0,607
1040	486	4,053	1	9	1,747	0,431
1041	26	3,846	1	7	1,642	0,427
1042	235	2,570	1	8	1,555	0,605

Для першого фактору моделі Р-значення більше 0,05, і у таких випадках рекомендовано розглянути питання про виключення цього

фактора, однак у межах дослідження фізичного процесу функціонування транспорту прийнято рішення про включення цього фактора до моделі. У подальших дослідженнях необхідно буде детальніше проаналізувати модель.

### 3.3.2 Кількість поставок доставки

Кількість поставок в зону можна охарактеризувати за допомогою такої функції:

$$ND = f(n, Q, t, E, A), \quad (3.3)$$

де  $n$  – середня кількість зупинок, здійснених під час маршруту, що відправляється із заданої зони;

$Q$  – обсяг вантажу, що перевозиться за період дослідження, т.

$t$  – середній час руху на маршруті, що відправляється із заданої зони, год.;

$E$  – кількість працівників роздрібної та оптової торгівлі у заданій зоні;

$A$  – кількість видів діяльності роздрібної та оптової у заданій зоні.

На цьому етапі дослідження був проведений кореляційний аналіз, використовуючи дані як соціально-економічні, так і транспортного процесу для визначення незалежних змінних. Залежності даних, що аналізуються, наведені на рисунках 3.27–3.31.

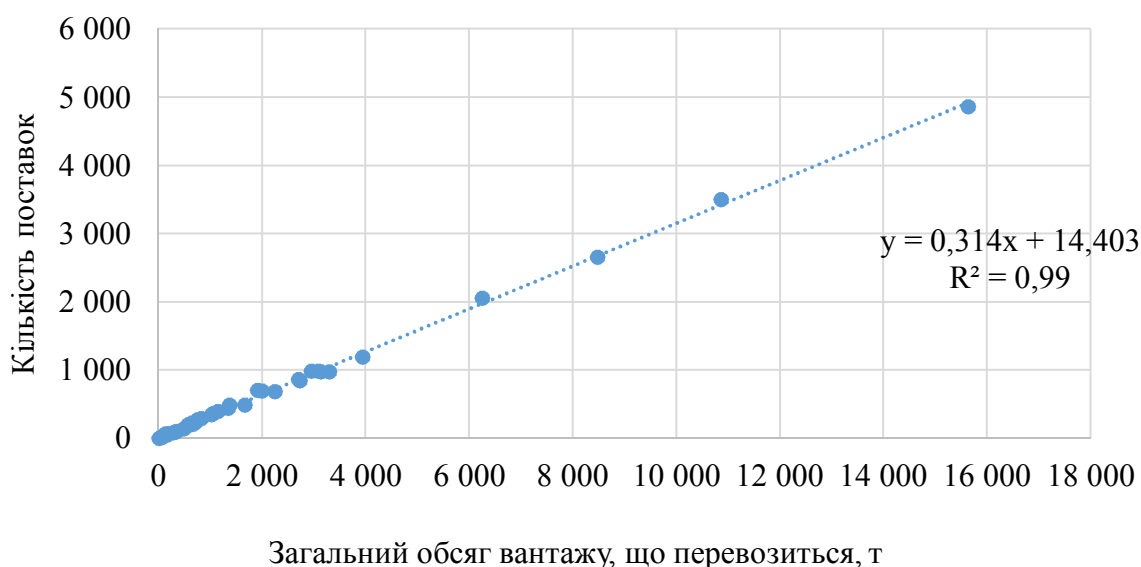


Рисунок 3.27 – Залежність кількості поставок від загального обсягу вантажу

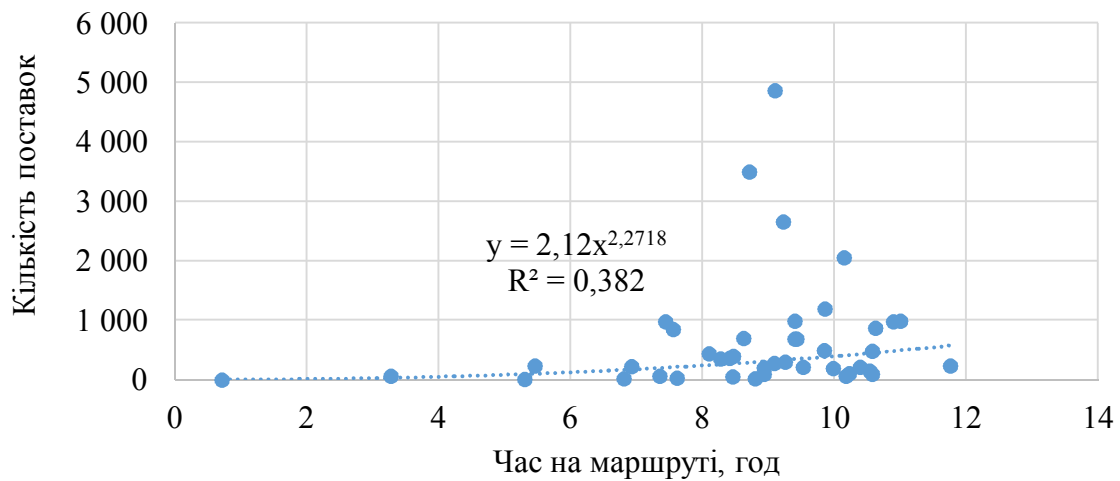


Рисунок 3.28 – Залежність кількості поставок від часу на маршруті

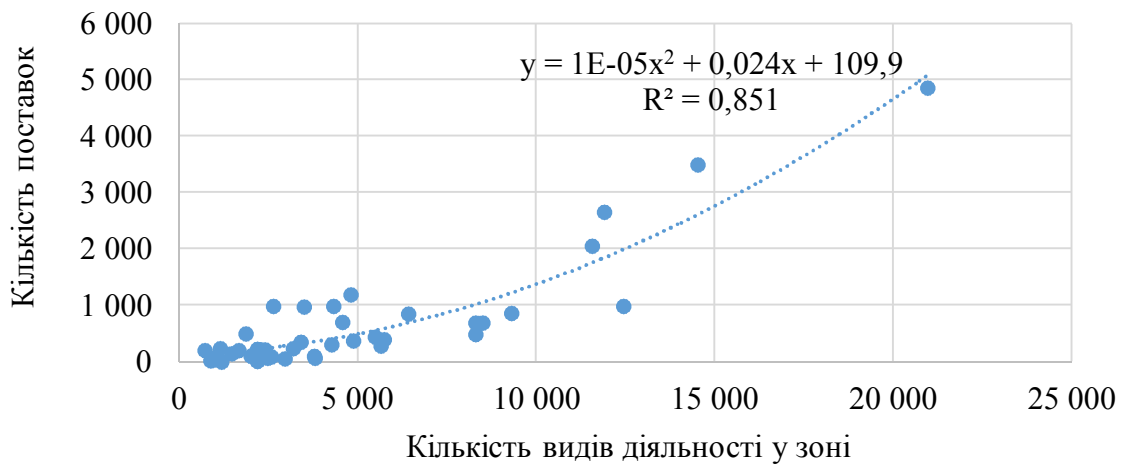


Рисунок 3.29 – Залежність кількості поставок від видів діяльності

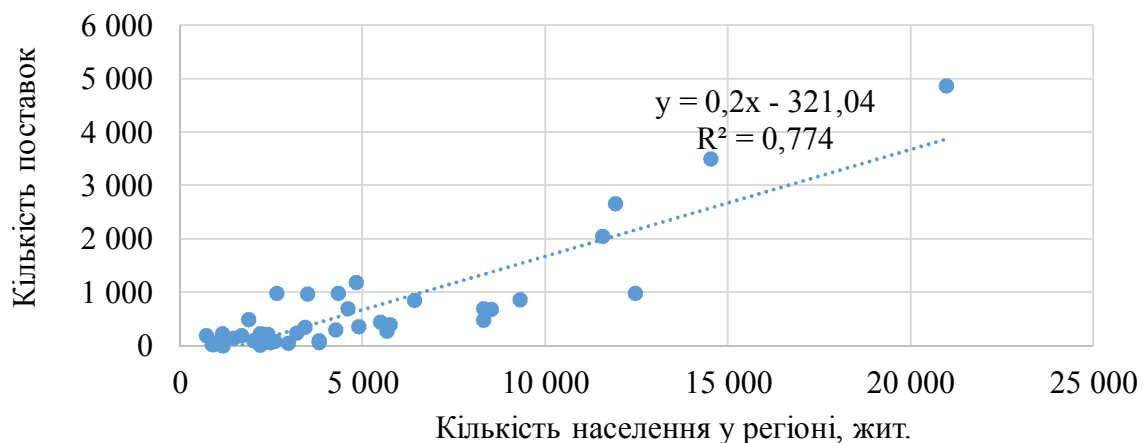


Рисунок 3.30 – Залежність кількості поставок до кількості населення



Рисунок 3.31 – Залежність кількості поставок від кількості зупинок

Для побудови моделі були обрані найбільш значущі фактори: кількість видів діяльності роздрібної та оптової торгівлі у заданій зоні, співвідношення обсягу вантажів, що перевозяться транспортним засобом за маршрут доставки до середньої кількості зупинки на маршруті, середній час поїздки на маршруті, (дод. В, таблиці В.2, рис. В.2). Фактичні значення кількості поставок у кожній зоні були розраховані за результатами обробки даних з автоматизованого моніторингу транспорту. Усього оброблено 27 384 значень.

Модель кількості поставок, що відправляються із зони, виглядає так:

$$ND_i = 1,038 \frac{Q_i}{n_i} - 7,058t_i + 0,333A_i. \quad (3.4)$$

Коефіцієнт детермінації ( $R^2$ ) становить 99,1. Стандартна похибка оцінки становить 115,6. Середня абсолютна похибка (MAE) становить 76.

### 3.4 Перевірка моделей

Адекватність моделі розуміється як ступінь відповідності моделі реальному процесу, для опису якого вона вводиться. У нашому випадку ступінь відповідності рівняння регресії експериментальним даним отриманих із результатами статистично-описового аналізу. Після виконання зазначених етапів (специфікація та калібрування) проведено перевірку адекватності та надійності моделі загалом для всіх рівнянь регресії. Для цього було застосовано показник середньої похибки апроксимації. Оцінювання моделей на основі цієї характеристики дає змогу встановити найоптимальнішу форму співвідношення. Чим менше

значення середньої похибки апроксимації, тим ближче теоретичні значення знаходяться до емпіричних, і краща якість моделі.

Перевіримо наші моделі, замінивши початкові значення. Досліджуємо першу модель середньої кількості зупинок у заданій зоні за формулою 3.2:

$$n_{1003} = 0,219 \cdot 2,38 + 0,413 \cdot 10,577 - 0,245 \cdot 2,1 = 4,38 \text{ зупинок.}$$

Порівнюючи результати фактичні та обчислені, ми отримуємо середню помилку апроксимації за такою формулою:

$$A = \frac{1}{n} \cdot \sum \left| \frac{y_{obsi} - y_{predi}}{y_{obsi}} \right| \cdot 100\%, \quad (3.5)$$

де  $n$  – кількість спостережень;

$y_{obsi}$  – фактичне значення даних у зоні  $i$ ;

$y_{predi}$  – передбачуване значення даних у зоні  $i$ .

$$A = \frac{1}{42} \cdot \left| \frac{4,626 - 4,375}{4,626} \right| + \dots + \left| \frac{2,57 - 2,151}{2,57} \right| \cdot 100\% = 11,8\% .$$

Значення помилки становить 11,8 %. Середня похибка апроксимації до 15 % вказує на добре обрану модель рівняння. На рисунку 3.32 показано порівняння отриманих даних для моделі кількості зупинок.

Наступним кроком є оцінювання другої моделі кількості поставок в зоні за формулою 3.4:

$$ND_{1002} = 1,038 \cdot 400,72 - 7,058 \cdot 8,1 + 0,333 \cdot 5482 = 542 \text{ маршрути}$$

Порівнюючи результати опитування та обчислені, ми отримуємо середню помилку апроксимації (3.5):

$$A = \frac{1}{42} \cdot \left| \frac{439 - 542}{439} \right| + \dots + \left| \frac{235 - 319}{235} \right| \cdot 100\% = 34,2\% .$$

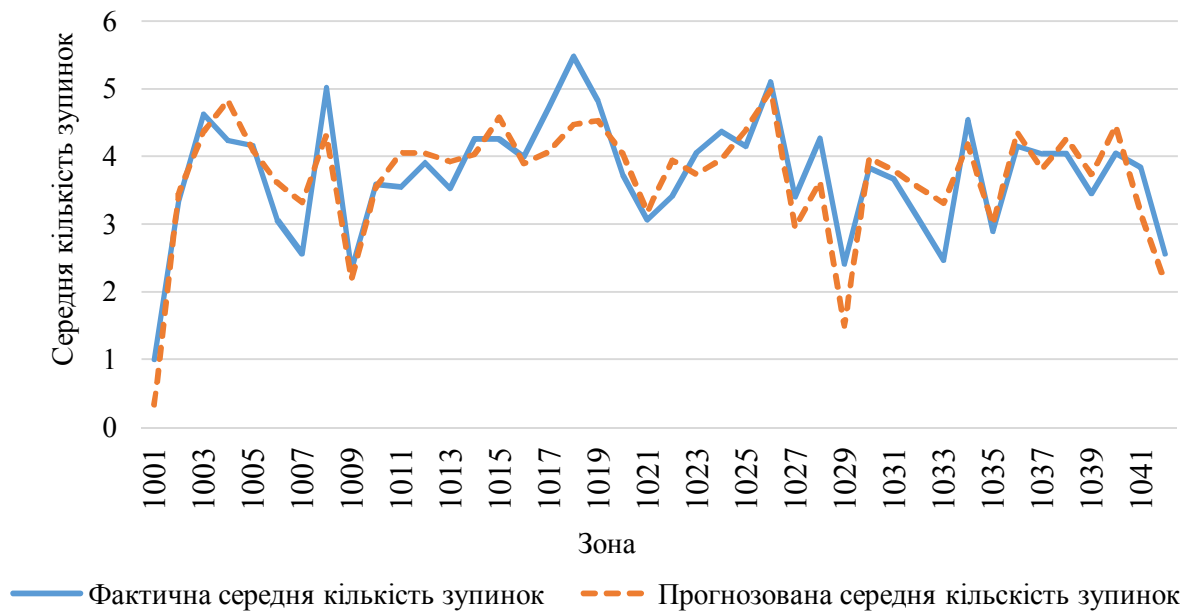


Рисунок 3.32 – Порівняння фактичних значень та прогнозованих для моделі кількості зупинок

Ця помилка становить понад 15 % і означає, що модель є недостатньо надійною, і ми можемо зробити висновок, що вона потребує вдосконалення. На рисунку 3.33 показано порівняння отриманих даних для другої моделі.



Рисунок 3.33 – Порівняння фактичних значень та прогнозованих моделі кількості поставок

### 3.5 Рекомендації щодо застосування результатів моделювання

За результатами проведеного дослідження можливим є запропонувати рекомендації щодо впровадження деяких заходів з міської логістики. Оскільки ми говоримо про поліпшення стану функціонування міського вантажного транспорту, більшість заходів передбачають обмеження в центральних частинах міста.

Основні цілі введення заходів:

- розвантажити міську вуличну мережу завдяки скороченню в'їзду в місто вантажних автомобілів;
- підвищити ефективність використання транспортних засобів і продуктивність роботи автомобільного транспорту;
- поліпшити екологічну ситуацію в місті завдяки зменшенню загальної кількості шкідливих викидів в атмосферу.

Майже кожна зона регіону дослідження вимагає особливої уваги до себе, оскільки існують загальні проблеми для всієї області. Отримані дані хоча й містять велику кількість інформації про маршрути, але не вміщують у собі всі вантажні перевезення у місті (тільки транспортні засоби 1 класу за невеликий період), тому можна визначити теоретично слабкі місця зон регіону. Зрозуміло, для прийняття окремих заходів необхідно обстежити кожен вид вантажних перевезень і відповідно до цього приймати рішення про впровадження. Розглянемо докладніше можливі приклади тактичних та оперативних логістичних заходів для провінцій Венето (табл. 3.6).

Неможливо створити ідеальну систему перевезення вантажів, особливо в місті, використовуючи тільки один вид заходу. Ефективним способом є комбінування декількох логістичних заходів, які будуть задовільняти всіх учасників транспортного процесу й мати позитивні результати.

Таблиця 3.6 – Характеристика пропонованих заходів міської логістики для регіону Венето (Італія)

Пропонований захід з міської логістики	Зона застосування	Характеристика	Недоліки
Часові вікна	Беллуно, Падуя, Ровіго, Тревізо, Венеція, Верона, Віченца	Обмеження часового періоду доставки вантажу у зв'язку з великою кількістю маршрутів протягом усього дня, що завантажує центральну транспортну мережу району	Висока оплата праці та шум (у нічний період доставки вантажу); проблеми з вибором часу вікон через різний графік роботи підприємств; порушення часових вікон через затори на дорогах, відповідно збільшення часу на маршрутах; побудова нових маршрутів
Обмеження доступу, платні зони	Венеція, Віченца, Падуя, Тревізо, Верона	Зменшення кількості вантажних транспортних засобів у центральній частині	Більшість закладів харчування й відпочинку розташовуються у центрі, тож неможливо повністю заборонити в'їзд, необхідно комбінувати використання кількох заходів. Пошук додаткових коштів на використання платних зон
Зона навантаження/розвантаження	Венеція, Віченца, Падуя, Тревізо	Оптимізація процесу навантаження/розвантаження у зв'язку з великою кількістю зупинок на маршрутах	Великі витрати на створення зон навантаження й розвантаження, має сенс тільки при активному вантажообігу
Обмеження за типом транспортного засобу	Центральні частини міста всіх провінцій, особливо Венеція, Віченца, Падуя, Тревізо	Зменшення кількості транспортних засобів, що використовують неекологічні види палива	У регіоні не виявлено використання електричних транспортних засобів, відповідно різкий перехід на такий вид транспорту спричиняє великі збитки для транспортних компаній
Обмеження маршруту, обмеження зони доставки	Венеція, Віченца, Падуя, Тревізо (зони 1017, 1012, 1008, 1026, 1018, 1034)	Обмеження маршрутів та зони доставки вантажів через тривалість маршруту більше 10 годин	Побудова нових маршрутів руху, що супроводжується зміною графіків роботи водіїв



### 3.7 Висновки за розділом

Проаналізовано область досліджень – регіон Венето (Італія), проведено аналіз соціально-економічних даних, таких як кількість населення, кількість робітників та кількість видів діяльності в регіоні, визначено їхню залежність. Також проаналізовані дані автоматичного моніторингу транспорту – виділено основні характеристики транспортного процесу: кількість маршрутів руху, обсяг вантажу, час руху на маршруті, кількість зупинок, тип маршруту, вантажопідйомність транспортного засобу тощо. За допомогою програми QGIS аналізовані дані проілюстровані на рисунках.

Побудовано модель зміни середньої кількості зупинок на маршруті та модель зміни кількості маршрутів доставки за допомогою регресійного аналізу, використовуючи програмне забезпечення STATGRAPHICS Centurion 18. Проведено оцінювання моделей. Надано рекомендації щодо впровадження міських логістичних заходів у провінціях регіону Італії.

Отриманий результат дослідження буде корисним для осіб, які приймають рішення для того, щоб використовувати дані для покращення міського середовища, контролювати вплив вантажоперевезень, визначати типи заходів, доцільних для досягнення цілей сталого розвитку відповідно до основних характеристик міста.

## РОЗДІЛ 4

### ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ЗАСТОСУВАННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

#### 4.1 Аналіз поточного стану збору даних в Україні

Ринок транспортних та логістичних послуг є важливим складником економіки України. Це пов'язано з тим, що логістика є ключем доставки продукції від виробника до споживача й без функціонування логістичних структур торгівля стає майже неможливою. Чим більше розвиваються галузі, які користуються логістичними послугами, тим динамічніше розвивається перевезення вантажів. Адже транспорт є природною ланкою між виробниками, експортерами, імпортерами, торгівлею та іншими важливими галузями економіки. Але для нормального функціонування транспортної системи та для уникнення проблем з неефективним використанням транспорту необхідно проводити опитування, збирати дані та прогнозувати параметри моделей, щоб поліпшити процес доставки вантажів як по Україні, так і безпосередньо у місті Харків. Наприклад, якщо ми говоримо про збір статистичної інформації за регіонами чи містами, Україна не має достатнього рівня збору даних. Єдиної системи з відкритими комплексними даними про соціально-економічні параметри населення країни не існує. На веб-сайті Державної служби статистики України ([ukrstat.gov.ua](http://ukrstat.gov.ua), [kh.ukrstat.gov.ua](http://kh.ukrstat.gov.ua)) інформацію можна знайти, але не в повному обсязі та не настільки детально, порівняно з італійською базою статистики, яка має відкритий доступ для перегляду даних не тільки економіки країни загалом, але й окремих галузей, з величезною кількістю необхідної інформації, яка може бути корисною для моделювання транспортного процесу. Система зберігання даних у деяких державних структурах України складається із закритої інформаційної системи. Важливо правильно організувати процес збору, передачі та аналізу даних між державними органами. Відомо, що різні статистичні показники можуть по-різному впливати на один і той самий фактор.

З іншого боку, застосування супутникових навігаційних та комунікаційних технологій у транспортній галузі набуває особливого значення. Широке використання супутникової навігації та мобільних телекомунікацій на автомобільному транспорті відкриває унікальні можливості для повної комп'ютеризації управління всіма рівнями транспорту, що принципово змінює якість управління та підвищує безпеку експлуатації транспортного комплексу. За останнє десятиліття величезний

потенціал GPS став доступний для використання, призначений для навігації та визначення координат різних об'єктів, для наукових та прикладних досліджень. Основними факторами швидкого розвитку GPS є його незалежність від стану погоди, швидкість, висока точність, невеликі габарити приймаючого обладнання, простота експлуатації та порівняно низька вартість.

Терміном, що часто використовується для описання застосування інформаційно-комунікаційних технологій, є телематика. Телематика являє собою технічне рішення пов'язане з розвитком засобів навігації, зв'язку, планування трафіку й географічного (картографічної) інформаційного забезпечення транспортних завдань із використанням ГІС – географічних інформаційних систем. Телематика означає більше можливостей для розвитку логістики як бізнесу. Ще 10 років тому багато компаній-інтеграторів працювали з найпростішими трекерами, розробленими на основі GSM-терміналів і навіть мобільних телефонів, і єдиним по суті важливим переданням даних були супутникові GPS-координати. Але для появи на ринку цього було достатньо. Наступним кроком у розвитку транспортної телеметрії стала можливість відстежувати витрату палива, а потім і поведінку водіїв. Відповідно до Національної транспортної стратегії України на період до 2030 р. у країні передбачено використання високотехнологічних та ергономічних транспортних засобів, супутникової навігації, інтелектуальних транспортних систем, інформаційних технологій, електронного документообігу як у пасажирському, так і вантажному транспорті. У результаті аналізу ринку підприємств, що забезпечують встановлення телематики у вантажних транспортних засобах, було виявлено, що передбачена система є не звичайним трекером, а повноцінною системою моніторингу та ведення статистики.

В Україні близько 14 000 компаній, які надають послуги з монтажу понад 100 видів датчиків, технічного обслуговування та підтримки систем моніторингу вантажного транспорту. Середня вартість датчика становить 2000 грн, а подальше обслуговування транспортної компанії коштує близько 200 грн на місяць. Логістичні компанії та місцеві служби доставки можуть використовувати цю систему для планування, оптимізації, відстеження руху своїх транспортних засобів, створення накладних та призначення маршрутів водіям. Основними завданнями середніх та великих транспортних компаній є здебільшого управління транспортними засобами, зображеними на рисунку 4.1. Однією із головних причин для впровадження автоматизованого моніторингу транспорту є контроль

вантажу з метою уникнення крадіжок, тобто безпеки вантажу та мінімізації збитків компанії.

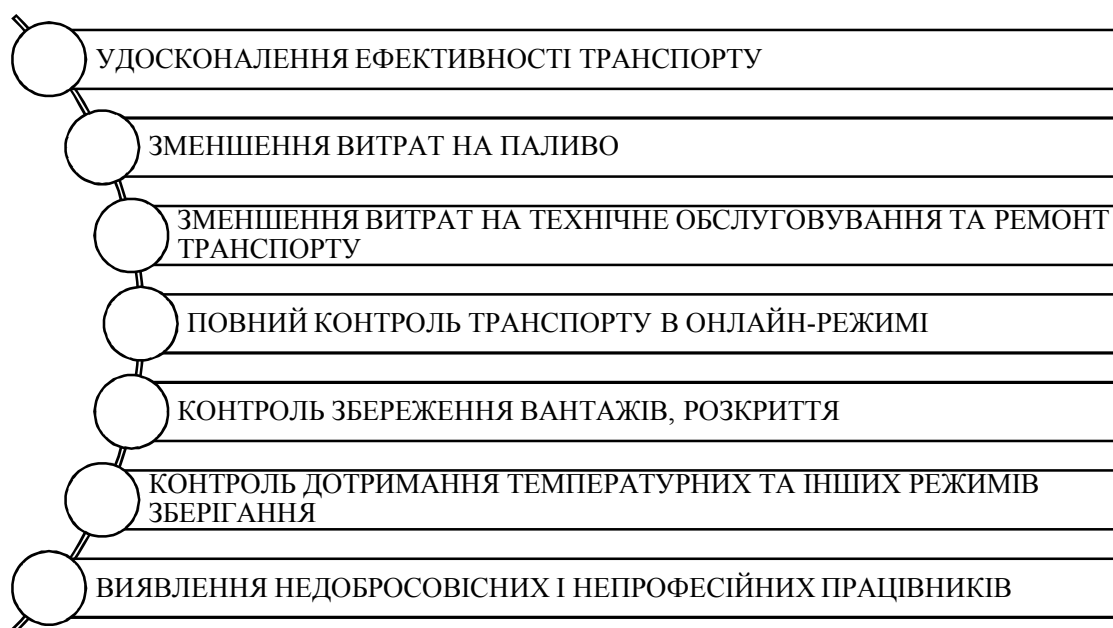


Рисунок 4.1 – Причини впровадження автоматизованого моніторингу вантажних перевезень по Україні

Зазвичай надається набір статистичних даних, що полегшує бухгалтерський облік та управлінський облік, але не аналітичні дані. Моніторинг використовується в приватних цілях у компаніях, але не на покращення вантажних перевезень загалом. Завдання моніторингу – це не просто контролювати процес, а будувати систему, щоб реагувати на транспортний процес і керувати ним.

#### 4.2 Дослідження потоку руху транспорту в центрі міста Харків

Дослідивши методи збору інформації в Україні, зокрема у місті Харкові, було встановлено, що наразі місцеві органи влади не мають ресурсів для використання автоматичних інструментів збору даних для отримання детальніших та точніших даних про міський вантажний транспорт. Під час реалізації проєкту ми стикалися з тим, що неможливо застосувати методи збору даних автоматичного моніторингу транспорту, а також отримати детальну інформацію соціально-економічних статистичних даних, таких як в Італії. Здебільшого це пов'язано з тим, що державні статистичні інструменти не надають повного спектру даних, тоді як комерційні підприємства для своїх цілей проводять повне обстеження на всіх рівнях лише для приватного використання. У зв'язку з цим єдине, що залишилося – це використовувати натурні методи збору даних. Цей тип

методу нараховує декілька недоліків, рисунок 4.2. Але, незважаючи на всі перелічені вище недоліки, все-таки можна провести дослідження для виявлення проблем у функціонуванні транспортної системи міста.

Далі розглянуто дослідження, яке було проведено в центральній частині міста Харкова для аналізу ринку вантажних перевезень. Для обстеження було обрано зону з п'яти перехресть у центрі міста (рис. 4.3).

- Залучення великої кількості тестувальників для обстежень
- Неточні дані через необережність тестувальників
- Висока складність процесу
- Залежність процедури обстеження від погодних та кліматичних умов
- Висока ймовірність отримання великих помилок при опитуванні

Рисунок 4.2 – Недоліки використання натурального методу в транспортних дослідженнях

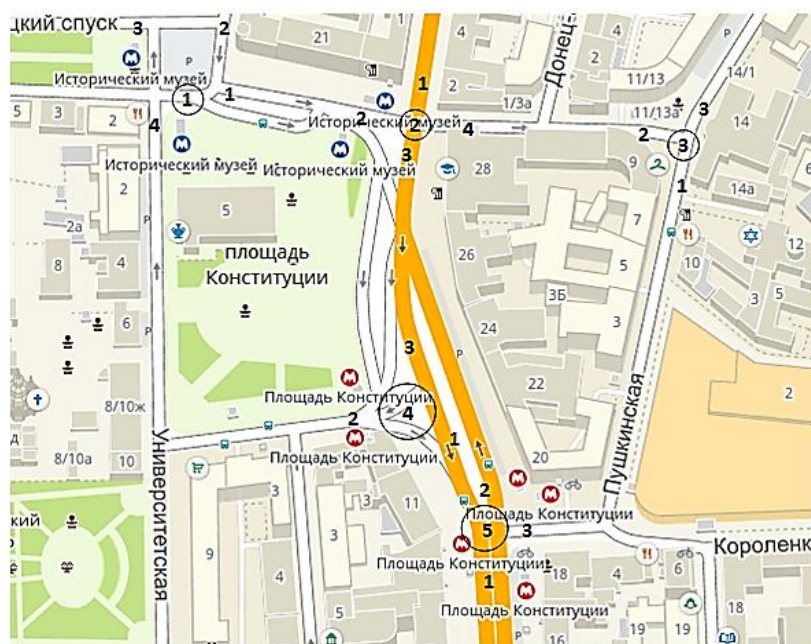


Рисунок 4.3 – Зона дослідження в центрі м. Харків

Першим кроком проаналізовано сектори ринку вантажного транспорту, визначенні великі та незалежні роздрібні торговці, об'єкти готельно-ресторанного господарства, кур'єрської та поштової служби, щоб зрозуміти мету руху та можливі напрямки руху транспортних засобів. Загальна кількість пунктів роздрібної торгівлі – 56. Їх розташування показано на рисунку 4.4.

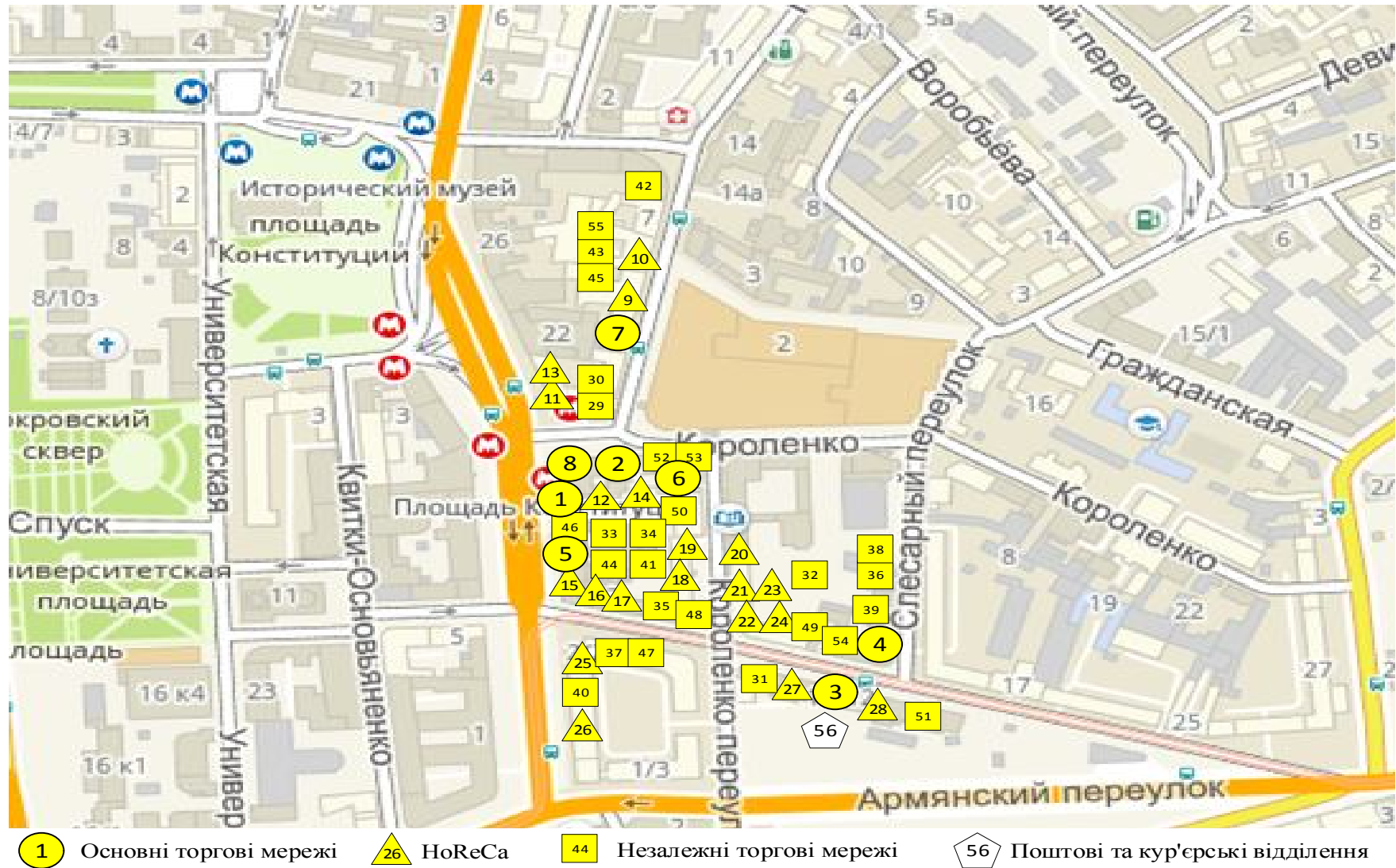


Рисунок 4.4 – Карта існуючих великих та незалежних торгових мереж

Далі проводилися вимірювання складу транспортного потоку вранці з 9:00 до 10:00 (рис. 4.5), та ввечері з 18:00 до 19:00 (рис. 4.6). Отримані підрахунки складу та кількості транспортного потоку представлені в додатку Г, таблиці Г.1–10. У процесі аналізу було встановлено, що обсяг вантажних перевезень становить 4,5 % від загального потоку. Вхідні потоки в транспортну зону зображені на рисунку 4.7.

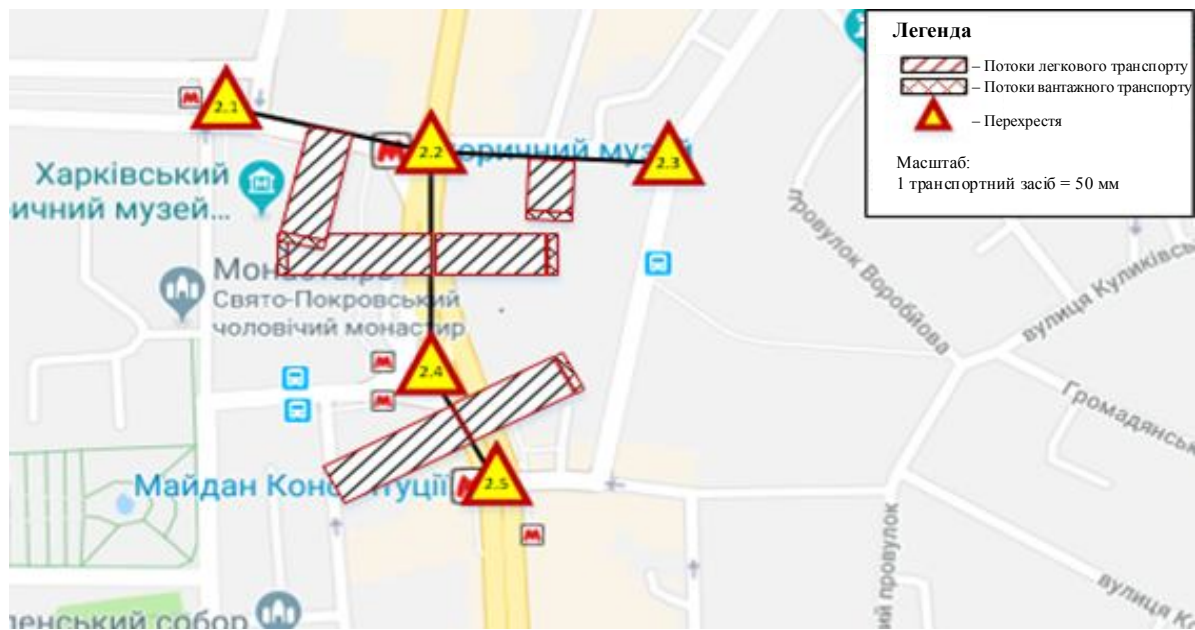


Рисунок 4.5 – Карта потоків руху (9:00 – 10:00)

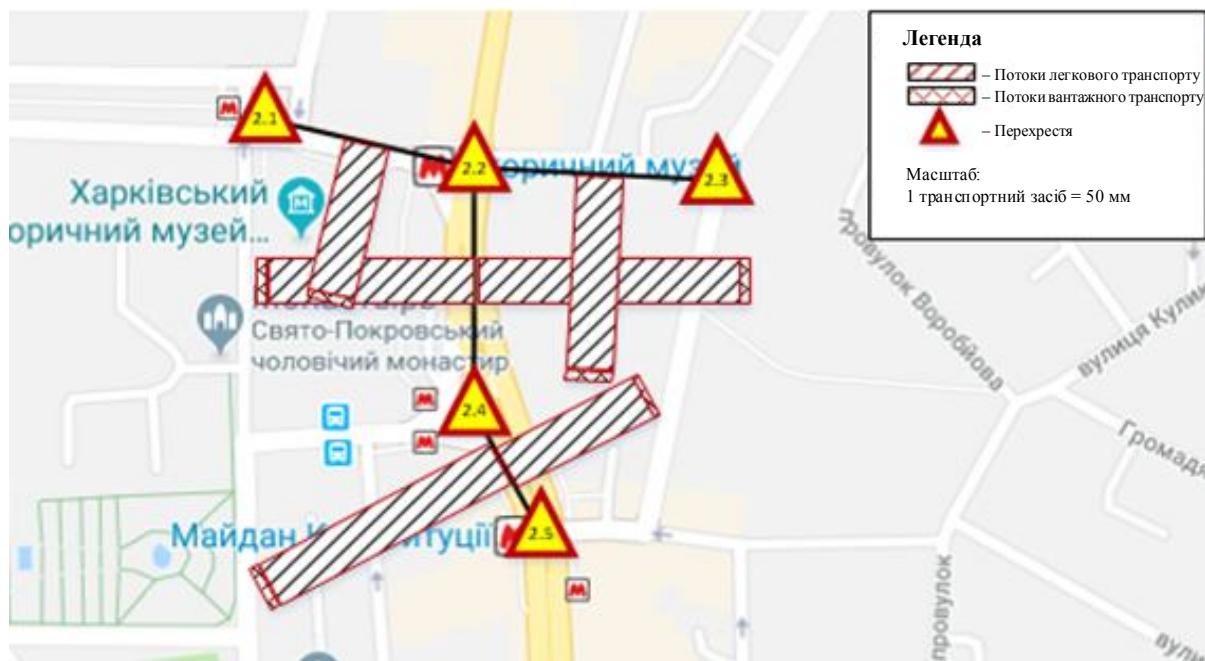


Рисунок 4.6 – Карта потоків руху (18:00 – 19:00)

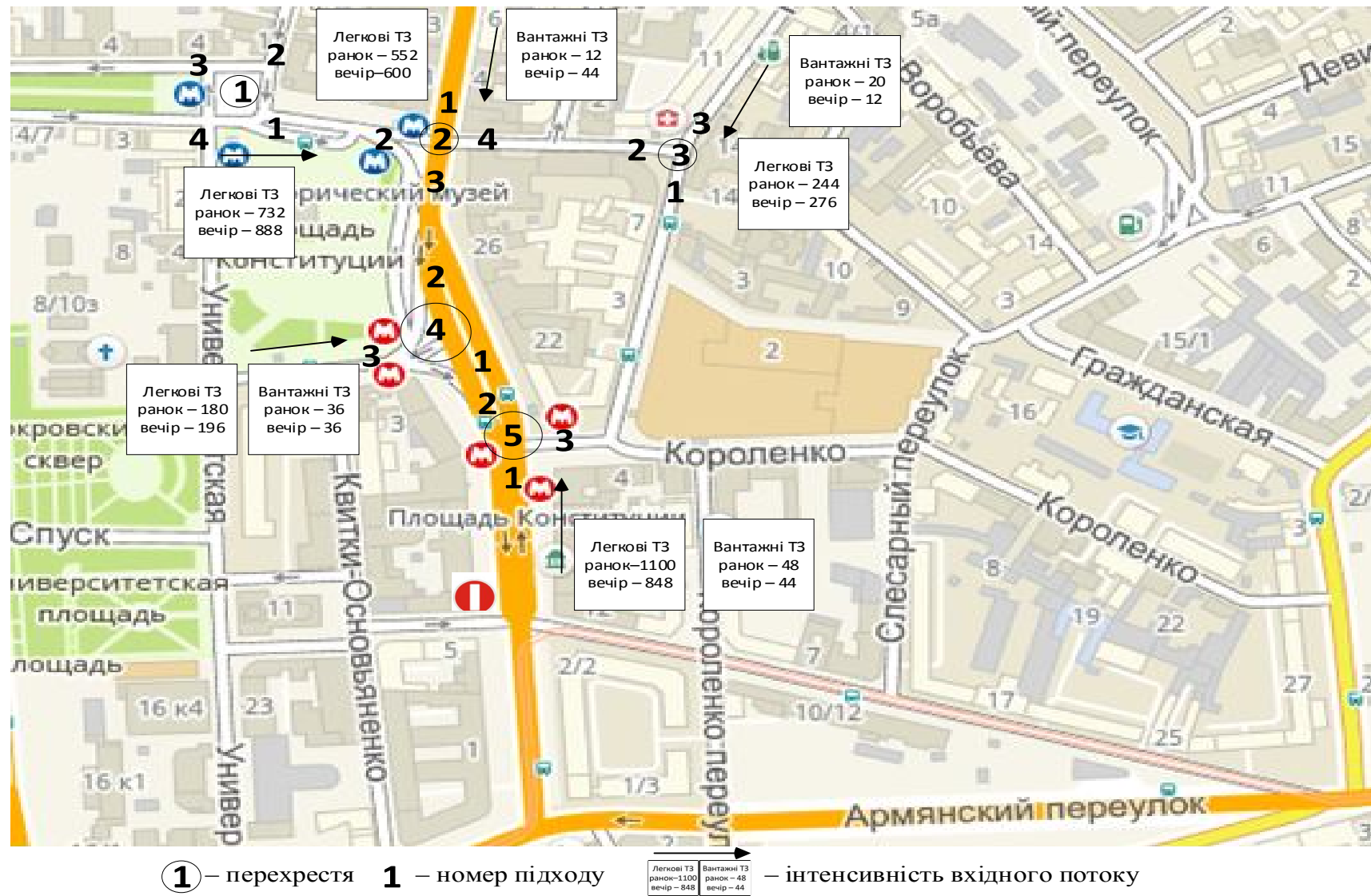


Рисунок 4.7 – Карта вхідних потоків до транспортної зони



Так було отримано інформацію про те, що вантажні транспортні засоби переважно рухаються в міській частині міста вранці через потребу доставки продукції до ринків та магазинів. У районі є багато великих магазинів одягу та головний ринок центру міста, що пояснює велику кількість транспортних засобів великої вантажопідйомності. Як ми бачимо, порівнюючи три карти (карта існуючих великих та незалежних роздрібних торговців, карта потоків руху вранці та ввечері) вантажні транспортні засоби рівномірно розташовані на ділянці між перехрестями, але основні та незалежні роздрібні торговці зосереджувались на ділянці 2.4–2.5, тому можна сказати, що кількість вантажівок пов'язана з кількістю клієнтів, яких вони обслуговують. Порівнюючи дві карти руху в ранковий та вечірній період, кількість вантажних транспортних засобів майже не змінюється, проте кількість інших транспортних засобів зростає. Перехрестя 2, 4, 5 є завантаженими вантажним транспортом.

#### 4.3 Проблеми функціонування міського вантажного транспорту у Харкові

На наступному етапі розглянемо проблеми функціонування міського вантажного транспорту у Харкові. Нижче наведено деякі з тих, що знайдені безпосередньо в центрі міста.

*Проблема 1.* Розвантаження товарів в невідповідному місці. Три випадки порушень було виявлено у центрі міста.

Випадок 1. Розвантаження товарів, що перешкоджає шлях людям у пішохідній зоні (рис. 4.8).



Рисунок 4.8 – Розвантаження товарів, що перешкоджає шлях людям у пішохідній зоні на вул. Майдан Конституції, 13

Транспортний засіб доставляє товар до кафе, це призводить до заїзду на тротуар і блокує пішохідний рух. У цьому разі подібної ситуації не уникнути, оскільки для цього підприємства немає спеціального місця для розвантаження товарів.

Випадок 2. Розвантаження, що затримує посадку пасажирів на маршрутні транспортні засоби (рис. 4.9). Транспортний засіб розвантажує товари безпосередньо на проїжджій частині, що призводить до перекриття проїзду інших транспортних засобів та, зокрема, громадського транспорту. Зупинка з порушенням правил дорожнього руху створює незручності для інших учасників дорожнього руху.



Рисунок 4.9 – Розвантаження, що затримує посадку пасажирів на маршрутні транспортні засоби на вул. Майдан Конституції, 13

Випадок 3. Розвантаження товарів блокує виїзд автомобілів із зони паркування (рис. 4.10). Вантажний транспорт розвантажує товари в зоні громадського паркування, що блокує виїзд для інших транспортних засобів, які використовують цю парковку. Можливо, цієї проблеми можна було б уникнути, вибравши інше місце для паркування.

*Проблема 2.* Відсутність власної службової стоянки для підприємства.

Випадок 1. Велика концентрація вантажівок одного підприємства на громадській парковці (рис. 4.11). Компанія використовує громадську парковку для службового транспорту, який займає всі місця для паркування, а інші не мають паркувальних зон. Компанія повинна мати службову автостоянку, розташовану на території цієї компанії, щоб не заважати іншим учасникам дорожнього руху.



Рисунок 4.10 – Розвантаження, що блокує виїзд автомобілям з зони паркування на вул. Майдан Конституції, 18



Рисунок 4.11 – Велика концентрація вантажівок одного підприємства на громадській парковці на вул. Майдан Конституції, 22

### *Проблема 3. Викиди парникових газів.*

Випадок 1. Застарілі транспортні засоби забруднюють навколишнє середовище (рис. 4.12).



Рисунок 4.12 – Застарілі транспортні засоби, що забруднюють навколишнє середовище на вул. Майдан Конституції, 20

Це одна з найчисельніших проблем м. Харкова, оскільки більшість транспортних засобів, вантажного та громадського транспорту застаріли. Парникові гази – це гази з високою прозорістю у видимому діапазоні та з високим поглинанням у далекому інфрачервоному діапазоні. Наявність таких газів в атмосферах планет призводить до появи парникового ефекту, інакше кажучи – підвищення температури в нижньому шарі атмосфери планети. Найвідоміші парникові гази, вуглекислий газ (CO<sub>2</sub>), метан та оксид азоту. Місцевій владі, транспортним компаніям потрібно більше турбуватися про стан навколишнього середовища та здоров'я людей, оновлюючи транспортні засоби або використовуючи альтернативи чистішими видами палива, оскільки оновлення потребує більше капітальних вкладень, яких зазвичай не мають компанії.

#### **4.4 Висновки за розділом**

Запропоновані практичні рекомендації щодо застосування результатів. Проаналізовано фактичний стан збору даних державних статистичних служб України. Також було розглянуто можливість використання даних автоматизованого моніторингу для проведення

досліджень функціонування вантажного транспорту у містах України. Загалом, можна сказати, що в Україні автоматизований збір даних лише розвивається, підприємства використовують моніторинг переважно лише для контролю транспортного процесу, безпеки вантажу та попередження від нечесних працівників.

Проведено натурне обстеження у центрі м. Харків. У зоні дослідження визначено кількість великих та незалежних мереж роздрібної торгівлі, склад транспортного потоку в ранковій та вечірній час пік. Зроблено висновки щодо завантаженості центральних доріг міста. Було також висвітлено основні проблеми, які існують у центральній частині міста – розвантаження у неправильному місці, відсутність паркувальних служб для підприємств та використання застарілих транспортних засобів, що спричиняють шкоду навколишньому середовищу.

## ВИСНОВКИ

Робота присвячена оцінюванню тактичних та оперативних заходів міської логістики, моделюванню потоків вантажних перевезень з метою прогнозування вантажопотоків у місті та зменшення негативного впливу міського вантажного транспорту.

У першому розділі були проаналізовані цілі та переваги плану стійкої міської логістики. Розглянуто існуючі проєкти, що підтримують покращення функціонування вантажних перевезень у місті – SULPiTER, Enclose, Novelog. Встановлено, що план стійкої міської логістики підтримується логістичними заходами на оперативно-тактичному рівні, тому були розглянуті деякі класифікації міських логістичних заходів на різних рівнях планування транспорту, які повинні відповідати цілям стійкої мобільності: економічна, соціальна, екологічна. Розглянуті основні методи попереднього та подальшого оцінювання заходів та рішень зацікавлених сторін, що беруть участь у процесі планування. Також розглянуті підходи до моделювання матриць кореспонденцій вантажного транспорту. Для побудови моделі потрібні якісно зібрані дані. Одним з найкращих методів збору даних є автоматизовані системи, зокрема автоматизований моніторинг транспорту.

Другий розділ присвячений методам дослідження потоків вантажних перевезень. Представлена методика розрахунку моделі маршрутів руху на рівні оперативного та тактичного планування. Також розглянуто процес оцінювання регресійних моделей: специфікація, калібрування, перевірка. Регресійний аналіз та його етапи розглядалися як один з основних інструментів оцінювання моделей.

У третьому розділі проведено дослідження процесу перевезення вантажів у регіоні Венето (Італія). Проведено зонування області дослідження. Проведено статистично-описовий аналіз соціально-економічних даних регіону та даних автоматизованого моніторингу транспорту. Виявлено вісім класів діяльності, які найбільше задіяні у транспортному процесі: роздрібна та оптова торгівля, житло, будівництво, виробництво, ресторанне та громадське господарство, транспортування та зберігання, транспортування відходів. Визначено, що у виробничій галузі задіяно найбільше робітників, а найбільша кількість видів діяльності – в оптовій торгівлі. За допомогою програми QGIS були створені карти з отриманими даними. Згідно з аналізом даних автоматизованого моніторингу транспорту (за 60 робочих днів з січня по червень 2018 року) встановлено клас транспортних засобів, марку, модель, рік, тип, вид

палива, вагу, час відправлення та прибуття маршрутів, координати (географічне положення: широта та довгота), миттєву швидкість, тип дороги (міська, позаміська, магістраль). Загалом було задіяно 1386 транспортних засобів, які за цей період виконали понад 27 000 маршрутів. Були оцінені показники роботи транспорту на маршрутах, такі як коефіцієнт використання вантажопідйомності (за видами транспорту, середній коефіцієнт використання вантажопідйомності – 0,72), тип використаного палива (бензин, дизель, газ), тип власності транспортного засобу (власний або сторонній), кількість маршрутів доставки, тип маршруту (маятниковий, кільцевий), розподіл маршрутів за часом відправлення (найбільша кількість маршрутів відправляється з 6:00 до 10:00 ранку), а також середня кількість зупинок на маршруті у кожній зоні. Побудовано модель зміни середньої кількості зупинок на маршруті та модель зміни кількості поставок за допомогою регресійного аналізу, використовуючи програмне забезпечення STATGRAPHICS Centurion 18. Надано характеристику запропонованих міських логістичних заходів для регіону Венето на основі отриманих результатів.

У четвертому розділі розглянуто застосування результатів у контексті України. Проаналізовано стан збору даних в Україні. На жаль, статистика не є настільки детальною та не є загальнодоступною для людей, як на прикладі в Італії. Також проаналізовані можливості використання автоматизованого моніторингу транспортних засобів в Україні. Сьогодні понад 14 000 підприємств беруть участь у встановленні існуючого обладнання для транспортних засобів. Але це використовується лише в приватних цілях для контролю безпеки та запобігання крадіжок. Також було проведено натурне обстеження у центрі м. Харкова з метою виявлення існуючих міських проблем вантажного транспорту. Вибрано зону з п'яти перехресть, на якій проводився натурний метод підрахунку транспортних засобів вранці та ввечері. Також було визначено кількість роздрібних мереж у вибраній області – 56. Розраховано кількість вхідних потоків до цієї зони та відсоток обсягу вантажних перевезень – 4,5 %. Проведено попереднє оцінювання існуючих проблем у досліджуваній області: розвантаження у неправильному місці, відсутність паркувальних служб для підприємств та використання застарілих транспортних засобів, що спричиняють шкоду навколишнього середовища.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ambrosino G. (2015). Guidelines developing and implementing a Sustainable Urban Logistics Plan. ENCLOSE, 56 p.
2. Aifandopoulou, G., & Xenou, E. (2019). Sustainable Urban Logistics Planning. NOVELOG.
3. Nuzzolo, A., & Comi, A. (2014). City Logistics Planning: Demand Modelling Requirements for Direct Effect Forecasting. *Procedia – Social And Behavioral Sciences*, 125, 239-250. doi: 10.1016/j.sbspro.2014.01.1470
4. Project – Enclose. (2020). Retrieved from <http://www.enclose.eu>
5. SULPiTER project. (2020). Retrieved from <https://www.interreg-central.eu>
6. NOVELOG | New Cooperative Business Models and Guidance for Sustainable City Logistics. (2020). Retrieved from <http://novelog.eu>
7. Ben Akiva, M., Meersman, H., & Van de Voorde, E. (2013). Freight Transport Modelling (pp. 433–449). Bingley, UK: Emerald.
8. Filippi, F., Nuzzolo, A., Comi, A., & Site, P. (2010). Ex-ante assessment of urban freight transport policies. *Procedia – Social And Behavioral Sciences*, 2(3), 6332-6342. doi: 10.1016/j.sbspro.2010.04.042
9. BESTUFS.NET. Good practice guide on urban freight. (2007). Retrieved from <http://www.bestufs.net>
10. Russo, F., & Comi, A. (2010). A classification of city logistics measures and connected impacts. *Procedia - Social And Behavioral Sciences*, 2(3), 6355-6365. doi: 10.1016/j.sbspro.2010.04.044
11. Russo, F., & Comi, A. (2012). City Characteristics and Urban Goods Movements: A Way to Environmental Transportation System in a Sustainable City. *Procedia – Social And Behavioral Sciences*, 39, 61–73. doi: 10.1016/j.sbspro.2012.03.091
12. Browne, M., Allen, J., Nemoto, T., Patier, D., & Visser, J. (2012). Reducing Social and Environmental Impacts of Urban Freight Transport: A Review of Some Major Cities. *Procedia - Social And Behavioral Sciences*, 39, 19–33.
13. Papoutsis, K., & Nathanail, E. (2016). Facilitating the Selection of City Logistics Measures through a Concrete Measures Package: A Generic Approach. *Transportation Research Procedia*, 12, 679-691. doi: 10.1016/j.trpro.2016.02.021
14. Quak, H. (2012). Improving Urban Freight Transport Sustainability by Carriers – Best Practices from The Netherlands and the EU Project CityLog. *Procedia – Social And Behavioral Sciences*, 39, 158-171. doi: 10.1016/j.sbspro.2012.03.098



15. Buldeo Rai, H., van Lier, T., Meers, D., & Macharis, C. (2017). Improving urban freight transport sustainability: Policy assessment framework and case study. *Research In Transportation Economics*, 64, 26–35. doi: 10.1016/j.retrec.2017.08.005
16. Tamagawa, D., Taniguchi, E., & Yamada, T. (2010). Evaluating city logistics measures using a multi-agent model. *Procedia - Social And Behavioral Sciences*, 2(3), 6002-6012. doi: 10.1016/j.sbspro.2010.04.014
17. Morfoulaki, M., Kotoula, K., Stathacopoulos, A., Mikiki, F., & Aifadopoulou, G. (2016). Evaluation of Specific Policy Measures to Promote Sustainable Urban Logistics in Small-medium Sized Cities: The Case of Serres, Greece. *Transportation Research Procedia*, 12, 667-678. doi: 10.1016/j.trpro.2016.02.020
18. A Practical Guide on Ex Ante Evaluation for Research Infrastructures. (2019). Facilitating macro-regional scope and link up to socio-economic actors of Research Infrastructure in the Danube Region. *Interreg Danube DTP*, 44.
19. Harker, P. (1985). The state of the art in the predictive analysis of freight transport systems. *Transport Reviews*, 5(2), 143–164. doi: 10.1080/01441648508716591
20. Regan, A., & Garrido, R. (2002). Modelling freight demand and shipper behavior: state of the art, future directions.
21. Winston, C. (1983). The demand for freight transportation: models and applications. *Transportation Research Part A: General*, 17(6), 419–427. doi: 10.1016/0191-2607(83)90162-0
22. Ogden, K. (1992). *Urban goods movement*. Aldershot, Hants, England: Ashgate.
23. Spielberg, F., & Smith, S. (1981). Service and supply trips at federal institutions in Washington, DC area, *Transportation Research Record* 834
24. Hunt, J., & Stefan, K. (2007). Tour-based microsimulation of urban commercial movements. *Transportation Research Part B: Methodological*, 41(9), 981-1013. doi: 10.1016/j.trb.2007.04.009
25. Q. Wang and J. Holguin-Veras. (2009). Tour-based entropy maximization formulations of urban freight demand, in: *Proceedings of the 88th Transportation Research Board Annual Meeting*, Washington DC
26. Russo, F., & Comi, A. (2010). A modelling system to simulate goods movements at an urban scale. *Transportation*, 37(6), 987-1009. doi: 10.1007/s11116-010-9276-y
27. Nuzzolo, A., Crisalli, U., & Comi, A. (2011). A Restocking Tour Model for the Estimation of O-D Freight Vehicle in Urban Areas. *Procedia* –

Social And Behavioral Sciences, 20, 140–149. doi: 10.1016/j.sbspro.2011.08.019

28. Nuzzolo, A., Crisalli, U., & Comi, A. (2012). A Delivery Approach Modeling for Urban Freight Restocking. *Journal Of Civil Engineering And Architecture*, 6(3). doi: 10.17265/1934-7359/2012.03.001

29. Russo, F., & Comi, A. (2011). A model system for the ex-ante assessment of city logistics measures. *Research In Transportation Economics*, 31(1), 81–87. doi: 10.1016/j.retrec.2010.11.011

30. Nuzzolo, A., Comi, A., Ibeas, A., & Moura, J. (2015). Urban freight transport and city logistics policies: Indications from Rome, Barcelona, and Santander. *International Journal Of Sustainable Transportation*, 10(6), 552–566. doi: 10.1080/15568318.2015.1014778

31. Nuzzolo, A., & Comi, A. (2014). Urban freight demand forecasting: A mixed quantity/delivery/vehicle-based model. *Transportation Research Part E: Logistics And Transportation Review*, 65, 84–98. doi: 10.1016/j.tre.2013.12.014

32. Toilier, F., Gardrat, M., Routhier, J., & Bonnafous, A. (2018). Freight transport modelling in urban areas: The French case of the FRETURB model. *Case Studies On Transport Policy*, 6(4), 753–764. doi: 10.1016/j.cstp.2018.09.009

33. Ruan, M., Lin, J., & Kawamura, K. (2012). Modeling urban commercial vehicle daily tour chaining. *Transportation Research Part E: Logistics And Transportation Review*, 48(6), 1169–1184. doi: 10.1016/j.tre.2012.06.003

34. Yokota, T., & Tamagawa, D. (2012). Route Identification of Freight Vehicle's Tour Using GPS Probe Data and its Application to Evaluation of on and off Ramp Usage of Expressways. *Procedia – Social And Behavioral Sciences*, 39, 255–266. doi: 10.1016/j.sbspro.2012.03.10643

35. Hunt, J., & Stefan, K. (2007). Tour-based microsimulation of urban commercial movements. *Transportation Research Part B: Methodological*, 41(9), 981–1013. doi: 10.1016/j.trb.2007.04.009

36. Patire, A., Wright, M., Prodhomme, B., & Bayen, A. (2015). How much GPS data do we need? *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 58, 325–342. doi: 10.1016/j.trc.2015.02.011

37. Laranjeiro, P., Merchán, D., Godoy, L., Giannotti, M., Yoshizaki, H., Winkenbach, M., & Cunha, C. (2019). Using GPS data to explore speed patterns and temporal fluctuations in urban logistics: The case of São Paulo, Brazil. *Journal Of Transport Geography*, 76, 114–129. doi: 10.1016/j.jtrangeo.2019.03.003

38. Romano Alho, A., Sakai, T., Chua, M., Jeong, K., Jing, P., & Ben-Akiva, M. (2019). Exploring Algorithms for Revealing Freight Vehicle Tours, Tour-Types, and Tour-Chain-Types from GPS Vehicle Traces and Stop Activity Data. *Journal Of Big Data Analytics In Transportation*, 1(2-3), 175–190. doi: 10.1007/s42421-019-00011-x
39. Pluvinet, P., Gonzalez-Feliu, J., & Ambrosini, C. (2012). GPS Data Analysis for Understanding Urban Goods Movement. *Procedia – Social And Behavioral Sciences*, 39, 450–462. doi: 10.1016/j.sbspro.2012.03.121
40. Hess, S., Quddus, M., Rieser-Schüssler, N., & Daly, A. (2015). Developing advanced route choice models for heavy goods vehicles using GPS data. *Transportation Research Part E: Logistics And Transportation Review*, 77, 29–44. doi: 10.1016/j.tre.2015.01.010
41. Hughes, S., Moreno, S., Yushimito, W., & Huerta-Cánepa, G. (2019). Evaluation of machine learning methodologies to predict stop delivery times from GPS data. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 109, 289–304. doi: 10.1016/j.trc.2019.10.018
42. Ambrosini, C., Patier, D., & Routhier, J. (2010). Urban freight establishment and tour based surveys for policy oriented modelling. *Procedia – Social And Behavioral Sciences*, 2(3), 6013–6026. doi: 10.1016/j.sbspro.2010.04.015
43. Cascetta, E. (2001). *Transportation Systems Engineering: Theory and Methods*, Kluwer Academic Press
44. Chattefuee, S., & Had, A. (2006). *Regression Analysis by Example* (pp. 7–17).
45. Frost, J. (2018). *Model Specification: Choosing the Correct Regression Model – Statistics By Jim*. Retrieved from <https://statisticsbyjim.com/regression/model-specification-variable-selection/>
46. *Transportation planning handbook*. (1992). *Choice Reviews Online*, 30(04), 116. doi: 10.5860/choice.30-2108
47. Maricopa Association of Government, Federal Highway Administration. (2018). *Next Generation Freight Demand Model. Mega-Regional Multi-Modal Agent-Based Behavioral Freight Model. Final Report*, (pp. 80, 201–210.).
48. Comi, A., & Rosati, L. (2013). CLASS: A City Logistics Analysis and Simulation Support System. *Procedia – Social And Behavioral Sciences*, 87, 321–337. doi: 10.1016/j.sbspro.2013.10.613
49. Adra, N., Michaux, J., & Andre, M. (2004). Analysis of the load factor and the empty running rate for road transport. *Artemis – assessment and reliability of transport emission models and inventory systems*, 31.

## ДОДАТОК А

### Класифікація видів діяльності за кодом АТЕСО

Таблиця А.1 – Опис видів діяльності згідно з кодом АТЕСО

АТЕСО код	Опис	Макрокласи
1	2	3
101	Переробка та консервування м'яса та виробництво м'ясних продуктів	Виробництво
102	Переробка та консервація риби, ракоподібних та молюсків	Виробництво
103	Переробка та консервування фруктів та овочів	Виробництво
104	Виробництво рослинних та тваринних олій та жирів	Виробництво
105	Виробництво молочної продукції	Виробництво
106	Виробництво продуктів зернових млин, крохмалю та крохмалепродуктів	Виробництво
107	Виробництво хлібобулочних та мучних виробів	Виробництво
108	Виробництво інших харчових продуктів	Виробництво
109	Виробництво готових кормів для тварин	Виробництво
110	Виробництво напоїв	Виробництво
120	Виробництво тютюнових виробів	Виробництво
131	Підготовка та прядіння текстильних волокон	Виробництво
141	Виробництво одягу, крім хутряного одягу	Виробництво
142	Виробництво виробів із хутра	Виробництво
143	Виробництво трикотажного та в'язаного одягу	Виробництво
151	Засмажка та одяг шкіри; виготовлення багажу, сумок, сідла та джгутів; одягання та фарбування хутра	Виробництво
152	Виробництво взуття	Виробництво
161	Розпилювання та стругання деревини	Виробництво
162	Виробництво виробів з дерева, пробки, соломи та матеріалів для плетіння	Виробництво
171	Виробництво целюлози, паперу та картону	Виробництво
172	Виробництво виробів з паперу та картону	Виробництво
191	Виробництво виробів із коксової печі	Виробництво
192	Виробництво рафінованих нафтопродуктів	Виробництво
201	Виробництво основних хімікатів, добрив та азотних сполук, пластмас та синтетичного каучуку в первинних формах	Виробництво
202	Виробництво пестицидів та іншої агрохімічної продукції	Виробництво
203	Виробництво фарб, лаків та подібних покриттів, друкарських фарб та мастик	Виробництво
204	Виробництво мила та миючих засобів, засобів для чищення та полірування, парфумерії та туалетних препаратів	Виробництво

Продовження таблиці А.1

1	2	3
205	Виробництво інших хімічних продуктів	Виробництво
206	Виробництво штучних волокон	Виробництво
211	Виробництво основних фармацевтичних препаратів	Виробництво
221	Виробництво гумових виробів	Виробництво
222	Виробництво пластмасових виробів	Виробництво
231	Виробництво скла та виробів зі скла	Виробництво
232	Виробництво вогнетривких виробів	Виробництво
233	Виробництво глиняних будівельних матеріалів	Виробництво
234	Виробництво інших порцелянових та керамічних виробів	Виробництво
235	Виробництво цементу, вапна та штукатурки	Виробництво
236	Виробництво виробів з бетону, цементу та гіпсу	Виробництво
239	Виробництво абразивних виробів та неметалічних мінеральних виробів	Виробництво
241	Виробництво основного заліза та сталі та феросплавів	Виробництво
242	Виробництво труб, порожнистих профілів та відповідної арматури із сталі	Виробництво
243	Виробництво інших виробів першої обробки сталі	Виробництво
244	Виробництво основних дорогоцінних та інших кольорових металів	Виробництво
251	Виробництво конструкційних металевих виробів	Виробництво
252	Виробництво цистерн, резервуарів і контейнерів з металу	Виробництво
253	Виробництво парогенераторів	Виробництво
254	Виробництво зброї та боєприпасів	Виробництво
257	Виробництво столових приборів, інструментів та загального обладнання	Виробництво
259	Виробництво інших металевих виробів	Виробництво
261	Виробництво електронних компонентів та плат	Виробництво
262	Виробництво комп'ютерів та периферійного обладнання	Виробництво
263	Виробництво засобів зв'язку	Виробництво
264	Виробництво побутової електроніки	Виробництво
265	Виробництво приладів та приладів для вимірювання, випробувань та навігації; часів та годинників	Виробництво
266	Виробництво опромінювального, електромедичного та електротерапевтичного обладнання	Виробництво
267	Виробництво оптичних приладів та фототехніки	Виробництво
268	Виробництво магнітних та оптичних середовищ	Виробництво
271	Виробництво електродвигунів, генераторів, трансформаторів та апаратів розподілу та управління електрикою	Виробництво
281	Виробництво машин загального призначення	Виробництво
282	Виробництво інших машин загального призначення	Виробництво
283	Виробництво сільськогосподарської та лісової техніки	Виробництво
284	Виробництво металообробних верстатів та верстатів	Виробництво
289	Виробництво інших машин спеціального призначення	Виробництво
291	Виробництво автомобілів	Виробництво

Продовження таблиці А.1

1	2	3
292	Виробництво кузовів для автомобільних транспортних засобів; виробництво причепів і напівпричепів	Виробництво
293	Виробництво деталей та аксесуарів для автомобілів	Виробництво
301	Будівництво кораблів і катерів	Виробництво
302	Виробництво залізничних локомотивів і рухомого складу	Виробництво
303	Виробництво повітряних та космічних кораблів та машин	Виробництво
304	Виробництво бойових машин	Виробництво
309	Виробництво транспортного обладнання	Виробництво
310	Виробництво меблів	Виробництво
321	Виробництво ювелірних виробів, біжутерії	Виробництво
322	Виробництво музичних інструментів	Виробництво
323	Виробництво спортивних товарів	Виробництво
324	Виробництво ігор та іграшок	Виробництво
325	Виробництво медичних та стоматологічних інструментів	Виробництво
329	Виробництво абразивних виробів та неметалевих мінеральних виробів	Виробництво
381	Збір відходів	Транспортування відходів
383	Відновлення матеріалів	Транспортування відходів
412	Будівництво житлових та нежитлових будинків	Будівництво
421	Будівництво доріг і залізниць	Будівництво
422	Будівництво комунальних проєктів	Будівництво
429	Будівництво інших будівельних проєктів	Будівництво
551	Готелі та подібне житло	Житло
494	Вантажні перевезення автомобільним транспортом та послуги з перевезення	Транспортування та зберігання
521	Складування та зберігання	Транспортування та зберігання
531	Діяльність поштового зв'язку під обов'язок універсальної послуги	Транспортування та зберігання
532	Інша поштова та кур'єрська діяльність	Транспортування та зберігання
451	Продаж автотранспортних засобів	Оптова торгівля
452	Продаж легкових та легких автомобілів	Оптова торгівля
453	Роздрібна торгівля деталями транспортних засобів	Роздрібна торгівля
454	Роздрібна торгівля, обслуговування мотоциклів	Роздрібна торгівля
461	Оптовий продаж на платній або на контрактній основі	Оптова торгівля
462	Оптова торгівля сільськогосподарською сировиною та живою твариною	Оптова торгівля
463	Оптова торгівля продуктами, напоями та тютюном	Оптова торгівля
464	Оптова торгівля побутовими товарами	Оптова торгівля
465	Оптова торгівля інформаційно-комунікаційним обладнанням	Оптова торгівля
466	Оптова торгівля іншими машинами, обладнанням	Оптова торгівля
467	Інший спеціалізований оптовий продаж	Оптова торгівля

Закінчення таблиці А.1

1	2	3
469	Неспеціалізована оптова торгівля	Оптова торгівля
471	Роздрібна торгівля в неспеціалізованих магазинах	Роздрібна торгівля
472	Роздрібна торгівля продуктами харчування, напоями та тютюновими виробами в спеціалізованих магазинах	Роздрібна торгівля
473	Роздрібна торгівля автомобільним паливом у спеціалізованих магазинах	Роздрібна торгівля
474	Роздрібна торгівля інформаційно-комунікаційним обладнанням у спеціалізованих магазинах	Роздрібна торгівля
475	Роздрібна торгівля іншим побутовим обладнанням у спеціалізованих магазинах	Роздрібна торгівля
476	Роздрібна торгівля товарами культури та відпочинку в спеціалізованих магазинах	Роздрібна торгівля
477	Роздрібна торгівля іншими товарами в спеціалізованих магазинах	Роздрібна торгівля
478	Роздрібна торгівля через прилавки та ринки	Роздрібна торгівля
479	Роздрібна торгівля не в магазинах, прилавках чи на ринках	Роздрібна торгівля
561	Ресторани та мобільні послуги	Ресторанне та громадське господарство
562	Харчування та інші послуги, пов'язані з цим	Ресторанне та громадське господарство
563	Бари та громадські турботи	Ресторанне та громадське господарство

ДОДАТОК Б

Соціально-економічні дані регіону Венето (Італія)

Таблиця Б.1 – Загальна кількість працівників та видів діяльності для сектору соціально-економічної сфери

Зона	Категорії		Роздрібна торгівля		Оптова торгівля		Житло		Будівництво		Виробництво		Ресторан, готель		Транспорт та зберігання		Транспортування відходів	
	Працівники	Види діяльності	Працівники	Види діяльності	Працівники	Види діяльності	Працівники	Види діяльності	Працівники	Види діяльності	Працівники	Види діяльності	Працівники	Види діяльності	Працівники	Види діяльності	Працівники	Види діяльності
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		
1001	625	323	314	122	489	208	343	131	608	97	706	265	145	27	2	2		
1002	5 163	1 472	4 376	1 421	1 144	191	1 245	407	7 315	861	3 052	888	1 241	233	235	9		
1003	1 304	510	1 764	777	69	17	837	318	3 030	428	1 051	329	630	198	8	4		
1004	11 695	3 411	15 147	3 993	745	88	3 468	1 025	15 680	1 541	7 207	1 686	4 287	680	909	25		
1005	3 678	1 099	3 646	1 020	113	15	1 403	468	10 006	866	1 753	471	1 321	308	93	12		
1006	2 481	827	2 778	817	51	9	704	221	7 918	1 015	1 261	344	577	161	145	15		
1007	2 867	893	4 009	1 056	197	22	1 190	387	9 370	667	1 905	452	1 606	307	112	17		
1008	1 376	413	1 289	390	26	7	307	131	4 592	618	768	205	386	97	46	3		
1009	1 584	623	1 510	472	32	8	480	124	5 043	571	719	246	458	130	92	13		
1010	4 859	1 740	3 640	1 378	143	23	1 422	425	9 174	990	2 668	778	1 277	378	287	22		
1011	1 626	685	2 768	411	58	19	829	183	2 438	324	1 068	365	585	185	73	10		
1012	1 280	500	917	388	29	6	293	109	4 013	656	561	180	514	158	68	5		
1013	3 515	1 494	3 249	1 221	189	25	1 408	361	6 792	754	2 163	591	1 361	350	208	13		
1014	1 628	604	1 385	561	28	3	662	261	6 251	557	892	215	609	186	49	7		
1015	2 341	892	2 476	846	27	5	834	319	6 690	858	1 236	328	703	235	32	5		
1016	17 991	5 298	22 320	7 695	4 294	209	3 690	1 208	31 935	3 287	9 354	2 378	4 567	850	378	36		



Продовження таблиці Б.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1017	6 633	2 088	5 467	2 043	90	17	2 451	661	25 590	2 179	2 712	664	2 864	632	164	21
1018	2 200	866	1 829	464	168	66	645	192	2 486	323	1 358	447	373	99	147	8
1019	7 844	2 438	6 459	2 389	271	55	2 163	889	21 389	1 932	3 987	1 010	2 627	562	509	25
1020	16 765	4 651	6 115	2 095	5 171	412	2 996	539	10 385	1 519	11 839	2 237	3 948	418	1596	38
1021	5 342	1 890	3 794	1 464	774	379	1 943	550	7 798	836	3 114	1 036	876	236	284	23
1022	3 877	1 422	2 004	766	521	222	1 225	361	5 219	474	2 421	829	849	225	241	16
1023	2 927	1 034	3 456	1 211	64	16	1 188	253	16 740	1 185	2 044	523	1 628	334	196	20
1024	4 677	1 443	4 089	1 506	127	18	1 716	442	14 357	1 310	2 376	628	1 323	281	629	20
1025	9 225	2 770	11 109	3 844	484	56	2 463	832	20 456	2 060	5 587	1 397	2 893	587	620	18
1026	2 159	737	1 809	690	39	8	725	245	10 034	914	1 218	368	780	223	41	2
1027	1 597	627	1 144	520	79	11	361	120	6 612	447	1 213	319	347	138	144	10
1028	3 664	1 237	3 856	1 360	140	18	1 016	253	15 958	1 171	1 840	512	1 083	318	59	8
1029	778	332	264	139	335	52	284	99	584	119	802	198	113	39	20	2
1030	6 460	2 083	5 476	2 087	253	37	1 603	466	24 896	2 272	3 918	1 093	1 483	445	270	17
1031	12 134	3 502	12 170	4 251	436	51	3 459	1 007	39 472	3 192	7 121	1 667	3 134	787	782	58
1032	1 634	546	2 164	832	29	8	575	144	15 779	1 058	878	229	666	133	100	11
1033	3 031	835	2 171	615	118	26	1 199	166	8 325	395	1 713	446	621	141	70	9
1034	1 236	480	547	219	670	129	265	81	1 939	420	980	280	144	57	1	2
1035	1 008	262	193	69	1 773	146	308	55	389	118	1 052	195	102	31	30	2
1036	720	299	860	333	13	3	363	131	4 387	412	444	134	488	154	19	6
1037	546	228	315	90	115	23	178	52	7 667	139	487	137	117	33	39	3
1038	1 916	724	1 037	425	82	12	621	163	5 393	416	1 382	399	634	139	117	7
1039	1 962	787	2 091	782	103	14	1 365	377	12 093	1 166	1 497	449	995	206	72	7
1040	5 836	1 914	6 582	2 192	166	27	1 939	482	22 779	2 352	3 402	863	2 047	455	70	16
1041	489	223	279	125	46	12	416	157	2 176	212	459	139	168	58	7	2
1042	640	263	568	219	7	2	264	80	3 382	351	445	132	285	91	63	3

## ДОДАТОК В

### Дані для моделювання потоку транспортних засобів

Таблиця В.1 – Дані для створення моделі середньої кількості зупинок

Зона	Кількість робітників/Кількість видів діяльності	Середній час руху на маршруті, год	Середній обсяг вантажу у транспортному засобі на маршруті, т	Середня кількість зупинок на маршруті
1	2	3	4	5
1001	2,110	0,713	1,740	1
1002	3,297	8,102	2,517	3,344
1003	2,384	10,577	2,100	4,626
1004	3,625	11,003	2,061	4,243
1005	3,456	9,253	1,947	4,168
1006	3,199	8,277	2,065	3,072
1007	3,528	7,348	1,964	2,567
1008	3,319	9,843	1,904	5,016
1009	2,826	5,299	2,534	2,333
1010	2,726	8,467	2,228	3,584
1011	4,009	8,794	1,838	3,545
1012	2,474	10,225	2,900	3,912
1013	2,491	9,857	2,826	3,527
1014	2,586	9,530	1,926	4,263
1015	2,772	10,900	2,158	4,256
1016	3,103	9,099	2,191	3,990
1017	2,929	9,398	1,855	4,725
1018	3,029	10,178	1,590	5,478
1019	2,963	10,625	2,042	4,828
1020	3,392	9,224	2,082	3,734
1021	2,724	7,557	2,209	3,072
1022	2,688	9,401	2,143	3,421
1023	2,843	8,626	1,802	4,058
1024	2,973	9,087	1,779	4,377
1025	3,074	10,152	1,925	4,151
1026	2,781	11,760	1,962	5,106
1027	2,390	6,924	1,738	3,405
1028	2,896	8,410	1,923	4,267
1029	2,212	3,273	1,400	2,413
1030	2,862	9,427	2,192	3,832
1031	3,135	8,713	1,999	3,672
1032	2,756	8,456	2,232	3,077
1033	3,588	7,439	2,227	2,470
1034	2,551	9,983	2,028	4,544
1035	3,628	6,810	2,464	2,900

## Продовження таблиці В.1

1	2	3	4	5
1036	2,500	10,534	2,177	4,158
1037	2,708	8,930	1,896	4,045
1038	2,570	10,391	2,404	4,042
1039	2,583	8,931	2,117	3,459
1040	3,024	10,572	2,343	4,053
1041	2,207	7,610	1,877	3,846
1042	2,506	5,456	2,658	2,570

### Multiple Regression - n

Dependent variable: n  
Independent variables:  
Emp Act  
t  
Qav  
Number of observations: 42

Parameter	Estimate	Standard Error	T	P-Value
Emp Act	0,219243	0,136012	1,61193	0,1150
t	0,412841	0,0362562	11,3688	0,0000
Qav	-0,244761	0,181039	-1,35197	0,1842

### Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	610,15	3	203,383	915,27	0,0000
Residual	6,66628	39	0,222212		
Total	616,816	42			

R-squared = 98,5995 percent  
R-squared (adjusted for d.f.) = 98,5277 percent  
Standard Error of Est. = 0,471394  
Mean absolute error = 0,381318  
Durbin-Watson statistic = 1,59481  
Lag 1 residual autocorrelation = 0,166679

### The StatAdvisor

The output shows the results of fitting a multiple linear regression model to describe the relationship between n and 3 independent variables. The equation of the fitted model is

$$n = 0,219243 * \text{Emp Act} + 0,412841 * t - 0,244761 * \text{Qav}$$

Since the P-value in the ANOVA table is less than 0,05, there is a statistically significant relationship between the variables at the 95,0% confidence level.

The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 98,5995% of the variability in n. The adjusted R-squared statistic, which is more suitable for comparing models with different numbers of independent variables, is 98,5277%. (Note: since the model does not contain a constant, you should be careful in interpreting the R-Squared values. Do not compare these R-Squared values with those of models which do contain a constant.) The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 0,471394. This value can be used to construct prediction limits for new observations n.

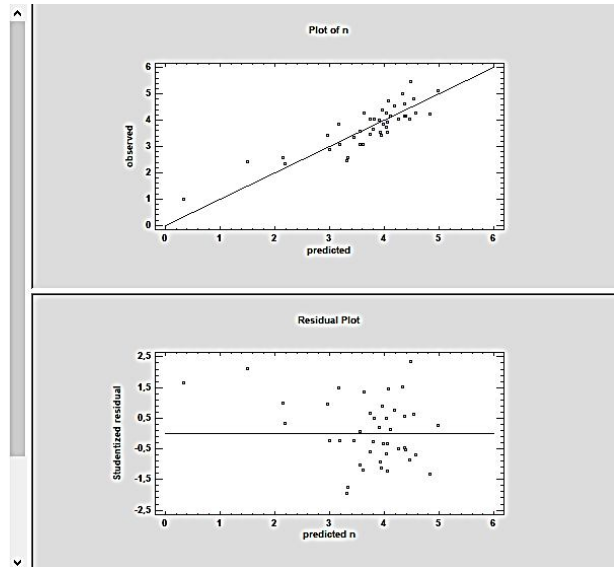


Рисунок В.1 – Результати роботи у програмі Statgraphics для моделі зміни кількості маршрутів доставки

Таблиця В.2 – Дані для створення моделі кількості поставок

Зона	Кількість видів діяльності у зоні	Середній час руху на маршруті, год	Загальний обсяг перевезеного вантажу, т	Середня кількість зупинок на маршруті	Загальна кількість поставок
1	2	3	4	5	6
1001	1 175	0,713	2,74	1	1
1002	5 482	8,102	1 340,01	3,344	439
1003	2 581	10,577	2 96,87	4,626	91
1004	12 449	11,003	2 943,92	4,243	988
1005	4 259	9,253	817,84	4,168	297
1006	3 409	8,277	1 022,13	3,072	348
1007	3 801	7,348	192,02	2,567	67
1008	1 864	9,843	1 364,89	5,016	492
1009	2 187	5,299	42,00	2,333	12
1010	5 734	8,467	1 150,00	3,584	394
1011	2 182	8,794	57,77	3,545	22
1012	2 002	10,225	354,66	3,912	102

## Продовження таблиці В.2

1	2	3	4	5	6
1013	4 809	9,857	3 941,81	3,527	1 190
1014	2 394	9,530	637,10	4,263	217
1015	3 488	10,900	3 139,00	4,256	974
1016	20 961	9,099	15 638,64	3,990	4 866
1017	8 305	9,398	1 995,30	4,725	692
1018	2 465	10,178	174,79	5,478	67
1019	9 300	10,625	2 699,71	4,828	865
1020	11 909	9,224	8 482,18	3,734	2 660
1021	6414	7,557	2 732,15	3,072	848
1022	4315	9,401	3 083,56	3,421	988
1023	4576	8,626	1 912,40	4,058	702
1024	5648	9,087	751,50	4,377	276
1025	11564	10,152	6 252,59	4,151	2 056
1026	3187	11,760	708,61	5,106	236
1027	2192	6,924	638,21	3,405	227
1028	4877	8,410	1 059,79	4,267	367
1029	980	3,273	130,86	2,413	63
1030	8500	9,427	2 245,33	3,832	686
1031	14515	8,713	10 864,44	3,672	3 502
1032	2961	8,456	158,36	3,077	52
1033	2633	7,439	3 296,02	2,470	981
1034	1668	9,983	593,30	4,544	195
1035	878	6,810	66,80	2,900	20
1036	1472	10,534	492,83	4,158	146
1037	705	8,930	558,45	4,045	198
1038	2285	10,391	658,40	4,042	212
1039	3788	8,931	328,15	3,459	98
1040	8301	10,572	1 658,62	4,053	486
1041	928	7,610	78,00	3,846	26
1042	1141	5,456	790,89	2,570	235

### Multiple Regression - ND

Dependent variable: ND  
 Independent variables:  
 Q/n  
 t  
 Act

Number of observations: 42

Parameter	Estimate	Standard Error	t	Statistic	P-Value
Q/n	1,03848	0,0421684	24,627		0,0000
t	-7,05729	3,43399	-2,05513		0,0466
Act	0,0333213	0,00824518	4,04131		0,0002

### Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	5,65578E7	3	1,88526E7	1411,27	0,0000
Residual	520986,0	39	13358,6		
Total	5,70788E7	42			

R-squared = 99,0873 percent  
 R-squared (adjusted for d.f.) = 99,0404 percent  
 Standard Error of Est. = 115,59  
 Mean absolute error = 76,1929  
 Durbin-Watson statistic = 1,87452  
 Lag 1 residual autocorrelation = 0,054715

### The StatAdvisor

The output shows the results of fitting a multiple linear regression model to describe the relationship between ND and 3 independent variables. The equation of the fitted model is

$$ND = 1,03848 \cdot Q/n - 7,05729 \cdot t + 0,0333213 \cdot Act$$

Since the P-value in the ANOVA table is less than 0,05, there is a statistically significant relationship between the variables at the 95,0% confidence level.

The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 99,0873% of the variability in ND. The adjusted R-squared statistic, which is more suitable for comparing models with different numbers of independent variables, is 99,0404%. (Note: since the model does not contain a constant, you should be careful in interpreting the R-Squared values. Do not compare these R-Squared values with those of models which do contain a constant.) The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 115,59. This value can be used to construct prediction limits for new observations by

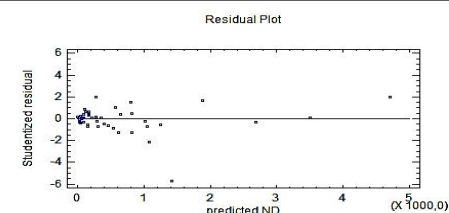
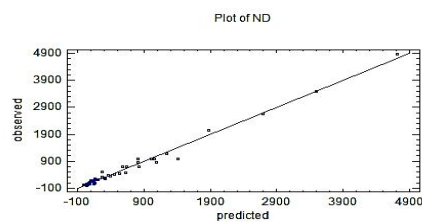


Рисунок В.2 – Результати роботи у програмі Statgraphics для другої моделі

## ДОДАТОК Г

### Інтенсивність транспортного потоку у центрі м. Харків (Україна)



Рисунок Г.1 – Схема центральних вулиць м. Харків

(цифрами у кружечку позначено головні перехрестя, та напрямки кожного перехрестя)

Таблиця Г.1 – Годинна інтенсивність руху транспортних засобів у фізичних одиницях (9:00–10:00, вул. Римарська – вул. Майдан Конституції, № 1)

Тип транспортного засобу	Напрямок руху											
	1-2	1-3	1-4	2-1	2-3	2-4	3-1	3-2	3-4	4-1	4-2	4-3
Легкові автомобілі	-	-	-	156	252	-	346	-	-	156	71	-
Мікроавтобуси і вантажні автомобілі вантажопідйомністю до 2 т	-	-	-	4	4	-	39	-	-	6	7	-
Вантажні автомобілі вантажопідйомністю 2–5 т	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Вантажні автомобілі вантажопідйомністю 5–8 т	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Вантажні автомобілі вантажопідйомністю понад 8 т	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Автобуси всіх марок	-	-	-	-	-	-	4	-	-	30	-	-
Усього у фізичних од./год.	-	-	-	160	256	-	389	-	-	192	78	-

Таблиця Г.2 – Годинна інтенсивність руху транспортних засобів у фізичних одиницях ( 18:00 – 19:00, вул. Римарська – вул. Майдан Конституції, № 1)

Тип транспортного засобу	Напрямок руху											
	1-2	1-3	1-4	2-1	2-3	2-4	3-1	3-2	3-4	4-1	4-2	4-3
Легкові автомобілі	-	-	-	264	300	-	420	-	-	168	96	-
Мікроавтобуси й вантажні автомобілі вантажопідйомністю до 2 т	-	-	-	6	4	-	22	-	-	10	6	-
Вантажні автомобілі вантажопідйомністю 2–5 т	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Вантажні автомобілі вантажопідйомністю 5–8 т	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Вантажні автомобілі вантажопідйомністю понад 8 т	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Автобуси всіх марок	-	-	-	-	-	-	4	-	-	24	-	-
Усього у фізичних од./год	-	-	-	270	304	-	446	-	-	202	102	-

Таблиця Г.3 – Годинна інтенсивність руху транспортних засобів у фізичних одиницях (9:00 – 10:00, вул. Сумська – пров. Мечникова, № 2)

Тип транспортного засобу	Напрямок руху											
	1-2	1-3	1-4	2-1	2-3	2-4	3-1	3-2	3-4	4-1	4-2	4-3
Легкові автомобілі	-	552	-	128	228	200	584	-	120	-	-	-
Мікроавтобуси й вантажні автомобілі вантажопідйомністю до 2 т	-	20	-	16	12	32	20	-	24	-	-	-
Вантажні автомобілі вантажопідйомністю 2–5 т	-	8	-	-	-	4	8	-	4	-	-	-
Вантажні автомобілі вантажопідйомністю 5–8 т	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Вантажні автомобілі вантажопідйомністю понад 8 т	-	4	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-
Автобуси всіх марок	-	12	-	8	12	-	8	-	-	-	-	-
Усього у фізичних од./год.	-	596	-	152	252	236	624	-	148	-	-	-

Таблиця Г.4 – Годинна інтенсивність руху транспортних засобів у фізичних одиницях (18:00 – 19:00, вул. Сумська – пров. Мечникова, № 2)

Тип транспортного засобу	Напрямок руху											
	1-2	1-3	1-4	2-1	2-3	2-4	3-1	3-2	3-4	4-1	4-2	4-3
Легкові автомобілі	-	600	-	744	504	816	936	-	252	-	-	-
Мікроавтобуси й вантажні автомобілі вантажопідйомністю до 2 т	-	36	-	24	12	24	12	-	12	-	-	-
Вантажні автомобілі вантажопідйомністю 2–5 т	-	8	-	-	-	12	8	-	4	-	-	-
Вантажні автомобілі вантажопідйомністю 5–8 т	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Вантажні автомобілі вантажопідйомністю понад 8 т	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Автобуси всіх марок	-	4	-	12	36	-	12	-	-	-	-	-
Усього у фізичних од./год.	-	648	-	780	552	852	968	-	268	-	-	-

Таблиця Г.5 – Годинна інтенсивність руху транспортних засобів у фізичних одиницях (9:00 – 10:00, вул. Пушкінська – пров. Мечникова, № 3)

Тип транспортного засобу	Напрямок руху											
	1-2	1-3	1-4	2-1	2-3	2-4	3-1	3-2	3-4	4-1	4-2	4-3
Легкові автомобілі	-	312	-	20	232	-	220	24	-	-	-	-
Мікроавтобуси й вантажні автомобілі вантажопідйомністю до 2 т	-	48	-	-	24	-	20	-	-	-	-	-
Вантажні автомобілі вантажопідйомністю 2–5 т	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Вантажні автомобілі вантажопідйомністю 5–8 т	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Вантажні автомобілі вантажопідйомністю понад 8 т	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Автобуси всіх марок	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Усього у фізичних од./год.	-	376	-	20	256	-	240	24	-	-	-	-

Таблиця Г.6 – Годинна інтенсивність руху транспортних засобів у фізичних одиницях (18:00 – 19:00, вул. Пушкінська – пров. Мечникова, № 3)

Тип транспортного засобу	Напрямок руху											
	1-2	1-3	1-4	2-1	2-3	2-4	3-1	3-2	3-4	4-1	4-2	4-3
Легкові автомобілі	12	480	-	54	336	-	222	54	-	-	-	-
Мікроавтобуси й вантажні автомобілі вантажопідйомністю до 2 т	-	24	-	-	12	-	12	-	-	-	-	-
Вантажні автомобілі вантажопідйомністю 2–5 т	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Вантажні автомобілі вантажопідйомністю 5–8 т	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Вантажні автомобілі вантажопідйомністю понад 8 т	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Автобуси всіх марок	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Усього у фізичних од./год.	12	504	-	54	348	-	234	54	-	-	-	-



Таблиця Г.7 – Годинна інтенсивність руху транспортних засобів у фізичних одиницях (9:00 – 10:00, пров. Спартаківський – вул. Майдан Конституції, № 4)

Тип транспортного засобу	Напрямок руху											
	1-2	1-3	1-4	2-1	2-3	2-4	3-1	3-2	3-4	4-1	4-2	4-3
Легкові автомобілі	220	520	-	140	92	-	644	-	-	-	-	-
Мікроавтобуси й вантажні автомобілі вантажопідйомністю до 2 т	28	36	-	20	24	-	12	-	-	-	-	-
Вантажні автомобілі вантажопідйомністю 2–5 т	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Вантажні автомобілі вантажопідйомністю 5–8 т	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Вантажні автомобілі вантажопідйомністю понад 8 т	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	-	-
Автобуси всіх марок	16	8	-	-	16	-	-	-	-	-	-	-
Усього у фізичних од./год.	264	564	-	160	132	-	664	-	-	-	-	-

Таблиця Г.8 – Годинна інтенсивність руху транспортних засобів у фізичних одиницях (18:00 – 19:00, пров. Спартаківський – вул. Майдан Конституції, № 4)

Тип транспортного засобу	Напрямок руху											
	1-2	1-3	1-4	2-1	2-3	2-4	3-1	3-2	3-4	4-1	4-2	4-3
Легкові автомобілі	660	960	-	468	456	-	948	-	-	-	-	-
Мікроавтобуси й вантажні автомобілі вантажопідйомністю до 2 т	24	36	-	12	8	-	36	-	-	-	-	-
Вантажні автомобілі вантажопідйомністю 2–5 т	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Вантажні автомобілі вантажопідйомністю 5–8 т	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Вантажні автомобілі вантажопідйомністю понад 8 т	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Автобуси всіх марок	60	8	-	-	36	-	-	-	-	-	-	-
Усього у фізичних од./год.	744	1004	-	480	500	-	984	-	-	-	-	-

Таблиця Г.9 – Годинна інтенсивність руху транспортних засобів у фізичних одиницях (9:00 – 10:00, вул. Короленко – вул. Майдан Конституції, № 5)

Тип транспортного засобу	Напрямок руху											
	1-2	1-3	1-4	2-1	2-3	2-4	3-1	3-2	3-4	4-1	4-2	4-3
Легкові автомобілі	464	64	-	454	304	-	72	168	-	-	-	-
Мікроавтобуси й вантажні автомобілі вантажопідйомністю до 2 т	32	-	-	8	20	-	8	8	-	-	-	-
Вантажні автомобілі вантажопідйомністю 2–5 т	12	8	-	8	20	-	8	4	-	-	-	-
Вантажні автомобілі вантажопідйомністю 5–8 т	-	-	-	8	16	-	-	-	-	-	-	-
Вантажні автомобілі вантажопідйомністю понад 8 т	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-
Автобуси всіх марок	16	-	-	8	8	-	-	-	-	-	-	-
Усього у фізичних од./год.	524	72	-	486	368	-	88	184	-	-	-	-

Таблиця Г.10 – Годинна інтенсивність руху транспортних засобів у фізичних одиницях (18:00 – 19:00, вул. Короленко – вул. Майдан Конституції, № 5)

Тип транспортного засобу	Напрямок руху											
	1-2	1-3	1-4	2-1	2-3	2-4	3-1	3-2	3-4	4-1	4-2	4-3
Легкові автомобілі	600	108	-	324	140	-	108	228	-	-	-	-
Мікроавтобуси й вантажні автомобілі вантажопідйомністю до 2 т	-	-	-	12	-	-	-	12	-	-	-	-
Вантажні автомобілі вантажопідйомністю 2–5 т	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Вантажні автомобілі вантажопідйомністю 5–8 т	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-
Вантажні автомобілі вантажопідйомністю понад 8 т	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Автобуси всіх марок	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-
Усього у фізичних од./год.	600	-	-	342	-	-	-	240	-	-	-	-

*Наукове видання*

**ОЛЬХОВА** Марія Володимирівна,  
**РОСЛАВЦЕВ** Дмитро Миколайович

**ОЦІНЮВАННЯ ЗАХОДІВ МІСЬКОЇ ЛОГІСТИКИ:  
МОДЕЛЮВАННЯ ПОТОКУ ВАНТАЖНИХ ТРАНСПОРТНИХ  
ЗАСОБІВ**

МОНОГРАФІЯ

Відповідальний за випуск *О. О. Лобашов*

Редактор *В. І. Шалда*

Комп'ютерний набір і верстання *М. В. Ольхова*

Дизайн обкладинки *Т. А. Лазуренко*

Підп. до друку 10.02.2021. Формат 60 × 84/16.  
Друк на ризографі. Ум. друк. арк. 5,8.  
Тираж 300 пр. Зам. №

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.

Електронна адреса: [office@kname.edu.ua](mailto:office@kname.edu.ua)

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.