

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних наук
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Інтеграція геопросторових даних для підвищення показників стійкості
розумних систем

Виконав: студент IV курсу, групи СН-41

спеціальності 122 Комп'ютерні науки

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Баволяк А.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Кунанець Н.Е.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Липак Г.І.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Боднарчук І.О.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Гащин Н.Б.

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2025

« 23 » червня 2025 р.

на здобуття освітнього ступеня	Бакалавр
	(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю	122 Комп'ютерні науки
	(шифр і назва спеціальності)
Студенту	Баволяку Андрію Олеговичу
	(прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник роботи	Кунанець Наталія Едуардівна, д.н.с.к., професор кафедри КН (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
-----------------	---

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

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	Сенчишин В.С., доцент кафедри МТ	12.06.2025	15.06.2025

7. Дата видачі завдання 29 січня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Ознайомлення з завданням до кваліфікаційної роботи	30.01.2025	
2.	Підбір джерел про геопросторові дані та їх використання для підвищення показників стійкості «розумних» систем та «розумних міст»	31.01.2025-03.02.2025	
3.	Опрацювання джерел по темі кваліфікаційної роботи	04.02.2025-06.02.2025	
4.	Виконання дослідження щодо інтеграції геопросторових даних для підвищення показників стійкості «розумних» систем	07.02.2025-11.02.2025	
5.	Оформлення розділу «Концепції «розумних міст» та геопросторові дані»	03.06.2025-05.06.2025	
6.	Оформлення розділу «Особливості застосування геопросторових даних для підвищення показників стійкості «розумних» систем»	06.06.2025-08.06.2025	
7.	Оформлення розділу «Аналіз підходів до формування «розумних» систем та перспективи подальших досліджень»	09.06.2025-11.06.2025	
8.	Виконання завдання до підрозділу «Безпека життєдіяльності»	12.06.2025-13.06.2025	
9.	Виконання завдання до підрозділу «Основи охорони праці»	14.06.2025-15.06.2025	
10.	Оформлення кваліфікаційної роботи	16.06.2025-17.06.2025	
11.	Нормоконтроль	18.06.2025-19.06.2025	
12.	Перевірка на плагіат	20.06.2025	
13.	Попередній захист кваліфікаційної роботи	21.06.2025	
14.	Захист кваліфікаційної роботи	24.06.2025	

Студент

(підпис)

Баволяк А.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Кунанець Н.Е.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Інтеграція геопросторових даних для підвищення показників стійкості розумних систем // Кваліфікаційна робота освітнього рівня «Бакалавр» // Баволяк Андрій Олегович // Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедра комп'ютерних наук, група СН-41 // Тернопіль, 2025 // С. 70, рис. – 8, табл. – 8, кресл. – 14, додат. – 0, бібліогр. – 85.

Ключові слова: розумні міста, геопросторові дані, стійкість, Інтернет речей, ГІС, дистанційне зондування, сталий розвиток, аналіз даних.

Кваліфікаційна робота комплексно досліджує роль геопросторових даних у підвищенні стійкості «розумних» систем, аналізуючи концепції «розумних міст», джерела та методи обробки геопросторових даних, а також оцінюючи підходи до їх інтеграції та перспективи подальших досліджень для забезпечення сталого розвитку міських середовищ. В першому розділі кваліфікаційної роботи описана концепція «розумних міст». Проаналізовано «Розумні міста» з позиції сталого та стійкого розвитку. Визначено роль геопросторових даних для стійкості та сталого розвитку «розумних міст».

В другому розділі кваліфікаційної роботи описано джерела та доступність геопросторових даних. Розглянуто геопросторову обробку міських даних для покращення показників стійкості «розумних» систем. Подано аналіз геопросторових наборів даних та управління геореференційованими даними. Досліджено інтеграцію геопросторових даних для підвищення показників стійкості «розумних» систем.

В третьому розділі кваліфікаційної роботи проаналізовано підходи до формування «розумних» систем та «розумних міст» на основі даних. Описано перспективи «розумних міст», як орієнтованих на дані складних систем. Розглянуто соціальні впливи підвищення показників стійкості «розумних» систем та сталий майбутній розвиток.

ANNOTATION

Integration of Geospatial Data to Enhance the Resilience of Smart Systems // Qualification work of the educational level "Bachelor" // Bavoliak Andrii // Ternopil Ivan Pulyu National Technical University, Computer and Information Systems and Software Engineering Faculty, Computer Sciences Department, group SN-41 // Ternopil, 2025 // P. 70, fig. - 8, tabl. - 8, chair. - 14, annexes. – 0, references - 85.

Keywords: smart cities, geospatial data, resilience, Internet of Things, GIS, remote sensing, sustainable development, data analysis.

The qualification work comprehensively investigates the role of geospatial data in increasing the resilience of "smart" systems, analyzing the concepts of "smart cities", sources and methods of processing geospatial data, as well as evaluating approaches to their integration and prospects for further research to ensure the sustainable development of urban environments. The first section of the qualification work describes the concept of "smart cities". "Smart cities" is analyzed from the perspective of sustainability and sustainable development. The role of geospatial data for the sustainability and sustainable development of "smart cities" is determined.

The second section of the qualification work describes the sources and availability of geospatial data. Geospatial processing of urban data to improve the resilience of "smart" systems is considered. An analysis of geospatial datasets and georeferenced data management is presented. Geospatial data integration to improve the resilience of "smart" systems is investigated.

The third section of the qualification work analyzes approaches to the formation of "smart" systems and "smart cities" based on data. The prospects of "smart cities" as data-oriented complex systems are described. The social impacts of increasing the sustainability indicators of "smart" systems and sustainable future development are considered.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

GIS – Геоінформаційна система.

CSV (англ. Comma-separated Values) – це простий текстовий формат, що використовується для представлення табличних даних, де значення стовпців розділені комою, а кожен новий рядок представляє новий запис даних.

GIS (англ. Geographic Information System) – геоінформаційна система (ГІС).

GTFS (англ. General Transit Feed Specification) – це відкритий стандарт для публічного розкладу руху громадського транспорту та пов'язаної з ним географічної інформації.

ITS (англ. Intelligent Transportation Systems) – інтелектуальні транспортні системи.

IoT (англ. Internet of Things) – Інтернет речей.

JSON (англ. JavaScript Object Notation) – це легкий текстовий формат обміну даними, який легко читається та пишеться людиною, а також легко парситься та генерується машинами. Він часто використовується для передачі даних між сервером та веб-застосунком.

LiDAR (англ. Light Detection and Ranging) – це технологія дистанційного зондування, яка використовує лазерне світло для вимірювання відстаней до Землі.

ML (англ. Machine Learning) – машинне навчання

OSM (англ. OpenStreetMap) – це глобальний, відкритий, вільно доступний та редагований геопросторовий набір даних та карта світу, створена спільнотою мільйонів добровольців.

SDGs (англ. Sustainable Development Goals) – цілі сталого розвитку.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. КОНЦЕПЦІЇ «РОЗУМНИХ МІСТ» ТА ГЕОПРОСТОРОВІ ДАНІ.....	11
1.1 Концепція «розумних міст»	11
1.2 «Розумні міста» та концепція сталого та стійкого розвитку	13
1.3 Геопросторові дані, стійкість та сталий розвиток «розумних міст»..	19
1.4 Висновок до першого розділу	22
РОЗДІЛ 2. ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ СТІЙКОСТІ «РОЗУМНИХ» СИСТЕМ.....	23
2.1 Джерела та доступність геопросторових даних	23
2.2 Геопросторова обробка міських даних для покращення показників стійкості «розумних» систем.....	26
2.2.1 Геоінформаційні системи.....	27
2.2.2 Дистанційне зондування.....	29
2.2.3 Сенсори на основі IoT.....	30
2.3 Геопросторові набори даних та управління геореференційованими даними.....	33
2.4 Інтеграція геопросторових даних для підвищення показників стійкості «розумних» систем.....	37
2.5 Висновок до другого розділу	41
РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО ФОРМУВАННЯ «РОЗУМНИХ» СИСТЕМ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	42
3.1 Аналіз підходів до формування «розумних» систем та «розумних міст» на основі даних	42
3.2 Перспективи «розумних міст», як орієнтованих на дані складних систем.....	45

3.3 Соціальні впливи підвищення показників стійкості «розумних» систем та сталий майбутній розвиток	47
3.4 Висновок до третього розділу	49
РОЗДІЛ 4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	50
4.1 Оцінка стійкості роботи проєкту економіки до впливу вражаючих факторів ядерної зброї.....	50
4.2 Контроль за станом охорони праці.....	56
4.3 Висновок до четвертого розділу	60
ВИСНОВКИ.....	61
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ	62

ВСТУП

Актуальність теми. Поява «розумних міст» як трансформаційної парадигми в урбаністичному розвитку була зумовлена глобальним прагненням досягти цілей сталого розвитку. Зі швидким темпом урбанізації та властивими викликами великих міст, попит на «розумний» і сталий урбаністичний сервіс значно зріс. Визнання сталості як основного принципу змінило підхід до концептуалізації підвищення показників стійкості «розумних» систем та проектування «розумних міст» загалом, зосереджуючи увагу на захисті навколишнього середовища та ресурсів для покращення якості життя громадян.

Останніми роками концепція «розумних міст» набуває все більшого значення у досягненні цілей сталого розвитку. Загалом, поширені міські виклики вирішуються за допомогою сервісів «розумного міста», відкриваючи нові перспективи для створення стійкіших міських середовищ. Для повного розкриття потенціалу таких «розумних» урбаністичних середовищ ключову роль відіграють геопросторові підходи, що пропонують широкий спектр застосувань, сприяючи кращому розумінню міських викликів та можливостей для інновацій. Водночас, попри значний прогрес, можуть виникати різні проблеми, зокрема через недостатнє розуміння доступних технологій та ресурсів або невміння належним чином використовувати їхній потенціал.

Ключовим аспектом досягнення покращених показників стійкості розумних систем сталих «розумних міст» є розуміння та вирішення складності міських динамік. Підходи на основі даних стали центральними у цьому процесі, використовуючи еру великих даних і багатство геопросторових наборів даних. Використовуючи такі дані, системи та сервіси «розумних міст» можуть бути адаптовані до конкретних викликів, з якими стикаються міста.

Хоча інтеграція міських наборів даних з геопросторовою інформацією є важливою для просторово обґрунтованого аналізу, у цій багатогранній галузі існують проблеми та обмеження. Точність і глибина геопросторових даних є критично важливими для обґрунтованого прийняття рішень, і різноманітність

типів геопросторових даних, від супутникових знімків до даних давачів IoT у режимі реального часу, створює проблеми в узгодженні та стандартизації. Складність і вартість обробки великих обсягів даних у режимі реального часу вимагають застосування передових просторових аналітичних і (іноді) методів машинного навчання. Тому інтеграція геопросторових даних для підвищення показників стійкості розумних систем є актуальним та перспективним напрямком сучасних досліджень.

Мета і задачі дослідження. Метою даної кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Бакалавр» є підвищення поінформованості щодо інтеграції геопросторових даних для підвищення стійкості «розумних» систем шляхом оптимізації їх функціонування, прогнозування ризиків та ефективного реагування на надзвичайні ситуації. Для досягнення поставленої мети потрібно виконати ряд завдань, зокрема:

- Провести огляд та аналіз сучасних концепцій «розумних міст», їх взаємозв'язку зі стійким розвитком, а також ролі геопросторових даних у досягненні показників стійкості.

- Дослідити джерела та доступність геопросторових даних, визначити методи та інструменти їх обробки для покращення показників стійкості «розумних» систем.

- Вивчити наявні підходи до формування «розумних» систем та «розумних міст» на основі даних, ідентифікувати їхні сильні та слабкі сторони у контексті забезпечення стійкості.

- Визначити перспективи розвитку «розумних міст» як орієнтованих на дані складних систем, з акцентом на їхній потенціал для підвищення показників стійкості.

Об'єктом дослідження є методи та моделі інтеграції геопросторових даних, спрямовані на підвищення показників стійкості «розумних» систем у контексті міського розвитку.

Предметом дослідження є процеси та механізми інтеграції геопросторових даних, а також інструменти їх обробки та управління, що

сприяють підвищенню стійкості функціонування «розумних» систем у контексті сталого міського розвитку.

Практичне значення одержаних результатів полягає у розробці та обґрунтуванні методологічних підходів до інтеграції геопросторових даних, що дозволить муніципальним органам та операторам інфраструктури підвищити ефективність планування, моніторингу та управління міськими «розумними» системами. Застосування цих результатів забезпечить покращення здатності «розумних» систем протистояти зовнішнім викликам, мінімізувати наслідки надзвичайних ситуацій та сприяти сталому розвитку міст.

РОЗДІЛ 1. КОНЦЕПЦІЇ «РОЗУМНИХ МІСТ» ТА ГЕОПРОСТОРОВІ ДАНІ

1.1 Концепція «розумних міст»

Останніми роками концепція «розумних міст» стала ключовою парадигмою у міському розвитку, що спричинено глобальним прагненням досягнення Цілей сталого розвитку (SDGs), встановлених Організацією Об'єднаних Націй [1]. Оскільки рівень урбанізації зростає безпрецедентними темпами, міста стикаються з низкою складних викликів, що, у свою чергу, сприяє зростаючому попиту на «розумні» міські сервіси [2]. Концепція «розумних міст» є відповіддю на ці виклики, пропонуючи бачення урбаністичних середовищ, які є не лише інтелектуально розвиненими, а й екологічно стійкими та соціально інклюзивними, що безпосередньо впливає на підвищення показників стійкості «розумних» систем.

Сталий розвиток став визначальним принципом у парадигмі «розумних міст». Усвідомлення важливості екологічної відповідальності, збереження ресурсів та підвищення якості життя як невід'ємних складових міського розвитку докорінно змінило уявлення про те, як слід проектувати та розвивати міста. Таким чином, прагнення досягнення підвищення показників стійкості «розумних» систем, посилене глобальними проблемами зміни клімату та деградації навколишнього середовища, надало ще більшої ваги перетворенню урбаністичних центрів на «розумні міста», що орієнтовані на добробут своїх мешканців і довкілля [3].

Поширені міські виклики, зокрема затори, неефективна інфраструктура для зменшення рівня забруднення та низька енергоефективність, стали об'єктом оптимізації за допомогою сервісів «розумного міста». Окрім загальної ідеї «покращення», яка активно пропагується урядами та великими компаніями, «розумні міста» можуть стати центральним елементом для спрямування нагальної стійкої трансформації міст, що веде до підвищення показників

стійкості «розумних» систем. Зрештою, «розумні сервіси» можуть оптимізувати використання ресурсів, зменшувати кількість відходів та рівень забруднення, тоді як «розумніші міста» будуть будуватися на гармонійніших та інтегрованих взаємозв'язках між людьми та їхнім міським середовищем [4].

Попри широке визнання очікуваних переваг сталих «розумних міст», важливим викликом залишається глибоке розуміння динаміки та складності урбаністичних процесів. Хоча ця проблема може здаватися очевидною, у розвинених системах «розумного міста» урбаністична динаміка може бути або недооціненою, або лише частково врахованою. Одним із ключових підходів до кращого розуміння цієї проблеми є аналізи, засновані на даних, які відіграють центральну роль у розробці відповідних методологій. Сучасна епоха великих даних (Big Data) та поширення геопросторової інформації з публічних і приватних джерел відкрили безліч можливостей для міських планувальників, дослідників і політиків [2]. Як наслідок, сервіси «розумного міста» дедалі активніше використовують ці дані на різних рівнях, що дає їм можливість краще адаптуватися до особливостей конкретних міст. Оскільки геопросторові дані охоплюють інформацію про розташування з різних джерел, підходи, засновані на даних, все ефективніше відповідають на потреби підвищення показників стійкості «розумних» систем.

Ця кваліфікаційна робота зосереджена на інформаційних технологіях і ресурсах, які є ближчими до практичних аспектів впровадження «розумних міст», висуваючи на передній план:

- геопросторові дані та геоінформаційні системи (GIS);
- дистанційне зондування та моніторинг на основі розподілених давачів.

Крім того, ми приділяємо більше уваги оптимізації роботи «розумних міст» за допомогою аналізу геопросторових даних.

Отже, дослідження сучасного стану розвитку «розумних міст», орієнтованих на дані, доцільно зосередити на тому, як інноваційні сервіси та набори даних у цій сфері можуть стати потужними інструментами для досягнення цілей сталого та стійкого розвитку, зокрема:

- Сприяти кращому розумінню того, як геопросторові дані можуть бути ефективно використані для подолання міських викликів та стимулювання інновацій у «розумних» системах та «розумних містах».
- Визначити та охарактеризувати найбільш поширені методи збору, обробки та зберігання геопросторових даних для підтримки застосувань та систем «розумного міста».
- Оглянути сучасні підходи до формування «розумних міст» як складних систем, орієнтовані на дані, та успішні приклади їх реалізації, висвітлюючи прийняті стратегії, а також переваги та недоліки таких рішень.
- Ідентифікувати загальнодоступні набори даних, які використовуються в цій сфері, та їхні характеристики.

1.2 «Розумні міста» та концепція сталого та стійкого розвитку

«Розумне місто» – це міське середовище, яке оптимізує використання ресурсів для покращення якості життя своїх мешканців [5]. Це зазвичай досягається за допомогою передових технологій, що дають змогу вдосконалювати міські операції та вирішувати різноманітні проблеми, пов'язані з урбанізацією. Для цього «розумні міста» використовують інформаційні та комунікаційні технології для збору та аналізу даних, що сприяє ухваленню обґрунтованих рішень, покращенню ефективності, сталого розвитку, загального добробуту та показників стійкості «розумних» систем.

Крім того, «розумні міста» створюють взаємопов'язану та інтелектуальну міську екосистему [6], пропонуючи при цьому цифрові рішення у різних сферах, як от:

- «розумний» транспорт;
- «розумна» енергетика;
- «розумна» охорона здоров'я;
- «розумне» управління;
- «розумні» громадські послуги тощо.

Тому забезпечення їхньої стійкості та довгострокової життєздатності є ключовим завданням, що досягається через інтеграцію принципів сталого розвитку, зокрема шляхом впровадження інноваційних стратегій, заснованих на аналізі даних.

У контексті «розумних міст» стійкість та сталість означає здатність міського середовища загалом «виконувати» дії та впроваджувати технології для його безперервного розвитку, зберігаючи та раціонально використовуючи свої ресурси в довгостроковій перспективі, не завдаючи значної шкоди навколишньому середовищу, суспільству чи економіці. Це передбачає задоволення поточних потреб без компрометації здатності майбутніх поколінь задовольняти власні потреби. Створення та розвиток стійких і сталих міст і громад узгоджується з однією з цілей сталого розвитку ООН. Однак потенціал досягнення сталого розвитку та стійкості за допомогою «розумних» систем та «розумних міст» виходить далеко за межі цієї мети.

«Розумні міста», що інтегрують обширні набори «розумних» систем, можуть бути ретельно спроектовані для активного сприяння гармонійному співіснуванню людської діяльності та природного світу, застосовуючи практики та політики, що балансують основні аспекти [7]:

- охорону довкілля;
- соціальну рівність;
- економічну життєздатність.

Отже, для досягнення сталого розвитку в «розумних містах» необхідно подолати різні виклики, що виникають унаслідок складних і динамічних взаємодій між міським середовищем і його зацікавленими сторонами. Ці виклики пов'язані з основними аспектами сталого розвитку, охоплюючи широкий спектр питань і аспектів, які потребують ретельного аналізу та проактивних заходів.

Оскільки підходи, орієнтовані на геопросторові дані, ґрунтуються на використанні відповідних технологій і наборів даних, вони можуть забезпечити цінну інформацію для інтеграції та оптимізації рішень у «розумних містах»,

підвищуючи очікувані показники стійкості «розумних» систем та результати сталого розвитку, водночас полегшуючи оцінку впливу таких рішень.

Щодо екологічних викликів, з якими стикаються сталого розвитку «розумні міста», одним із ключових питань є впровадження альтернативних джерел енергії (див. рисунок 1.1), що можуть зменшити залежність від викопного палива та скоротити викиди парникових газів. До таких джерел належать сонячна, вітрова, гідроенергетика, геотермальна енергія та біомаса, які забезпечують чисту та відновлювану енергію для різних міських потреб [8].



Рисунок 1.1 – Енергетична стійкість «розумної» громади [9]

Наприклад, «розумні» електромережі (smart grids) можуть використовувати передові датчики, системи зв'язку та контролю для управління попитом і постачанням електроенергії, інтегруючи різні розподілені джерела енергії та забезпечуючи балансування навантаження та гнучкість у відповідь на зміну попиту. Підходи, засновані на геопросторових даних, можуть підтримувати планування та управління «розумними» електромережами, надаючи просторову та часову інформацію про доступність і потенціал альтернативних джерел енергії, розташування та характеристики енергетичної

інфраструктури й споживачів, а також про екологічні та соціальні наслідки виробництва та споживання енергії [10].

«Розумні міста» також можуть використовувати інтелектуальні транспортні системи (ITS), що дають можливість контролювати та оптимізувати транспортні потоки, надавати мандрівникам інформацію в режимі реального часу та впроваджувати динамічне ціноутворення та стимули для впливу на транспортну поведінку. Підходи, засновані на геопросторових даних, можуть сприяти розробці та впровадженню таких інтелектуальних транспортних систем, забезпечуючи збір та аналіз даних про місцезнаходження, швидкість і напрямок руху транспортних засобів і пасажирів, стан дорожньої мережі та рівень завантаженості доріг, доступність різних видів транспорту та послуг, а також про транспортні уподобання та маршрути громадян (див. рисунок 1.2).

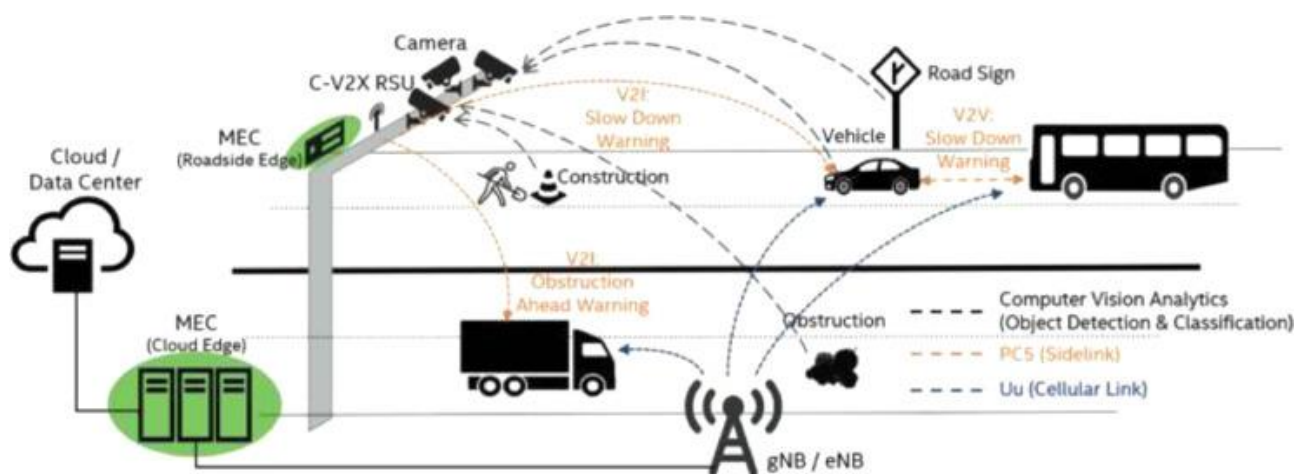


Рисунок 1.2 – Інтелектуальні транспортні системи для сталих «розумних міст» [11]

«Розумні міста» мають захищати та відновлювати природне середовище як у межах міської території, так і навколо неї, забезпечуючи збереження земельних, водних і біологічних ресурсів [12]. Фактично, «розумні міста» можуть використовувати геопросторові дані та технології для картографування й моніторингу стану та тенденцій змін екосистем, оцінки їхньої цінності,

функцій і значущості для добробуту людини, а також для ідентифікації причин змін та зовнішніх впливів, що на них впливають. Це може допомогти «розумним містам» розробляти та впроваджувати ефективні стратегії та заходи для підвищення стійкості та життєздатності екосистем [13], застосовуючи:

- зелену інфраструктуру;
- екосистемно-орієнтовану адаптацію;
- природоорієнтовані рішення.

«Розумні міста» також стикаються з численними економічними викликами на шляху до сталого розвитку, особливо через значні початкові витрати, пов'язані з впровадженням «розумної» інфраструктури. Розгортання взаємопов'язаних систем, як от пристрої Інтернету речей (IoT), інтелектуальні транспортні рішення та енергоефективні технології, вимагає значних інвестицій на старті [14]. Міста змушені балансувати між обмеженими бюджетами та пошуком фінансових моделей для фінансування цих ініціатив, узгоджуючи короткострокові фінансові потреби з довгостроковими цілями сталого розвитку—це складне завдання для міських планувальників і політиків. Однак у подоланні цих економічних труднощів «розумні міста» можуть використовувати підходи, засновані на геопросторових даних.

Загалом, геопросторові дані, що містять інформацію, прив'язану до конкретних географічних місць, є потужним інструментом для оптимізації розподілу ресурсів і планування інфраструктури. З точки зору початкових витрат, геопросторові дані дають містам можливість проводити точний просторовий аналіз, визначаючи оптимальні місця для розгортання «розумної» інфраструктури. Такий цільовий підхід не тільки допомагає мінімізувати початкові витрати, фокусуючись на найважливіших зонах впливу, але й підвищує ефективність використання ресурсів, що сприяє довгостроковій економічній сталості та стійкості.

Отже, геопросторові дані є необхідним компонентом просторової аналітики, яка допомагає долати фінансові виклики, пов'язані із застарілими технологіями, і формувати стале міське майбутнє. Завдяки постійному

оновленню та інтеграції даних у режимі реального часу міста можуть адаптувати свою «розумну» інфраструктуру до змінюваних технологічних умов, що дає можливість приймати гнучкі та оперативні рішення. Стратегії, засновані на геопросторових даних, допомагають забезпечити актуальність інвестицій, інтегруючи новітні технології у міське середовище та сприяючи гармонійному балансу між економічною доцільністю та екологічною стійкістю.

Економічна стійкість «розумних міст» тісно пов'язана з питаннями інклюзивності та доступності. Впровадження передових технологій, якщо воно здійснюється без належного врахування соціальних факторів, може ненавмисно загострити наявні соціальні та економічні нерівності [15]. У цьому контексті геопросторові дані можуть бути використані для зіставлення соціально-економічних показників із географічним розташуванням, що надає міським планувальникам можливості виявляти райони з обмеженим доступом до «розумних» послуг і розробляти цільові заходи для усунення цих проблем.

Геопросторовий аналіз допомагає ідентифікувати цифровий розрив, забезпечуючи стратегічне впровадження ініціатив «розумного міста» з метою подолання цих прогалин.

Підходи, засновані на геопросторових даних, стають цінними інструментами для розуміння та впливу на культуру й звички громадян. Аналізуючи просторовий і часовий розподіл міської активності та поведінкові тенденції, такі підходи допомагають визначати та вирішувати потреби різних груп і спільнот, а також розробляти стимули й механізми зворотного зв'язку для мотивації та заохочення позитивних змін і дій [16].

У цьому соціальному контексті забезпечення активної та змістовної участі громадян у плануванні, розробці та управлінні ініціативами «розумного міста» є вкрай важливим. Така залученість не лише підвищує якість і ефективність «розумних» міських рішень, а й сприяє задоволенню та добробуту мешканців, гарантуючи, що ці рішення дійсно відповідають реальним потребам і викликам міської громади.

Наочною ілюстрацією того, як усі зазначені цілі сталого розвитку можуть бути реалізовані в процесі

1.3 Геопросторові дані, стійкість та сталий розвиток «розумних міст»

У «розумних містах» геопросторові дані відіграють основну роль у проєктуванні та впровадженні міських послуг, спрямованих на сталий розвиток та забезпечення стійкості «розумних» систем. Застосування підходів, що ґрунтуються на даних (див. рисунок 3.1), в управлінні містами дає змогу глибше і всебічніше зрозуміти конкретні виклики та можливості кожної місцевості [17].



Рисунок 1.3 – Орієнтований на дані підхід «розумного міста» до стійкого та сталого розвитку [17]

Інтегруючи геопросторову інформацію, як от дані про рух транспорту, якість повітря, землекористування та інфраструктуру [18], міста можуть приймати обґрунтовані й стратегічні рішення для:

- оптимізації ресурсів;
- зменшення впливу на навколишнє середовище;
- покращення якості життя громадян.

Такий підхід не лише забезпечує ефективніше управління, але й сприяє створенню міських середовищ, які є сталими, стійкими та адаптованими до динамічних потреб місцевих громад. Таким чином, перетин геопросторових даних та орієнтованих на дані міських послуг є надзвичайно важливим для міст, які ставлять сталий розвиток та стійкість у центр своєї стратегії [17].

Ці методи сприяють створенню цінної інформації, яка дає ключові інсайти для більш ефективного та сталого міського планування, як показано на рисунку 1.4.

Отже, для розвитку сталих та стійких «розумних міст» важливо дотримуватися потоку збору даних через ГІС, застосування IoT і технології дистанційного зондування [19]. Сирі дані, зібрані з цих джерел, є основою етапу обробки, який базується на підходах, орієнтованих на дані, та використовує:

- машинне навчання;
- описова статистика;
- аналіз часових рядів;
- обробка природної мови;
- візуалізація даних.

Напрямки підвищення стійкості «розумних» систем на основі геопросторових даних включають:

- Прогнозування та запобігання надзвичайним ситуаціям – використання геопросторових даних для аналізу ризиків природних катастроф (повеней, землетрусів, пожеж) та техногенних аварій, що дає змогу розробляти

превентивні заходи та плани реагування для підвищення стійкості інфраструктури.

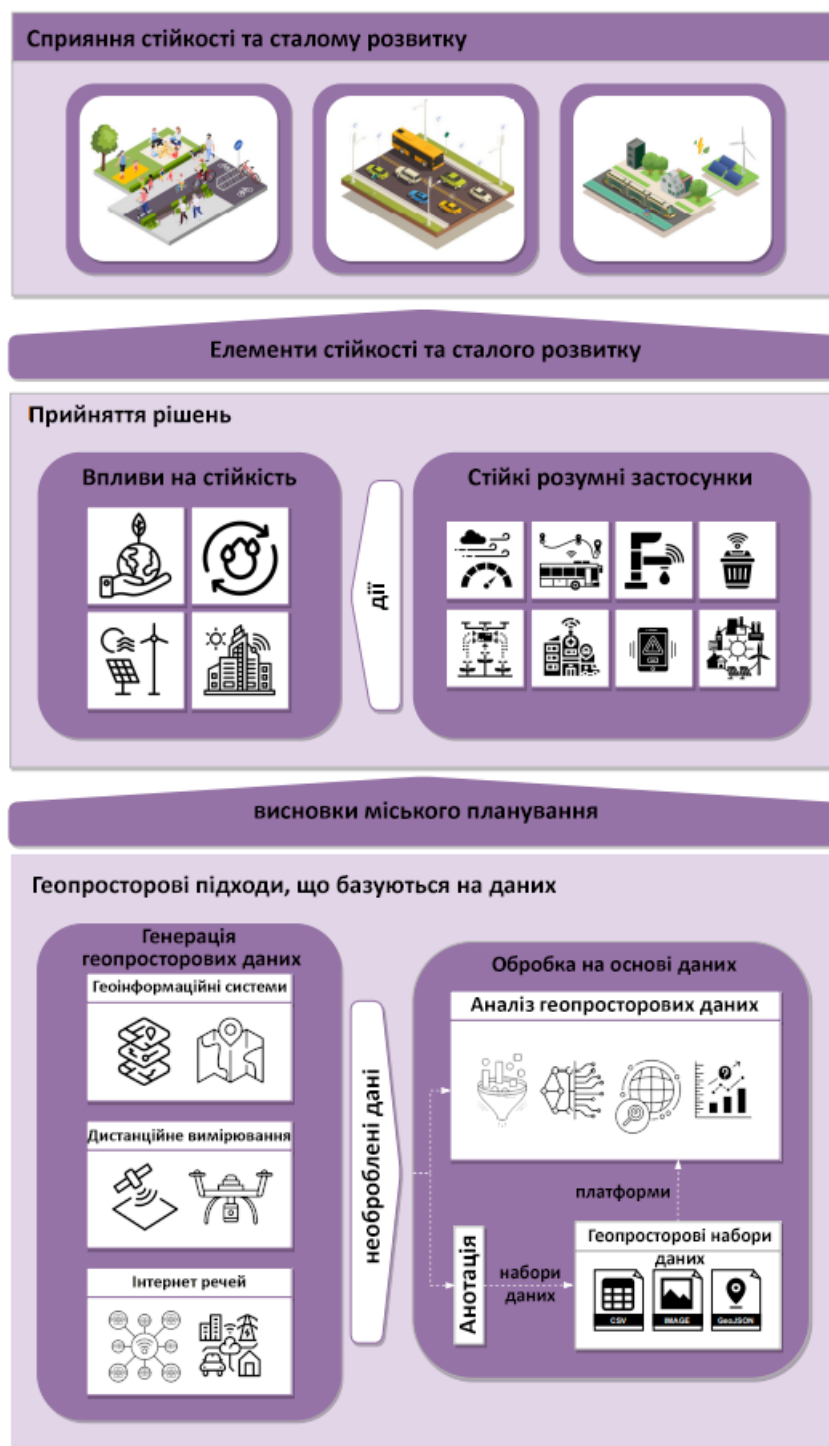


Рисунок 1.4 – Типовий потік обробки даних у сталих застосунках для «розумних міст», орієнтованих на геопросторові дані

– Оптимізація розміщення та функціонування критичної інфраструктури – застосування геопросторового аналізу для визначення

оптимального розташування ключових об'єктів (енергетичних вузлів, систем водопостачання, транспортних мереж) з урахуванням зон ризику та забезпечення їхньої стійкості до зовнішніх впливів.

– Моніторинг стану інфраструктури в реальному часі – інтеграція геопросторових даних з IoT-сенсорами для постійного відстеження стану інженерних мереж, будівель та інших елементів «розумної» системи, що дає можливість оперативно виявляти пошкодження та реагувати на них.

– Управління ресурсами та логістикою під час криз – використання геопросторових платформ для координації розподілу ресурсів, евакуації населення та відновлювальних робіт у разі виникнення надзвичайних ситуацій, забезпечуючи ефективне та швидке реагування.

– Планування сталого міського розвитку – включення геопросторових даних в процеси містобудування для створення екологічно стійких та енергоефективних районів, що сприяють загальному підвищенню стійкості «розумних» систем.

1.4 Висновок до першого розділу

В першому розділі кваліфікаційної роботи описана концепція «розумних міст». Проаналізовано «Розумні міста» з позиції сталого та стійкого розвитку. Визначено роль геопросторових даних для стійкості та сталого розвитку «розумних міст». Розглянуто джерела та доступність геопросторових даних.

РОЗДІЛ 2. ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ СТІЙКОСТІ «РОЗУМНИХ» СИСТЕМ

2.1 Джерела та доступність геопросторових даних

У процесі еволюції «розумних міст» доступність джерел геопросторових даних є такою ж важливою, як і самі дані. Тому ефективність міського планування та сталості значною мірою залежить від якості джерел цих даних та рівня доступності, яку вони можуть забезпечити [20]. У цьому сенсі урядові та публічні органи є основними джерелами геопросторових даних. Ці організації володіють цінною інформацією про публічні послуги, навколишнє середовище, комерційну діяльність, безпеку, мобільність, а також даними в режимі реального часу, зібраними IoT давачами, розташованими по всьому місту. Забезпечення доступності цих даних сприяє прозорості та заохочує участь у процесах міського розвитку. На даний час ряд міст впроваджують ініціативу «Відкриті дані», базуючись на потенційній цінності, що генерується при повторному використанні публічних наборів даних [17]. Якщо ці ініціативи будуть широко та послідовно прийняті, вони зможуть сприяти сталому розвитку платформ відкритих даних і прийняттю цілісного та трансверсального бачення для міста та стійкості його «розумних» систем.

Однак доступність таких даних змінюється від регіону до регіону і залежить від політики органів влади [21]. Наприклад, закони про конфіденційність даних можуть обмежувати доступність міських наборів даних, що може вплинути на точність і повноту системи, яка використовує ці дані. Наявність інфраструктури для зберігання даних також може вплинути на якість аналізу. У регіонах, де не достатньо розвинена інфраструктура для збору та зберігання даних, доступ до даних може бути обмежений, що впливає на якість досліджень або пов'язаних з ними аналізів. Така варіативність доступності даних може призвести до упереджених висновків і обмеженої

можливості узагальнення результатів, оскільки дані можуть не надавати повної картини явища, яке вивчається.

Приватний сектор також відіграє значну роль у продукуванні геопросторових даних, зокрема з пристроїв IoT та телекомунікацій [22]. Приватні організації можуть надавати детальну та часто оновлювану інформацію, але це часто супроводжується обмеженнями доступу та витратами, що може обмежити використання цих даних для публічних цілей. У цьому випадку партнерства між державним і приватним секторами можуть допомогти подолати ці перешкоди, забезпечуючи більш широке та послідовне впровадження послуг сталого розвитку для «розумних міст». Такі партнерства можуть сприяти ефективному використанню технологій і інноваційних ідей для створення більш стійких, справедливих і сталих умов життя [23]. Таким чином, розвиток співпраці між публічним і приватним секторами пропонує перспективний шлях для просування сталого розвитку та покращення якості життя міських жителів.

З іншого боку, платформи на основі громади стали важливими учасниками у створенні джерел геопросторових даних. Такі платформи зазвичай доступні онлайн і відкриті для всіх користувачів з підключенням до Інтернету. Ці платформи надають користувачам можливість вносити свій вклад або отримувати інформацію через інтерфейси або API (інтерфейси програмування застосунків), які спроектовані для легкості використання [24]. Така зручність доступу призвела до широкої участі, що в свою чергу сприяло створенню різноманітних баз даних з багатшими даними. Інформація на таких платформах, як правило, збирається через краудсорсинг і охоплює геопросторові дані, починаючи від оновлень трафіку в режимі реального часу до екологічних або урбаністичних просторових спостережень [25]. У цьому контексті платформа OpenStreetMap (OSM) виділяється як одна з найбільш відомих платформ геопросторових джерел, яка широко використовується дослідниками по всьому світу [26]. OSM використовує геореференційовані параметри для відображення реальних фізичних об'єктів, як от дороги та

будівлі, разом з їх супутніми метаданими. Однак, хоча такі дані доступні відкрито, їх надійність може бути різною, що вимагає суворої перевірки та регулювання для забезпечення їх точності та достовірності.

Незважаючи на багатство цих джерел даних, доступ до комплексного, інтегрованого набору геопросторових даних для міського планування залишається значною проблемою [27]. Обмежені контейнери даних, відсутність стандартних форматів, інтеграція джерел та питання конфіденційності обмежують практичну корисність даних. Існують ініціативи для покращення доступності даних, які зосереджені на дослідженнях і відкритих урядових репозиторіях даних, що використовують стандартні формати для розповсюдження геопросторових даних, зокрема текстові файли, CSV і JSON [28], серед інших форматів. Нещодавно формат GeoJSON представив стандарт кодування для географічних структур даних, підтримуючи типи геометрії та геометричні об'єкти. Крім того, формат GTFS дає змогу розповсюджувати відповідні метадані про мобільність. Цей формат може містити як інформацію про розклад маршрутів та географічні деталі транспорту, так і дані в режимі реального часу, наприклад, оновлення поїздок і позиції транспортних засобів. Нарешті, формат ShapeFile все ще популярний у GIS-інструментах, оскільки він зберігає нетопологічну геометрію та атрибути для просторових об'єктів. Ця інформація зазвичай складається з точок, ліній і полігонів, які можна використовувати для візуалізації геореференційованих даних. Ці ініціативи стандартизації спрямовані на покращення обміну та взаємодії між наборами даних, що в свою чергу підвищує їхню корисність для міського планування. Оскільки цей тренд рухається до політики відкритих стандартних даних, особливо в державному секторі, він представляє собою потенційну можливість для розгортання великих і комплексних міських наборів даних, які покращуватимуть показники стійкості «розумних» систем та «розумних міст» загалом.

2.2 Геопросторова обробка міських даних для покращення показників стійкості «розумних» систем

Для досягнення сталого розвитку міст та підвищення показників стійкості «розумних» систем у широкому сенсі необхідно шукати та розробляти нові «розумні» підходи. Кожен аспект міського середовища можна розглядати як потенційну можливість для вдосконалення, використовуючи новітні технології. У цьому контексті необхідно проводити масштабні дослідження, щоб визначити та впровадити ефективні методи покращення «розумних» міських послуг і досягнення бажаного рівня сталості.

Однак вивчення міста – це складне завдання, яке не можна обмежити лише лабораторією чи робочим столом. Таке дослідження потребує практичнішого механізму, який дає змогу аналізувати міське середовище без необхідності фізично відвідувати кожен його куточок. У цьому випадку важливу роль відіграють інструменти моделювання. Використовуючи методології, орієнтовані на дані, можна розробляти міські моделі, які допомагають зрозуміти цей складний простір.

Модель представляє реальну систему, опускаючи несуттєві деталі та зберігаючи лише ті характеристики, які є важливими для конкретного дослідження або проєкту [29]. У контексті «розумних міст» до таких характеристик належать:

- дороги;
- аварійні служби;
- громадські об'єкти;
- річки;
- парки;
- рельєф;
- схили.

Вони можуть бути належним чином змодельовані відповідно до мети дослідження. Карти, геологічні зображення та 3D-об'єкти є прикладами

моделей, які використовуються для представлення реальних об'єктів дослідження, що має велике значення на етапах розробки ініціатив «розумного міста» [30].

Для моделювання міста та його складних процесів на різних рівнях потрібні різні інструменти та джерела даних, залежно від типу міських послуг, що впроваджуються. З точки зору збору та обробки даних виділяються три основні підходи:

- Геоінформаційні системи (GIS),
- Дистанційне зондування,
- Сенсорний моніторинг на основі Інтернету речей (IoT).

Усі ці базові елементи є критично важливими для створення та управління геопросторовими даними, які можуть підтримувати роботу застосунків «розумного міста» або зберігатися у вигляді геореференційованих наборів даних.

2.2.1 Геоінформаційні системи

«Геоінформаційні системи відповідають за отримання, зберігання, маніпулювання та аналіз геореференційованих даних для підтримки вивчення об'єкта дослідження як географічної території» [31]. GIS можуть використовуватися для моделювання та дослідження будь-якого геореференційованого регіону, від малих територій, як от сільські селища та міста, до цілих країн. Вони також можуть застосовуватися в різних контекстах [17]:

- видобуток корисних копалин;
- прогнозування захворювань;
- аналіз трафіку;
- оцінка ризиків тощо.

У цьому контексті декілька ініціатив «розумних міст» використовували GIS для покращення їхнього розуміння міського середовища та підвищення показників стійкості «розумних» систем [32].

У типовій геоінформаційній системі дані повинні бути геореференційованими. Іншими словами, всі відповідні дані повинні бути пов'язані з їхніми координатами (широтою та довготою), а в деяких випадках – з висотою [33]. Наприклад, при моделюванні розташування лікарень у місті для планування надзвичайних ситуацій координати лікарень повинні бути відомі, щоб утворити геореференційовані дані. За своєю природою геореференційовані дані можуть бути отримані з різних джерел, як приватних, так і публічних, що безпосередньо впливає на те, як ці дані використовуються на практиці [17].

Дані на основі GIS використовуються для прогнозування, обчислення та візуалізації використання земель у містах, підтримуючи розробку рамок, які можуть виявити шаблони споживання інфраструктури комунальних послуг (водопостачання, каналізація, енергія тощо) та допомогти міським планувальникам і менеджерам приймати обґрунтовані рішення [17]. Однак це лише одна зі сторінок використання інструментів GIS у «розумних містах».

Використовуючи IoT для доступу до даних про трафік у режимі реального часу, GIS може підтримувати розробку динамічних транспортних мереж для покращення продуктивності та зниження вартості розподільчих послуг [34]. Управління є важливим для сталого розвитку та підвищення показників стійкості розумних систем і не може бути проігнороване в «розумних містах» [17]. Створення сталих міських просторів може бути підтримано інструментами GIS і гео-анкета для покращення якості життя в місті шляхом збільшення участі громадян [35]. GIS та участь громадян також відіграють важливу роль у плануванні сталих та стійких «розумних» транспортних систем, сприяючи обговоренню соціальних конфліктів на етапах впровадження [17].

2.2.2 Дистанційне зондування

При моделюванні великих територій дані про землю та рельєф «розумного» міста можуть бути також важливими в багатьох випадках. Зі швидким процесом урбанізації та розростання міст по всьому світу, землевикористання змінюється дуже швидко, що робить деякі дані застарілими в короткостроковій перспективі [36]. Тому точність даних про землевикористання та покриття землі не можна ігнорувати при розробці сталих ініціатив для «розумних міст». Насправді дані про покриття землі та землевикористання виявилися дуже актуальними, і багато підходів використовують їх як вхідні дані для різних обробок [37].

Дані про покриття землі, землевикористання та суміжні дані можна отримати за допомогою методів дистанційного зондування. Це може бути виконано як активно, за допомогою радарів і обладнання LiDAR (Light Detection and Ranging), що випромінює радіосигнал і вимірює відгук, так і пасивно, за допомогою супутників, оснащених давачами, що збирають відбите мультиспектральне радіочастотне випромінювання з поверхні Землі [38]. Мультиспектральні супутникові дані, зокрема, RGB або інфрачервоні зображення, можуть бути отримані з супутників Sentinel-2 та Landsat, які безкоштовно відкриті та доступні через платформу Google Earth Engine [39]. Ці дані є важливими для декількох ініціатив з питань підвищення показників стійкості «розумних» систем та сталості «розумних міст», зокрема [17]:

- аналіз теплових островів в містах;
- моніторинг швидкості руху транспорту;
- оцінка розростання міст.

Дистанційне зондування можна поєднувати з іншими технологіями та підходами для покращення аналізу даних. Завдяки широкому впровадженню соціальних медіа серед громадян, дані дистанційного зондування інтегруються з даними соціальних мереж для спостереження за містом, що дає змогу вивчати взаємозв'язок між людьми та урбаністичними середовищами, тим самим

сприяючи кращому плануванню міського середовища та підвищенню показників стійкості «розумних» систем для сталого розвитку міста [40]. Парадигма великих даних також поєднується з технологією дистанційного зондування, що підвищує цінність застосування дистанційного зондування [41] та сприяє ініціативам щодо:

- міського забруднення;
- планування;
- інтелектуального моніторингу руху;
- інших перспективних підходів до стійких та сталих сталих міст.

Загалом, впровадження дистанційного зондування для підвищення показників стійкості «розумних» систем та сприяння сталому розвитку міського середовища приносить як можливості, так і виклики.

2.2.3 Сенсори на основі IoT

Сенсори на основі Інтернету речей використовуються в ініціативах «розумних міст» впродовж декількох років, визначаючи широкий спектр методологій міського зондування [42]. Для сталого розвитку «розумних міст» важливі всі типи даних про міську територію, її будівлі, інфраструктуру та мешканців для розробки технологічних підходів і систем, що використовують міське планування для покращення міських послуг. У поєднанні з рішеннями Big Data IoT-сенсори можуть надати повний набір даних як вхід для алгоритмів, створюючи релевантну інформацію для керівництва «розумних міст» [43]. Для цього очікується, що IoT-сенсори будуть оснащені GPS-приймачем для геолокації сенсорного пристрою, додаючи координати та генеруючи значущі геореференційовані дані для міст, керованих даними.

Оскільки пристрої IoT можуть генерувати великі обсяги даних, необхідно використовувати відповідні механізми зберігання для забезпечення постійності даних, а хмарні обчислення можуть бути використані для управління даними, що генеруються IoT, та подальшої обробки з метою отримання цінної

інформації про місто [44]. Таким чином, парадигма «Хмара речей» збагачує застосунки IoT хмарними рішеннями, що пропонують різноманітні підходи для сталого розвитку «розумних міст» [45] (див. рисунок 2.1).

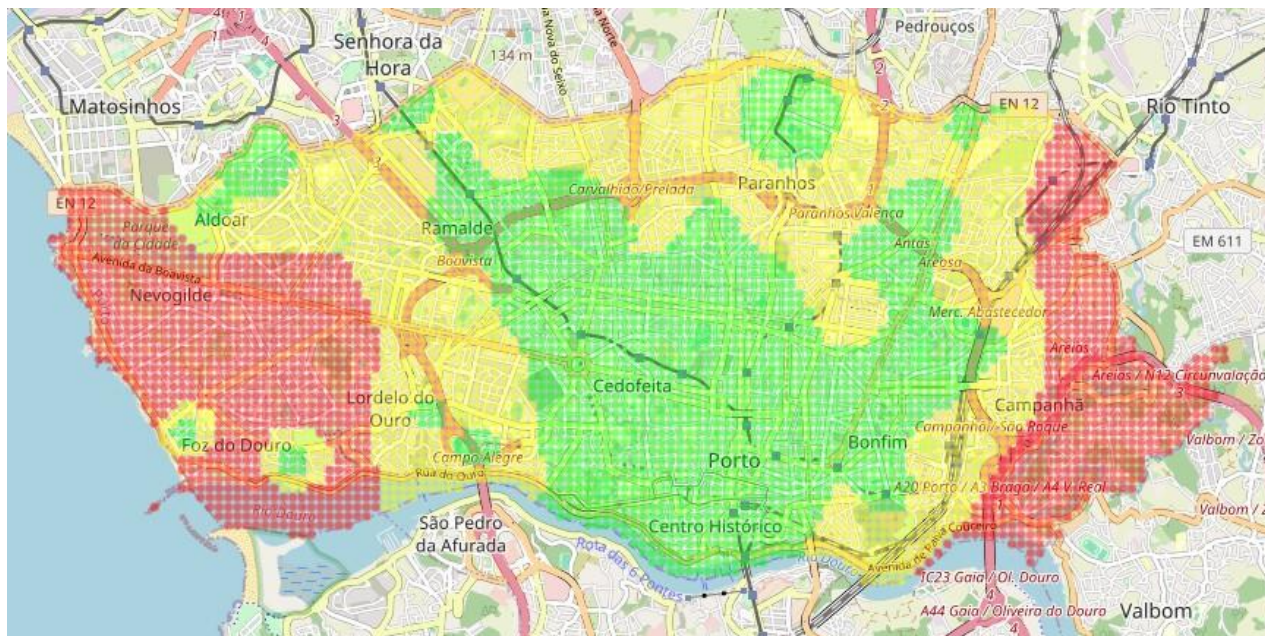


Рисунок 2.1 – Використання геореференційованих даних через інструмент CityZones GIS [32] для оцінки ризиків

У результаті хмарні рішення IoT використовуються в сталих «розумних містах» для [17]:

- моніторингу транспортних мереж;
- систем водопостачання;
- виявлення злочинів;
- багатьох інших важливих систем «розумного міста».

Завдяки розвитку алгоритмів і моделей штучного інтелекту дані з пристроїв IoT можуть бути оброблені та використані в різних застосунках [46], що потенційно сприятиме покращенню показників стійкості обширного переліку «розумних» систем.

Управління містами також може виграти від даних IoT, забезпечуючи ефективніше управління для мешканців та покращуючи громадські послуги (див. рисунок 2.2) [47].

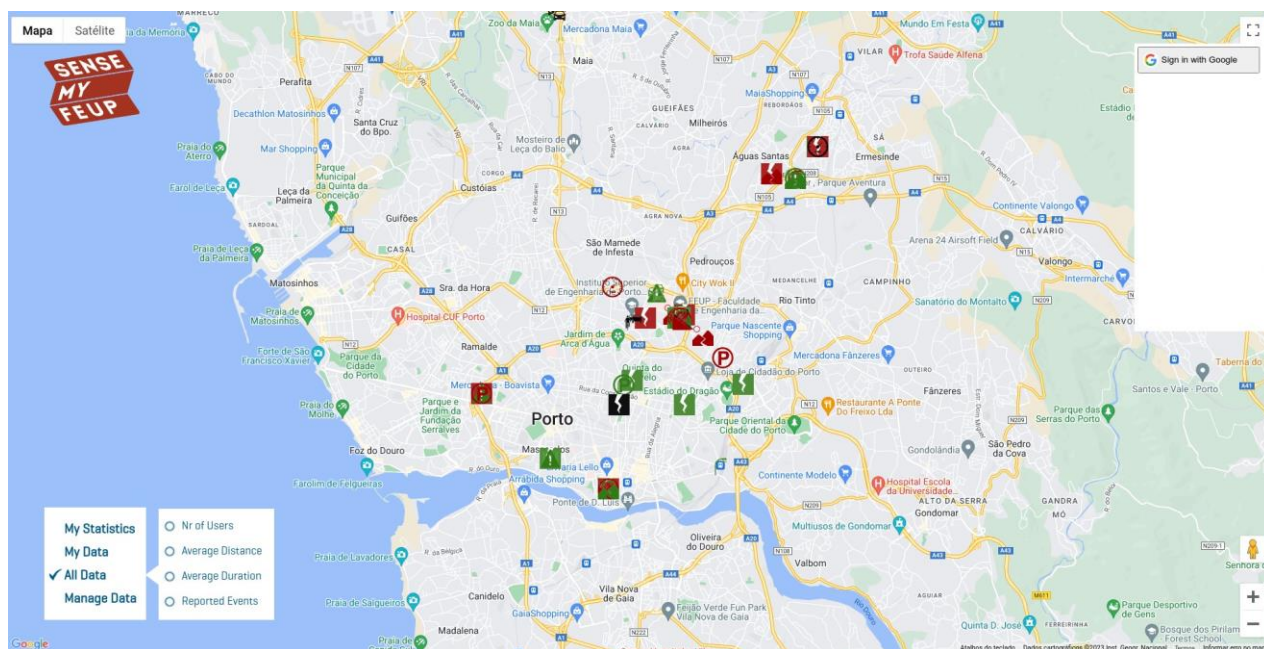


Рисунок 2.3 – Повідомлення події через систему SenseMyCity [53], що використовує дані з IoT-сенсорів

Зрештою, в короткочасовій перспективі відбуватиметься масове поєднання GIS, дистанційного зондування та IoT-сенсорів, які використовуються для надання даних та підтримки їх належної обробки.

2.3 Геопросторові набори даних та управління геореференційованими даними

Оскільки «розумні» міста розширюються і стикаються з комплексними викликами, ефективне управління даними стає важливішим у змінюваному міському управлінні та підвищення показників стійкості «розумних» систем (див. рисунок 2.4). Геопросторові набори даних відіграють важливу роль у цьому процесі, використовуючи сучасні технології аналізу геопросторових даних для покращення здатності розуміти та управляти міськими середовищами [54]. Крім того, використання технологій IoT, Big Data і хмарних обчислень, підкреслює їхню важливість у розвитку міських інновацій [55].

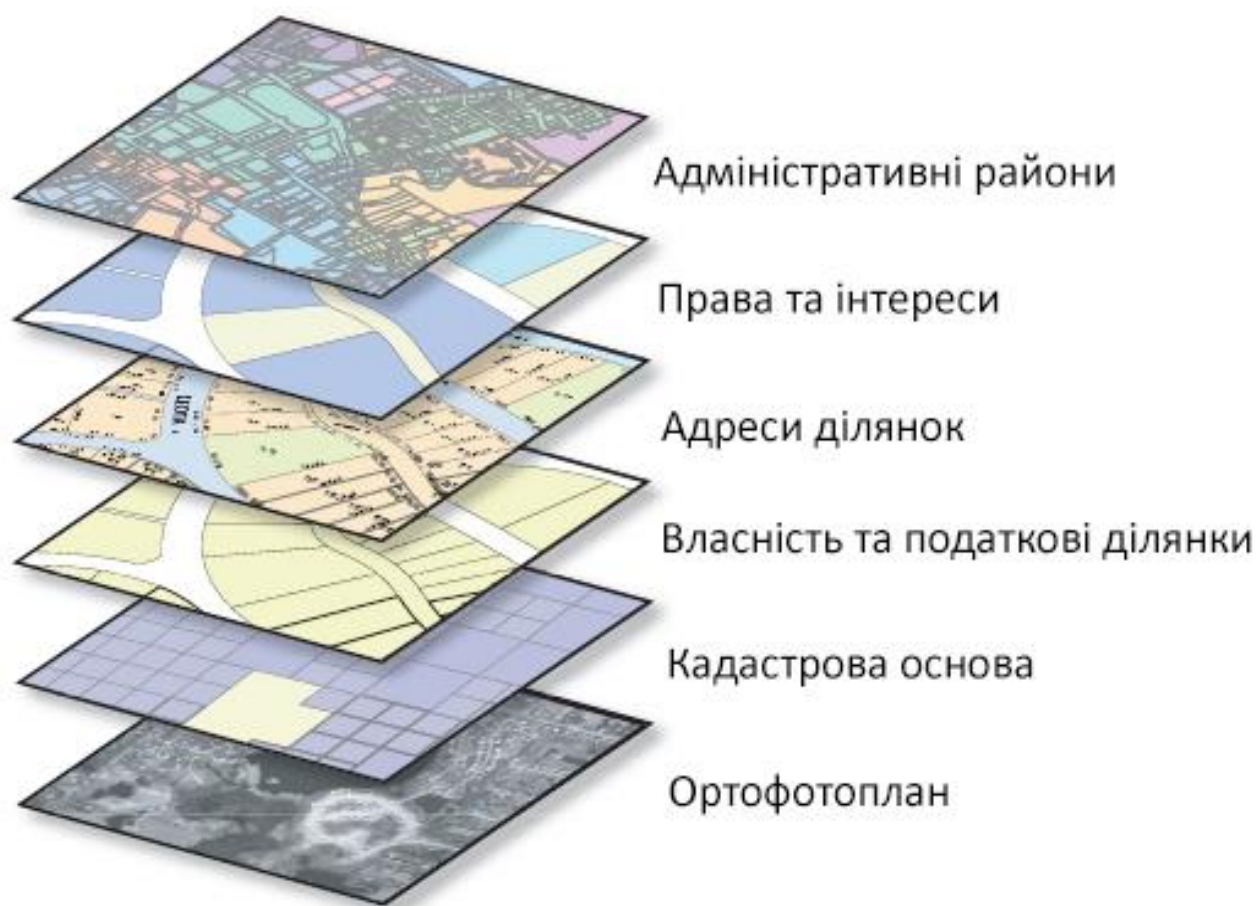


Рисунок 2.4 – Рівні управління геопросторовими даними [56]

У цьому контексті інтеграція міських наборів даних з геопросторовою інформацією є важливою для забезпечення просторово орієнтованого аналізу, що підтримує управління стихійними лихами, управління міським ростом і сталим плануванням [17]. В наступному параграфі розглянемо інтеграцію різномірних джерел геопросторових даних, що використовуються в «розумних містах», обговорюючи деякі з націлених наборів даних, які забезпечують підвищення показників стійкості «розумних» систем та сталий розвиток.

Інтеграція декількох типів геопросторових даних є основою для створення всебічних багатовимірних наборів даних для підтримки сталого розвитку в «розумних містах». Поєднуючи ці різні перспективи в підході на основі даних, дослідники, міські планувальники та політики можуть формувати більш стійкі «розумні» системи та забезпечувати сталий розвиток стратегії планування. Такий цілісний підхід є важливим для вирішення

поточних і майбутніх труднощів урбаністичного зростання, забезпечуючи розвиток інтелектуальних міст інноваційним, стійким і сталим шляхом. Окрім ініціатив відкритих даних, в науковій літературі було розроблено декілька наборів даних, які підтримують зусилля в галузі підвищення показників стійкості «розумних» систем та сталого розвитку в контексті «розумних міст» на основі даних (див. таблицю 2.1). Ці колекції даних пропонують важливі відомості та інформацію для допомоги містам у вирішенні їхніх унікальних проблем.

Таблиця 2.1 – Набори міських даних, пов’язані з розвитком «жорстких» (інфраструктурних) доменів «розумних міст»

Опис	Формат	Показники стійкості	Розташування
Візуальний моніторинг вуличних ліхтарів	JPEG CSV	Стале міське планування	Глостершир, Велика Британія [57]
Вивчення та прогнозування якості повітря	CSV	Зменшення впливу на навколишнє середовище	Мадрид, Іспанія [58]
Оцінка можливостей реагування на надзвичайні ситуації на основі міської інфраструктури	GeoJSON	Зменшення ризиків стихійних лих та управління ними	Португалія [59]
Оцінка поведінки WLAN та стільникового зв'язку в міському середовищі	CSV	Стале міське планування	Авейру, Португалія [60]
Класифікація просторово неоднорідної інфраструктури та метеорологічних даних	ESRI ShapeFile	Стале міське планування	Таллінн, Естонія [61]

Таблиця 2.1 містить всебічне резюме деяких наборів даних, які можна використовувати для сприяння розвитку «жорстких» (інфраструктурних)

доменів сталих та стійких міст. Ці набори даних збігаються, формуючи інтегрований підхід до вирішення багатогранних проблем урбаністичного середовища. В таблиці 2.2 охарактеризовано набори міських даних, пов'язані з розвитком «м'яких» (соціокомунікаційних) доменів «розумних міст».

Таблиця 2.2 – Набори міських даних, пов'язані з розвитком «м'яких» (соціокомунікаційних) доменів «розумних міст»

Опис	Формат	Показники стійкості	Розташування
Класифікація зелених зон	CSV, GeoPack age	Доступні та стійкі громадські простори	Фінляндія [62]
Краудсорсинговий архів культурних та креативних локацій	Text files, Graphs, OWL files, XML files Images	Захист культурної та природної спадщини	Європа [63]
Багатоджерельний набір даних, що описує різні перспективи міста	CSV	Стале міське планування	Орхус, Данія [64]
Індикатор стихійних лих на основі факторів соціальної вразливості	CSV	Зменшення ризиків стихійних лих та управління ними	Індонезія [65]

Центральним елементом цієї інтеграції є використання багатоджерельних міських наборів даних [64]. Ці компіляції поєднують декілька потоків міських даних, щоб надати всебічний огляд, який є важливим для розробки інноваційних та інтегрованих рішень. Однак такі різноманітні джерела даних сильно залежать від передових методів інтеграції та управління вбудованими функціями [55], що робить інтеграцію геопросторових даних постійною

проблемою. Загальні труднощі для ефективного управління багатоджерельними даними – це надмірність і відсутність гармонізації через різні стандарти джерел (наприклад, цифри та текстові файли) [66].

Оцінка інфраструктури бездротових мереж в міських умовах підкреслює важливість міцної цифрової інфраструктури для сталого розвитку «розумних міст» [67]. Ця інформація може підтримувати та покращувати доступність і ефективність міських послуг, наприклад:

- «розумна» мобільність;
- «розумна» енергетика;
- «розумна» безпека;
- «розумна» охорона здоров'я.

Крім того, вона може аналізувати нерівномірний розподіл підключеності в різних міських районах [17]. Досягнення в цьому напрямку можуть зменшити цифрову нерівність і відображати зростаючі цифрові потреби сучасних міст, що відповідає потребам підвищення показників стійкості розумних систем та сталим урбаністичним цілям загалом.

2.4 Інтеграція геопросторових даних для підвищення показників стійкості «розумних» систем

Геопросторові набори даних надають локалізовану, контекстуальну інформацію, що є важливою для ефективного вирішення міських проблем. Додавання метаданих місцеположення збагачує цю інформацію, даючи можливість об'єднувати декілька міських наборів даних для кращого розуміння міських процесів та підвищення показників стійкості «розумних» систем. Ці метадані варіюються від точних координат широти та довготи до ширших контекстів, як от назви районів чи кварталів. Такі збагачені дані сприяють прийняттю обґрунтованих рішень, виявляючи шаблони та тенденції, що, в свою чергу, призводить до підвищення показників стійкості розумних систем, які покращують якість життя мешканців міста. В таблиці 2.3 подано приклади

застосування геопросторових даних в категоріях «жорстких» (інфраструктурних) доменів «розумного міста».

Таблиця 2.3 – Приклади застосування геопросторових даних в категоріях «жорстких» (інфраструктурних) доменів «розумного міста»

Категорія даних	Тип геопросторових даних	Приклади можливих наборів даних	Формати даних	Джерела
Транспорт та мобільність	Дорожня мережа, громадський транспорт, трафік, паркування	Розклад громадського транспорту (маршрути, зупинки, час), дані про рух транспорту в реальному часі, наявність паркомісць, розташування зарядних станцій для електромобілів, велосипедні доріжки	GTFS, GeoJSON, Shapefile, CSV	Портали відкритих даних міст (наприклад, data.gov.ua, data.london.gov.uk), Google Transit (для GTFS), OpenStreetMap (для дорожньої мережі)
Енергія та комунальні послуги	Розташування об'єктів енергетичної інфраструктури, споживання енергії	Карти теплових мереж, газопроводів, електромереж, дані про споживання води/електроенергії/тепла за районами/будинками, розташування об'єктів відновлюваної енергетики	GeoJSON, Shapefile, CSV, XML	Міські енергетичні компанії, національні регулятори енергетики, портали відкритих даних
Будівлі та міська інфраструктура	Будівлі, інженерні мережі, адреси	Кадастрові дані, плани забудови, розташування об'єктів соціальної інфраструктури (школи, дитсадки, медичні установи), дані про інженерні комунікації (каналізація, водопровід)	GeoJSON, Shapefile, DXF, CityGML, Orthophoto (як растровий фон)	Міські архітектурні відділи, кадастрові служби, OpenStreetMap (для будівель)

Однак точність і глибина геопросторових даних є критично важливими для прийняття обґрунтованих рішень у міських районах [68]. Інформативні геопросторові набори даних повинні надавати уявлення про різні аспекти міського життя, від мобільності до здоров'я, управління ризиками стихійних лих, освіти та безпеки [69]. В таблиці 2.4 подано приклади застосування геопросторових даних в категоріях екологічних доменів «розумного міста».

Таблиця 2.4 – Приклади застосування геопросторових даних в категоріях екологічних доменів «розумного міста»

Категорія даних	Тип геопросторових даних	Приклади можливих наборів даних	Формати даних	Джерела
Навколишнє середовище та якість повітря	Давачі якості повітря, рівень шуму, зелені зони, водні об'єкти	Дані про забруднення повітря (PM2.5, NO2), рівень шуму, розташування парків та скверів, показники якості води у водоймах.	GeoJSON, CSV, KML	Муніципальні екологічні служби, портали відкритих даних (наприклад, OpenAQ.org, Європейське агентство з навколишнього середовища).
Погода та клімат	Метеорологічні дані, кліматичні зони	Дані про температуру, опади, швидкість вітру з метеостанцій, карти кліматичних зон.	CSV, NetCDF (для комплексних кліматичних моделей)	Державні метеорологічні служби (наприклад, Укргідромет-центр), відкриті метеорологічні API.
Відходи та санітарія	Маршрути збору відходів, розташування сміттєвих баків	Карти розташування контейнерів для роздільного збору сміття, маршрути сміттєвозів, дані про заповненість баків.	GeoJSON, CSV	Міські служби управління відходами, портали відкритих даних.

Таким чином, інтеграція геопросторових даних у «розумному місті» може підвищити адаптивність і стійкість міст та підтримати цілі сталого розвитку для створення інноваційних рішень з управління містами [17]. Коли ми занурюємося у багатогранну сферу сталого розвитку міст, важливість всебічного розуміння, управління та використання геопросторових наборів даних стає очевидною. Очікується, що ці набори даних стануть основою для майбутніх сталих міст, перевищуючи свою роль як основні колекції просторових координат і характеристик. В таблиці 2.5 подано приклади застосування геопросторових даних в категоріях «м'яких» (соціокомунікаційних) доменів «розумного міста».

Таблиця 2.5 – Приклади застосування геопросторових даних в категоріях «м'яких» (соціокомунікаційних) доменів «розумного міста»

Категорія даних	Тип геопросторових даних	Приклади можливих наборів даних	Формати даних	Джерела
Населення та соціальні дані	Демографічні дані, соціальна інфраструктура	Розподіл населення за віком/статтю/доходом по районах, розташування соціальних об'єктів, громадських просторів.	GeoJSON, CSV (з геокоординатами)	Державні статистичні служби (наприклад, Держстат України), міські департаменти соціальної політики.
Громадська безпека	Розташування екстрених служб, зони ризику	Карти розташування пожежних частин, поліцейських дільниць, лікарень, зони підвищеного ризику (наприклад, повеней, зсувів).	GeoJSON, Shapefile, KML	Міські департаменти з надзвичайних ситуацій, поліції, пожежних служб, портали відкритих даних.
Землекористування та зонування	Плани використання землі, зони забудови	Карти зон забудови, сільськогосподарських угідь, промислових зон, заповідників.	Shapefile, GeoJSON	Міські департаменти містобудування та архітектури, кадастрові служби.

Доповнюючи цю макроскопічну перспективу, дані в режимі реального часу, зібрані давачами IoT, мають велике значення. Ці пристрої складаються з скалярних або мультимедійних давачів, розподілених по визначеній території [70], що забезпечують глибокі оцінки, моніторячи екологічні та міські елементи, наприклад:

- якість повітря;
- рівень шуму;
- ризики надзвичайних ситуацій;
- енергоспоживання.

Насправді, просторове розташування та специфіка IoT-давачів сприяють швидкому прийняттю рішень та ефективному короткостроковому управлінню містом, вирішуючи проблеми контролю забруднення, енергоефективності та міської безпеки [71].

2.5 Висновок до другого розділу

В другому розділі кваліфікаційної роботи описано джерела та доступність геопросторових даних. Розглянуто геопросторову обробку міських даних для покращення показників стійкості «розумних» систем. Подано аналіз геопросторових наборів даних та управління геореференційованими даними. Досліджено інтеграцію геопросторових даних для підвищення показників стійкості «розумних» систем.

РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО ФОРМУВАННЯ «РОЗУМНИХ» СИСТЕМ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Аналіз підходів до формування «розумних» систем та «розумних міст» на основі даних

Наразі академічні дослідження стратегічно орієнтовані на сталий розвиток, що є важливим реагуванням на поточний сценарій швидких глобальних змін клімату, які вимагають інноваційних «розумних» систем з високими показниками стійкості і сталих рішень. Ця зростаюча потреба до сталості підкреслює важливість проведення всебічного огляду наукових робіт, які використовують геопросторові дані та підходи, орієнтовані на дані [17].

Аналіз наукової літератури показує значну кількість досліджень, зокрема зосереджених на аналізі ризиків і управлінні ресурсами. З виділених статей більшість зосереджуються саме на цих критичних областях, підкреслюючи ключову роль геопросторових технологій для підвищення показників стійкості розумних систем та кращого розуміння міського середовища. Дійсно, інноваційні технології, зокрема, ГІС та IoT, є основними напрямками наукових досліджень в цьому контексті. В таблиці 3.1 подано інформацію щодо застосування геопросторових даних IoT-систем у «розумних містах».

Таблиця 3.1 – Застосування геопросторових даних IoT-систем у «розумних містах» [17]

Домен	Методи бробки даних	Цілі міського планування та оптимізації
1	2	3
Моніторинг забруднення	IoT; Бездротові сенсорні мережі	Зберігання даних про забруднення (переданих бездротовим способом) для візуалізації у загальному доступі
«Розумна» мережа	IoT; ШІ	Надання інформації про стабільність інтелектуальної мережі для швидкого коригування за допомогою процесу, керованого даними

Продовження таблиці 3.1

1	2	3
«Розумна» мережа	IoT; Хмарні обчислення	Передача даних у хмару, що дає можливість обмінюватися інформацією через Інтернет

Варто відзначити значне поширення технологій Інтернету речей (IoT) та дистанційного зондування, особливо в контексті моніторингу забруднення, «розумного» міського сільського господарства, «розумних» мереж і застосувань для здоров'я. В таблиці 3.2 подано інформацію щодо застосування геопросторових даних та комп'ютерного зору для «розумних» систем.

Таблиця 3.1 – Застосування геопросторових даних та комп'ютерного зору для «розумних» систем [17]

Домен	Методи бробки даних	Цілі міського планування та оптимізації
Моніторинг забруднення	Дистанційне зондування; Машинне навчання; Комп'ютерний зір	Постачання інформації, пов'язаної з річкою, через ансамблеве навчання шляхом обробки даних, зібраних з безпілотних літальних апаратів
Міське господарство	ГІС; Комп'ютерний зір	Підтримка агротехнологічних рішень щодо зрошення та моніторингу сільськогосподарських культур
Міська мобільність	дистанційне зондування; Глибоке навчання; Комп'ютерний зір	Веб-застосунок для сповіщення поліцейських відділків про швидкісні транспортні засоби для запобігання аваріям

Крім того, постійна присутність застосувань машинного навчання (ML) у різних наукових роботах підкреслює зростання цих технік у цифровій трансформації міського планування. Наприклад, у [72] ефективне управління

водопостачальними мережами покращується завдяки прогнозним аналізам, підтриманим методами машинного навчання. Ці підходи не тільки надають цінні відомості, але й демонструють здатність передбачати складні виклики, підвищувати показники стійкості розумних систем та формувати майбутнє сталого міського управління. В таблиці 3.2 подано інформацію щодо застосування геопросторових даних та машинного навчання для покращення показників стійкості «розумних» систем.

Таблиця 3.1 – Застосування геопросторових даних та комп'ютерного зору для «розумних» систем [17]

Домен	Методи бробки даних	Цілі міського планування та оптимізації
Міська мобільність	Аналіз даних; Машинне навчання	Інструмент візуалізації, який надає органам влади повний огляд умов дорожнього руху
Міське господарство	дистанційне зондування; Машинне навчання; Комп'ютерний зір	Сучасні дані дистанційного зондування для покращення процесу внесення добрив у міському точному землеробстві
«Розумне» здоров'я	Машинне навчання	Система дистанційного спостереження на основі нечіткої логіки для діагностики пацієнтів
Водне господарство	ГІС; Машинне навчання	Візуалізація даних моніторингу води для керування розподільними мережами за допомогою прогнозного аналізу та оптимізації розуміння

Ця збірка обраних досліджень не тільки демонструє різноманіття підходів, але й підкреслює трансформаційний потенціал новітніх технологій у просуванні стійкіших міських середовищ.

3.2 Перспективи «розумних міст», як орієнтованих на дані складних систем

Розвиток «розумних міст» на основі геопросторових даних, ймовірно, буде активно підтримуватись у наступні роки, головним чином через зростаючу стурбованість змінами клімату та їхнім впливом на міські території. Оскільки міста повинні ставати більш стійкими та сталими, уряди повинні підтримувати науково-дослідні та розробницькі проекти в цій сфері. Наразі ініціативи, спрямовані на відкриті дані для міст та доступні публічні набори даних, як було зазначено в попередніх розділах, вже прокладають шлях до бажаної революції, орієнтованої на дані, але деякі виклики все ще вимагатимуть значних дослідницьких зусиль [17].

Як важливе зауваження на цьому етапі, хоча можуть виникнути деякі занепокоєння щодо обмежень оглядів, що стосуються як успішних випадків у деяких містах, так і останніх підходів «розумних міст», орієнтованих на підвищення показників стійкості «розумних систем» завдяки використанню геоінформаційних даних, представлені результати є обнадійливими. Насправді, такі обмеження можуть виникнути в будь-якому огляді, з різними наслідками..

Багато важливих питань повинні спрямовувати розвиток систем та застосунків «розумних міст», орієнтованих на дані, незалежно від їхніх цілей та очікуваних покращень міських послуг. Такі питання охоплюють технологічні перспективи до парадигм управління даними в різних сферах. Насправді, розвиток систем та застосунків «розумних міст», орієнтованих на дані, ставить перед собою низку викликів, що охоплюють технологічні, операційні та етичні вимірювання. Досягнення цілісної та єдиної перспективи міст, що містить як тимчасові, так і просторові вимірювання, є повторюваним викликом, який повинен спрямовувати подальший розвиток таких підходів.

Гетерогенність даних у «розумних містах» на базі Інтернету речей (IoT) є реальністю, і тому здається природним, що геопросторові дані будуть лише одним із аспектів розроблених підходів [73]. Насправді очікується, що

дослідники будуть досліджувати різні методології для ефективної інтеграції різноманітних геопросторових наборів даних, починаючи від супутникових зображень та даних давачів IoT до інших наборів даних, що надаються соціальними медіа та негеолокованими макроданими. З першого погляду критичним аспектом є гармонізація та стандартизація даних з різних джерел для підвищення показників стійкості «розумних» систем і створення цілісної та єдиної перспективи міста, поєднуючи тимчасові та просторові сприйняття. Тому злиття даних та різні рівні стиснутого сенсора повинні стати важливою тенденцією в цій сфері.

Обробка даних, пов'язана з різними просторовими та тимчасовими параметрами, може бути надто складною та дорогою, коли необхідно обробляти величезні обсяги даних в режимі реального часу. Це може вимагати використання передових просторових аналітичних методів та підходів на основі машинного навчання [74]. Насправді адаптивні алгоритми, які навчаються на реальних геопросторових даних, можуть значно покращити процеси прийняття рішень та зменшити кількість даних, які потрібно обробляти. У цьому тренді скорочення даних також може дати значний внесок у цю сферу, оскільки зберігання та управління даними є надзвичайно важливим при підвищенні показників стійкості розумних систем та впровадженні концепції «розумних міст» [75].

Перспективною тенденцією для «розумних міст», орієнтованих на дані, є залучення громадян. Майбутні дослідження можуть бути спрямовані на методи інтеграції геопросторових даних у платформи для залучення громадян, сприяючи активній участі в процесі прийняття рішень. Використовуючи геопросторову інформацію, ці платформи можуть покращити показники стійкості «розумних» систем, зворотній зв'язок та залучення громади до ініціатив міського планування. В іншій тенденції громадяни також можуть активно надавати дані містам, наприклад, передаючи дані з їхніх смартфонів та носимих пристроїв з просторовими та тимчасовими даними, таким чином надаючи дані для важливих міських баз даних та підвищуючи показники

стійкості «розумних» систем. Коли ця тенденція перейде на новий рівень, «розумні» будівлі та «розумні» транспортні засоби також можуть бути підключені до міської мережі для надання даних, які можуть використовуватись «розумними» містськими системами та застосунками, опосередковано приносячи користь усім громадянам [76].

Таким чином, етичні наслідки використання геопросторових даних у «розумних» міських застосунках повинні бути ретельно розглянуті. Хоча існує майже універсальне розуміння, що ініціативи «розумних» міст є корисними для мешканців і суспільства в цілому, питання, що стосуються конфіденційності, власності на дані та безпеки, є надзвичайно важливими. Дослідницькі зусилля можуть сприяти розробці настанов для відповідального та прозорого використання геопросторової інформації у міському плануванні [77] з метою підвищення показників стійкості «розумних» систем. Нові підходи, що надають пріоритет конфіденційності для наборів даних, що містять чутливу інформацію, як от зображення та відео, повинні бути в центрі уваги в найближчі роки.

В кваліфікаційній роботі були розглянуті деякі з найбільш важливих викликів, що притаманні розвитку «розумних міст», орієнтованих на дані та спрямовані на підвищення показників стійкості «розумних» систем. Вирішення цих багатогранних викликів є невід’ємною частиною стратегічного прагнення до стійкого, сталого, інклюзивного та етично здорового міського розвитку в умовах «розумних міст», орієнтованих на дані.

3.3 Соціальні впливи підвищення показників стійкості «розумних» систем та сталий майбутній розвиток

Стійкість та сталий розвиток «розумних міст», значною мірою спричинений розвитком Інтернету Речей, Штучного Інтелекту та технологій Data Science, пропонується як важливий спосіб покращення якості життя в містах. Завдяки використанню геопросторових даних для посилення цієї тенденції очікуються суттєві досягнення в галузі «розумних» систем та

застосунків, з потенційними перевагами для суспільства. Однак, хоча великі міста по всьому світу вже вкладають значні державні ресурси для підтримки такої «трансформації», все ще потрібно розібратися з міськими соціальними особливостями, які пронизують міста впродовж століть.

Далекоглядна дослідницька програма повинна акцентувати увагу на використанні геопросторових даних у створенні сталих і стійких «розумних» систем для «розумних міст», особливо з огляду на те, що ООН вже підкреслила важливість «розумних міст» у рамках своєї програми на 2030 рік, яка містить «Ціль сталого розвитку». Загалом для цього необхідно вирішення проблем, пов'язаних із зміною клімату, природними катастрофами та управлінням ресурсами, які є основними елементами, але самі по собі не можуть забезпечити розвиток більш інклюзивних і стійких міст [15].

Незважаючи на широкомасштабні маркетингові кампанії, що рекламують чудові переваги «розумних міст», які вже створюються, вони мають тенденцію приховувати нерівномірний розподіл «розумних» послуг серед мешканців, при цьому багатші чи цінніші райони зазвичай отримують кращі ресурси та інфраструктуру. Міські невідповідності можуть бути запозичені з історичного просторового розташування навіть до впровадження «розумних» систем та рішень для «розумних міст», як ми можемо побачити, оцінюючи наявність лікарень та пожежних служб у багатьох містах [78], що спонукає переглянути тип «розумного міста», яке ми хочемо мати як суспільство.

«Розумні міста», орієнтовані на дані, повинні формуватися з метою: покращення якості життя в містах. Загалом, оскільки такі системи зазвичай покладаються на державне фінансування, вони повинні бути спроектовані так, щоб краще захищати ті місця, де це найбільше потрібно, безпосередньо пропорційно їхній вразливості до надзвичайних ситуацій [79]. Хоча це може здатися очевидним, реальність полягає в тому, що багато «розумних» систем та сервісів вже в основному реалізовані в багатших районах, зокрема через впровадження адаптивних «розумних» світлофорів, «розумних» стоянок, ефективного управління відходами та різнотипових систем. При використанні

геопросторових даних для покращення міських систем соціально-економічні питання повинні враховуватися.

Сприяння безпечнішим і стійкішим містам для всіх вимагає визнання властивих соціально-економічних і просторових особливостей, які існують в урбанізованому середовищі, навіть при навчанні нових поколінь міських планувальників [80]. В кінцевому підсумку, те, що найбільше потрібно, – це ефективніший розподіл інвестованих коштів на створення та підтримку публічних геопросторових баз даних і пов'язаних з ними «розумних» систем та «розумних міст».

Подолання міських просторових особливостей через пріоритетність історично несприятливих районів очікується бути правильним вибором при впровадженні «розумних міст» на основі даних. Прийнявши більш цілісний та інклюзивний підхід, «розумні міста» можуть працювати над зменшенням непропорційно негативних наслідків інтенсивної урбанізації та зміни клімату, сприяючи стійкості та сталому розвитку для всіх.

3.4 Висновок до третього розділу

В третьому розділі кваліфікаційної роботи проаналізовано підходи до формування «розумних» систем та «розумних міст» на основі даних. Описано перспективи «розумних міст», як орієнтованих на дані складних систем. Розглянуто соціальні впливи підвищення показників стійкості «розумних» систем та сталий майбутній розвиток.

РОЗДІЛ 4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Оцінка стійкості роботи проєкту економіки до впливу вражаючих факторів ядерної зброї

При інтеграції геопросторових даних для підвищення показників стійкості «розумних» систем, оцінка стійкості роботи проєкту економіки до впливу вражаючих факторів ядерної зброї набуває критичного значення. «Розумні» системи, що використовують геопросторові дані, наприклад, для оптимізації логістики, управління ресурсами чи моніторингу інфраструктури, залежать від стабільного функціонування економіки як основи для підтримки, відновлення та розвитку. Потенційний вплив ядерної зброї може спричинити масштабні руйнування, повний колапс енергетичних систем, транспортних мереж, комунікаційних каналів та виробничих потужностей. Без глибокого розуміння того, як економічні зв'язки та сектори реагують на такі екстремальні події, інтеграція геопросторових даних для підвищення стійкості стане неефективною, оскільки самі системи спиратимуться на зруйнований або нефункціональний економічний базис.

Детальне моделювання впливу ядерної зброї на економіку, включаючи сценарії ураження ключових виробничих об'єктів, транспортних вузлів та енергетичної інфраструктури, дає змогу виявити найбільш вразливі точки. Ці дані, у свою чергу, можуть бути інтегровані з геопросторовими інформаційними системами, щоб розробити стратегії підвищення стійкості «розумних» систем. Наприклад, якщо моделювання показує високий ризик руйнування певних економічних секторів у певних географічних областях, геопросторові дані можуть бути використані для планування децентралізації критично важливих об'єктів, створення резервних маршрутів постачання або розробки адаптивних алгоритмів управління ресурсами, що зможуть функціонувати навіть за умови значних економічних потрясінь.

Оцінка здатності економічних об'єктів витримувати руйнівні фактори ядерної зброї є ключовою для гарантування безперервності роботи життєво важливих інфраструктур під час надзвичайних ситуацій. Методика оцінки такої стійкості передбачає систематичний підхід до аналізу вразливих місць та розробки заходів для їх зміцнення.

На першому етапі необхідно виявити критично важливі елементи інфраструктури, що забезпечують функціонування економіки та життєдіяльність населення. До них належать енергетичні системи, транспортні мережі, засоби зв'язку та системи водопостачання. Для кожного з цих елементів визначаються потенційні загрози, пов'язані з впливом ударної хвилі, теплового випромінювання, проникаючої радіації та електромагнітного імпульсу.

Далі проводиться аналіз вразливості об'єктів до згаданих факторів. Цей процес потребує оцінки міцності будівельних конструкцій, наявності захисних споруд, резервних джерел енергії та здатності до швидкого відновлення функціонування після ураження. Особливу увагу приділяють системам управління та зв'язку, оскільки їхній вихід з ладу може призвести до дезорганізації керівництва в умовах кризи.

На основі отриманих даних розробляються конкретні заходи для підвищення стійкості об'єктів. Це можуть бути інженерно-технічні рішення, як от зміцнення конструкцій, встановлення захисних екранів, впровадження резервних систем електроживлення та зв'язку. Не менш важливим є організаційне забезпечення, що включає розробку планів реагування на надзвичайні ситуації, навчання персоналу та проведення регулярних тренувань.

Крім того, методика передбачає оцінку ефективності впроваджених заходів. Це досягається шляхом моделювання можливих сценаріїв ураження та аналізу їхнього впливу на функціонування об'єктів. Такий підхід дає змогу виявити слабкі ланки та внести необхідні корективи у плани забезпечення стійкості [81].

У сучасному світі загроза застосування ядерної зброї виходить далеко за рамки суто військових аспектів, зачіпаючи фундаментальні соціальні та економічні основи. Гуманітарні наслідки таких подій надзвичайно значущі: це не лише величезна кількість жертв та постраждалих від радіації, а й масові порушення соціальної структури та розлади в управлінні людськими ресурсами [82].

На економічному рівні використання ядерної зброї призводить до колосальних втрат продуктивності. Руйнування інфраструктури та значні зміни у виробничих процесах зумовлюють серйозні економічні збитки. Крім того, можливий негативний вплив на інвестиційний клімат та загальна нестабільність можуть спричинити глибокий економічний спад.

Варто також враховувати глобальні наслідки застосування ядерної зброї. Зокрема, виникнення «ядерної зими» внаслідок масштабних пожеж та викидів вуглекислого газу може призвести до глобального похолодання та суттєвих кліматичних змін. Крім того, можливі торгові та економічні обмеження, пов'язані із заходами з нерозповсюдження ядерної зброї та реакцією на її використання. Застосування ядерної зброї несе серйозні загрози для економічної структури, включаючи фізичне знищення інфраструктури, втрату критичної інформації, екологічні проблеми, підрив фінансової стабільності, порушення ланцюгів постачання та значний психологічний тиск. Тому вкрай необхідні заходи безпеки для запобігання та пом'якшення можливих наслідків.

Застосування ядерної зброї може призвести до руйнування фізичної інфраструктури, втрати критично важливої інформації та джерел ресурсів, серйозних екологічних проблем, руйнування фінансової стабільності, порушення логістичних ланцюгів та значного негативного психологічного впливу. Використання ядерної зброї має потенційно руйнівні наслідки для суспільства та економіки, тому життєво важливо вживати ефективні заходи безпеки для запобігання та пом'якшення цих наслідків. Використання ядерної зброї спричиняє низку серйозних наслідків, і фізичне руйнування є однією з ключових складових цього впливу. Оцінка ступеня фізичного зруйнування

враховує кількість, потужність ядерних вибухів та точність їхнього розташування [81].

Вибухи спричиняють руйнування не лише будівель та інфраструктури, а й природних ресурсів. Це може призвести до величезних людських втрат, серйозних екологічних катастроф та значних змін в екосистемах. Очікуються також масштабні пожежі, викликані тепловим випромінюванням вибухів, і ризик радіоактивного забруднення, яке може поширитися на великі відстані від епіцентру. Напрямок вітру та інші атмосферні умови відіграватимуть ключову роль у розповсюдженні забруднюючих речовин.

Вибухи здатні зруйнувати інформаційні системи, які мають колосальне значення для економіки та функціонування суспільства. Втрата даних може стосуватися не тільки фізичних архівів, а й електронних систем зберігання, включаючи банківські системи, державні реєстри та промислові бази даних [82].

Критично важливі ресурси, наприклад, енергетичні вузли, системи водопостачання та транспортна інфраструктура, можуть бути серйозно пошкоджені. Це призведе до різкого зниження рівня життя населення та порушення функціонування економічних систем, спричиняючи проблеми з логістикою, забезпеченням продуктами харчування, медикаментами, а також з транспортом та комунікаціями.

Оцінка втрат та відновлення інфраструктури й інформаційних ресурсів є складним завданням, оскільки воно тісно пов'язане з іншими аспектами впливу ядерної зброї.

Уражені території можуть стати непридатними для життя на тривалий період через радіоактивне забруднення ґрунту, водойм та атмосфери. Це матиме серйозні наслідки для біорізноманіття, здоров'я людей і тварин, а також для сільськогосподарської діяльності. Зміни в екосистемах можуть вплинути на різноманітність видів та доступ до водопостачання. Підвищення рівня радіоактивності в ґрунті може призвести до отруєння рослин, що, своєю

чергою, вплине на тваринний світ і, врешті-решт, на людей через харчовий ланцюг.

Екологічні аспекти, пов'язані з використанням ядерної зброї, справляють значний вплив на довкілля, створюючи величезні виклики для екосистем та здоров'я людей. Однією з найпоширеніших екологічних загроз є ядерне забруднення, яке виникає внаслідок вибуху ядерного пристрою.

Фізичні руйнування об'єктів під час вибухів спричиняють вивільнення значної кількості радіоактивних матеріалів у навколишнє середовище. Це може призвести до радіоактивного забруднення ґрунту, водойм та атмосфери. Такі території стають небезпечними для життя і можуть залишатися такими впродовж тривалого часу, що ускладнює або навіть унеможлиблює відновлення екосистем [81].

Крім того, втрата інформації та критичних ресурсів становитиме суттєвий виклик. Ядерні атаки можуть призвести до знищення даних, комунікаційних мереж та цілісності інформаційних систем. Окрім цього, втрата ключових джерел, як от енергія, вода та інші ресурси, обмежить здатність країни функціонувати на повну потужність.

Екологічні проблеми також будуть важливим аспектом. Радіоактивне забруднення внаслідок ядерних вибухів може призвести до забруднення ґрунту, водних ресурсів та атмосфери. Це вплине на екосистеми, сільське господарство та загальне здоров'я населення, що вимагатиме значних зусиль для відновлення та ліквідації наслідків.

Порушення ланцюгів постачання виникне через знищення та перебої в транспортних і комунікаційних мережах, що призведе до труднощів у забезпеченні товарами та послугами. Це вплине на роботу підприємств, споживчий попит та загальну стабільність економічного середовища.

Психологічні аспекти включають страх, стрес та тривогу серед населення, що може вплинути на його здоров'я та працездатність. Прагнення влади забезпечити безпеку та підтримати психологічний стан громадян стане невід'ємною частиною ефективної стратегії відновлення [81].

Заходи безпеки включатимуть впровадження систем протидії ядерній загрозі, розробку та вдосконалення планів реагування на подібні ситуації, а також сприяння міжнародному співробітництву у сфері ядерної безпеки.

Відбудова та модернізація інфраструктури, зокрема транспортних мереж, енергетичних систем та комунікацій, є фундаментальною складовою економічного відновлення. Впровадження таких проєктів сприяє зростанню виробничих потужностей та підтримує економічне зростання.

Підтримка громадян через соціальні програми, медичну та психологічну допомогу є важливим аспектом відновлення громади. Заходи, спрямовані на створення нових робочих місць та надання фінансової підтримки, допомагають відновити стабільність у соціальній та економічній сферах. Інвестиції в наукові дослідження та технологічний розвиток сприяють розробці інноваційних рішень для подолання наслідків ядерної атаки. Розвиток нових технологій може сприяти відновленню та підвищенню економічної продуктивності.

Спільні дії та обмін ресурсами між країнами допомагають у вирішенні глобальних викликів, пов'язаних із наслідками ядерної загрози. Міжнародні партнерства сприяють обміну передовим досвідом, технологіями та ресурсами для відновлення постраждалих регіонів.

Відновлення економіки після ядерної загрози можна використати як нагоду для переходу на сталі та екологічно чисті технології. Застосування принципів зеленої економіки сприяє сталому розвитку та зменшенню негативного впливу на довкілля [83].

Підсумовуючи, оцінка стійкості економічного об'єкта до впливу ядерної зброї є критично важливим завданням, що потребує всебічного аналізу та впровадження ефективних стратегій управління ризиками. Розглядаючи такі аспекти, як фізичні руйнування, втрата інформації, екологічні проблеми, фінансовий крах, порушення логістичних ланцюгів та психологічні наслідки, стає очевидним: протидія ядерній загрозі вимагає не лише відновлення матеріальних ресурсів, а й здатності суспільства та економіки адаптуватися та розвиватися в екстремальних умовах [83].

4.2 Контроль за станом охорони праці

Кваліфікаційна робота освітнього рівня «Бакалавр» присвячена дослідженню процесів інтеграції геопросторових даних для підвищення показників стійкості «розумних» систем. Оскільки проєкти «розумного міста» вимагають інтенсивної інтеграції інформаційних та комунікаційних технологій у різноманітну міську інфраструктуру, контроль за станом охорони праці стає надзвичайно актуальним. Адже контроль за станом охорони праці є невіддільною складовою забезпечення стійкості «розумних» систем, що спираються на інтеграцію геопросторових даних. Хоча такі системи значною мірою автоматизовані, їхня розробка, впровадження, обслуговування та моніторинг залишаються у сфері відповідальності людського персоналу. Оператори, розробники та інженери, які працюють з комплексними геопросторовими даними та керують критично важливою інфраструктурою, піддаються значним психоемоційним та фізичним навантаженням. Недотримання вимог охорони праці може призвести до помилок, збоїв у системі, а також травматизму, що, своєю чергою, знижує надійність та стійкість усієї «розумної» системи, яка призначена для ефективного функціонування навіть у складних умовах.

Нагляд за охороною праці – це ключовий інструмент для гарантування безпечних умов праці та запобігання нещасним випадкам. Його суть полягає в тому, що відповідальний суб'єкт здійснює моніторинг і перевірку того, як об'єкт контролю дотримується встановлених вимог, виконує покладені на нього обов'язки та реалізує свої функції.

Підвищена увага до проблеми здійснення контролю за охороною праці пояснюється тривожною тенденцією: попри вжиті заходи, рівень виробничого травматизму та кількість смертельних випадків зростає. Однією з головних причин цієї ситуації є недосконалість існуючих механізмів нагляду за дотриманням норм та вимог законодавства з охорони праці.

Здійснення контролю в цій сфері покладається як на роботодавців, так і на державні органи. Роботодавці відповідають за внутрішній контроль, що спрямований на постійне забезпечення безпечних умов праці всередині підприємства. Водночас державні органи здійснюють зовнішній контроль у межах нагляду за дотриманням нормативних актів з охорони праці на загальнодержавному рівні.

Основною метою контролю за охороною праці є не лише виявлення та усунення порушень, а й запобігання їх виникненню шляхом впровадження превентивних заходів.

Контроль за охороною праці є одним із найдієвіших засобів забезпечення безпечних умов на робочому місці, однак для досягнення бажаного результату він має бути дійсно ефективним. Це вимагає комплексного підходу, зокрема:

- Удосконалення чинного законодавства та нормативної бази, що регламентує вимоги до охорони праці.
- Створення дієвого державного механізму нагляду, який даватиме можливість оперативно реагувати на порушення та запобігати їм.
- Підвищення рівня обізнаності та відповідальності як роботодавців, так і працівників щодо дотримання правил безпеки та формування культури охорони праці.

На підприємствах застосовуються декілька ключових форм контролю за станом охорони праці [84], зокрема:

- Треступеневий контроль регламентований нормативними документами, наприклад, розділом 3 Галузевої Угоди між Міністерством регіонального розвитку та будівництва України та Профспілкою працівників і промисловості будівельних матеріалів України.
- Оперативний контроль здійснюється керівниками робіт та іншими уповноваженими особами підприємства (наприклад, спеціалістами служби охорони праці).
- Контроль вищою організацією, що може відповідати четвертому чи п'ятому ступеню перевірки.

- Контроль місцевими органами влади та органами самоврядування.

- Відомчий контроль за охороною праці – це форма нагляду, що здійснюється роботодавцем з метою забезпечення безпечних умов праці на своєму підприємстві. Згідно зі статтею 13 Закону України «Про охорону праці», роботодавець зобов'язаний створювати належні умови праці на кожному робочому місці та у структурному підрозділі відповідно до нормативних актів, а також гарантувати дотримання прав працівників, визначених законодавством про охорону праці. Для виконання цих зобов'язань роботодавець має впровадити систему управління охороною праці, забезпечити проведення інструктажів з охорони праці для персоналу та здійснювати регулярні перевірки дотримання цих вимог на підприємстві. Відомчий контроль є важливим механізмом гарантування безпеки праці, оскільки дає змогу виявляти та виправляти порушення законодавства і норм охорони праці, а також сприяє підвищенню рівня культури безпеки серед працівників. Контроль за станом охорони праці поділяють на:

- Громадський контроль.
- Контроль органами державного нагляду.

У межах окремого підприємства, адміністративний контроль за станом охорони праці здійснюють:

- Керівник підприємства.
- Головні спеціалісти.
- Інші особи, уповноважені наказом роботодавця [85].

Відомчий контроль за охороною праці – це форма нагляду, що виконується управлінськими структурами підприємства, установи, організації з метою гарантування безпеки праці на підпорядкованих їм об'єктах.

Згідно з Порядком проведення планових виїзних перевірок підприємств, установ, організацій з питань охорони праці, затвердженим постановою Кабінету Міністрів України від 1 червня 2013 року № 440, відомчий контроль за охороною праці здійснюють:

- Служби охорони праці вищестоящих організацій.

- Галузеві спеціалісти вищестоящих організацій.

За результатами перевірок відомчого контролю складається акт, у якому фіксуються виявлені порушення вимог законодавства про охорону праці та заходи, необхідні для їх усунення.

Мета відомчого контролю за охороною праці полягає у:

- Забезпеченні виконання вимог законодавства про охорону праці на підпорядкованих підприємствах, установах, організаціях.
- Усуненні виявлених порушень вимог законодавства про охорону праці.
- Підвищенні рівня культури безпеки праці у працівників.

Під час здійснення відомчого контролю перевіряються:

- Виконання планів роботи з охорони праці на підприємстві.
- Використання виділених коштів на охорону праці.
- Розробка проєктної документації.
- Виконання обов'язків з охорони праці службовими особами.
- Інші питання, що стосуються охорони праці.

Для забезпечення ефективності відомчий контроль повинен бути регулярним і систематичним.

Оперативний контроль за охороною праці – це форма нагляду, що здійснюється на підприємствах, в установах, організаціях з метою своєчасного виявлення та виправлення порушень законодавчих вимог щодо охорони праці.

Головною метою оперативного контролю є:

- Поліпшення організації роботи у сфері охорони праці.
- Посилення уваги до безпеки праці з боку керівника підприємства, головних спеціалістів, керівників структурних підрозділів та профспілкових організацій.
- Підвищення особистої відповідальності за вирішення поточних та перспективних питань охорони праці на підприємстві.

Кожен рівень контролю виконується конкретними особами відповідно до чинного наказу про запровадження оперативного контролю за станом охорони праці в установах, закладах та на підприємствах системи МОЗ України:

– Перший рівень оперативного контролю проводить керівник структурного підрозділу (майстер, бригадир) спільно з громадським інспектором щоденно перед початком зміни та під час роботи. Виявлені порушення фіксуються у спеціальному журналі та доповідаються вищому керівництву.

– Другий рівень оперативного контролю здійснюють головні спеціалісти, начальники дільниць разом з представником профспілки раз на 7-10 днів. Виявлені недоліки записуються до журналу другого рівня.

– Оперативний контроль третього рівня один раз на місяць проводить комісія, до складу якої входять керівник підприємства, голова профспілок, інженер з охорони праці, головні спеціалісти. Результати перевірки стану охорони праці третього рівня оформляються протоколом.

– Оперативний контроль четвертого рівня проводиться на нарадах, де ухвалюються рішення щодо усунення виявлених недоліків з метою запобігання виробничому травматизму та професійним захворюванням [84].

Таким чином, ефективний контроль за охороною праці є ключовим для підтримки високих показників стійкості «розумних» систем, що інтегрують геопросторові дані. Це потребує не лише дотримання ергономічних вимог до робочих місць, а й моніторингу психоемоційного стану працівників, їхню належну підготовку та своєчасне виявлення потенційних загроз. Лише тоді, коли персонал працює в безпечних і комфортних умовах, він може повністю зосередитися на забезпеченні точності, надійності та безперебійності функціонування геопросторових систем, що, зрештою, безпосередньо впливає на загальну стійкість «розумних міст» до різноманітних викликів.

4.3 Висновок до четвертого розділу

В четвертому розділі кваліфікаційної роботи описана оцінка стійкості роботи проєкту економіки до впливу вражаючих факторів ядерної зброї. Окремо розглянуто контроль за станом охорони праці.

ВИСНОВКИ

Кваліфікаційна робота комплексно досліджує роль геопросторових даних у підвищенні стійкості «розумних» систем, аналізуючи концепції «розумних міст», джерела та методи обробки геопросторових даних, а також оцінюючи підходи до їх інтеграції та перспективи подальших досліджень для забезпечення сталого розвитку міських середовищ.

В першому розділі кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Бакалавр»:

- Описана концепція «розумних міст».
- Проаналізовано «Розумні міста» з позиції сталого та стійкого розвитку.
- Визначено роль геопросторових даних для стійкості та сталого розвитку «розумних міст».

В другому розділі кваліфікаційної роботи:

- Описано джерела та доступність геопросторових даних.
- Розглянуто геопросторову обробку міських даних для покращення показників стійкості «розумних» систем.

– Подано аналіз геопросторових наборів даних та управління геореференційованими даними.

- Досліджено інтеграцію геопросторових даних для підвищення показників стійкості «розумних» систем.

В третьому розділі кваліфікаційної роботи:

- Проаналізовано підходи до формування «розумних» систем та «розумних міст» на основі даних.

– Описано перспективи «розумних міст», як орієнтованих на дані складних систем.

- Розглянуто соціальні впливи підвищення показників стійкості «розумних» систем та сталий майбутній розвиток.

У розділі «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці» описана оцінка стійкості роботи проєкту економіки до впливу вражаючих факторів ядерної зброї. Окремо розглянуто контроль за станом охорони праці.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ

- 1 Ahad, M.A.; Paiva, S.; Tripathi, G.; Feroz, N. Enabling technologies and sustainable smart cities. *Sustain. Cities Soc.* 2020, 61, 102301.
- 2 Duda, O., Matsiuk, O., Kunanets, N., Pasichnyk, V., & Veretennikova, N. (2020). Selection of effective methods of big data analytical processing in information systems of smart cities. *CEUR Workshop Proceedings*, 2643, 68–78.
- 3 Branny, A.; Møller, M.S.; Korpilo, S.; McPhearson, T.; Gulrud, N.; Olafsson, A.S.; Raymond, C.M.; Andersson, E. Smarter greener cities through a social-ecological-technological systems approach. *Curr. Opin. Environ. Sustain.* 2022, 55, 101168.
- 4 Almalki, F.A.; Alsamhi, S.H.; Sahal, R.; Hassan, J.; Hawbani, A.; Rajput, N.; Saif, A.; Morgan, J.; Breslin, J. Green IoT for eco-friendly and sustainable smart cities: Future directions and opportunities. *Mob. Netw. Appl.* 2023, 28, 178–202.
- 5 Duda, O., Kunanets, N., Matsiuk, O., & Pasichnyk, V. (2018). Information-communication technologies of IoT in the “smart cities” projects. *Proceedings of the 11th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications*.
- 6 Hui, C.X.; Dan, G.; Alamri, S.; Toghraie, D. Greening smart cities: An investigation of the integration of urban natural resources and smart city technologies for promoting environmental sustainability. *Sustain. Cities Soc.* 2023, 99, 104985.
- 7 Paes, V.d.C.; Pessoa, C.H.M.; Pagliusi, R.P.; Barbosa, C.E.; Argôlo, M.; de Lima, Y.O.; Salazar, H.; Lyra, A.; de Souza, J.M. Analyzing the Challenges for Future Smart and Sustainable Cities. *Sustainability* 2023, 15, 7996.
- 8 Thellufsen, J.Z.; Lund, H.; Sorknæs, P.; Østergaard, P.; Chang, M.; Drysdale, D.; Nielsen, S.; Djørup, S.; Sperling, K. Smart energy cities in a 100% renewable energy context. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2020, 129, 109922.
- 9 How Do We Design a Resilient Grid Architecture?
<https://renewableplus.blogspot.com/2020/07/how-do-we-design-resilient-grid.html>.

- 10 Colmenares-Quintero, R.F.; Maestre-Gongora, G.; Valderrama-Riveros, O.C.; Baquero-Almazo, M.; Stansfield, K.E. A Data-Driven Architecture for Smart Renewable Energy Microgrids in Non-Interconnected Zones: A Colombian Case Study. *Energies* 2023, 16, 7900.
- 11 Elassy, M., Al-Hattab, M., Takturi, M., & Badawi, S. (2024). Intelligent transportation systems for sustainable smart cities. *Transportation Engineering*, 100252.
- 12 Bibri, S.E. Compact urbanism and the synergic potential of its integration with data-driven smart urbanism : An extensive interdisciplinary literature review. *Land Use Policy* 2020, 97, 104703.
- 13 Sun, J.; Zhou, T. Urban shrinkage and eco-efficiency: The mediating effects of industry, innovation and land-use. *Environ. Impact Assess. Rev.* 2023, 98, 106921.
- 14 Marchesani, F.; Masciarelli, F.; Bikfalvi, A. Smart city as a hub for talent and innovative companies: Exploring the (dis)advantages of digital technology implementation in cities. *Technol. Forecast. Soc. Change* 2023, 193, 122636.
- 15 Shamsuzzoha, A.; Nieminen, J.; Piya, S.; Rutledge, K. Smart city for sustainable environment: A comparison of participatory strategies from Helsinki, Singapore and London. *Cities* 2021, 114, 103194.
- 16 Bouzguenda, I.; Alalouch, C.; Fava, N. Towards smart sustainable cities: A review of the role digital citizen participation could play in advancing social sustainability. *Sustain. Cities Soc.* 2019, 50, 101627.
- 17 Costa, D. G., Bittencourt, J. C. N., Oliveira, F., Peixoto, J. P. J., & Jesus, T. C. (2024). Achieving Sustainable Smart Cities through Geospatial Data-Driven Approaches. *Sustainability*, 16 (2), 640.
- 18 Jing, C.; Du, M.; Li, S.; Liu, S. Geospatial dashboards for monitoring smart city performance. *Sustainability* 2019, 11, 5648.
- 19 He, P.; Almasifar, N.; Mehbodniya, A.; Javaheri, D.; Webber, J.L. Towards green smart cities using Internet of Things and optimization algorithms: A systematic and bibliometric review. *Sustain. Comput. Inform. Syst.* 2022, 36, 100822.

20 Desimoni, F.; Ilarri, S.; Po, L.; Rollo, F.; Trillo-Lado, R. Semantic Traffic Sensor Data: The TRAFair Experience. *Appl. Sci.* 2020, 10, 5882.

21 Coetzee, S.; Ivánová, I.; Mitášová, H.; Brovelli, M.A. Open geospatial software and data: A review of the current state and a perspective into the future. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 2020, 9, 90.

22 Орлов М.В., Грибовський О.М., Жовнір Ю.І., Дуда О.М., Від концепції до реальності: роль методології devops в екосистемах iot. Науковий журнал «Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки». Том 35 (74) № 6 2024. Частина 2. Видавничий дім «Гельветика». 2024. с. 163-170. ISSN 2663-5941 (Print), ISSN 2663-595X (Online) DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2024.6.2/22>.

23 Nguyen, H.T.; Marques, P.; Benneworth, P. Living Labs: Challenging and Changing the Smart City Power Relations? *Technol. Forecast. Soc. Change* 2022, 183, 121866.

24 Peixoto, J.P.J.; Costa, D.G.; da Franca Rocha, W.d.J.S.; Portugal, P.; Vasques, F. On the Positioning of Emergencies Detection Units Based on Geospatial Data of Urban Response Centres. *Sustain. Cities Soc.* 2023, 97, 104713.

25 Boeing, G. Street network models and indicators for every urban area in the world. *Geogr. Anal.* 2021, 54, 519–535.

26 Vargas-Munoz, J.E.; Srivastava, S.; Tuia, D.; Falcao, A.X. OpenStreetMap: Challenges and Opportunities in Machine Learning and Remote Sensing. *IEEE Geosci. Remote Sens. Mag.* 2021, 9, 184–199.

27 Cheng, Q.; Zhu, Y.; Zeng, H.; Song, J.; Wang, S.; Zhang, J.; Liu, Q.; Qi, Y. A method for identifying geospatial data sharing websites by combining multi-source semantic information and machine learning. *Appl. Sci.* 2021, 11, 8705.

28 Publications Office of the European Union. European Data. 2023. Available online: <https://data.europa.eu/en>.

29 Brugali, D. Model-Driven Software Engineering in Robotics: Models Are Designed to Use the Relevant Things, Thereby Reducing the Complexity and Cost in the Field of Robotics. *IEEE Robot. Autom. Mag.* 2015, 22, 155–166.

- 30 Wang, Z.; Qu, H.; Wu, Z.; Yang, H.; Du, Q. Formal representation of 3D structural geological models. *Comput. Geosci.* 2016, 90, 10–23.
- 31 Awange, J.; Kiema, J. Fundamentals of GIS. In *Environmental Geoinformatics*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2018.
- 32 Peixoto, J.P.J.; Costa, D.G.; de J.S. da Franca Rocha, W.; Portugal, P.; Vasques, F. CityZones: A geospatial multi-tier software tool to compute urban risk zones. *SoftwareX* 2023, 23, 101409.
- 33 Podobnikar, T. Georeferencing and quality assessment of Josephine survey maps for the mountainous region in the Triglav National Park. *Acta Geod. Geophys. Hung.* 2009, 44, 49–66.
- 34 Жовнір Ю. І., Грибовський О. М., Орлов М. В., Дуда О. М., Кунанець Н. Е. Методологія розроблення та супроводу інформаційних систем, базованих на технології інтернету речей Управління розвитком складних систем 2024.- Вип.60, С. 56-71. <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2024.60.56-70>.
- 35 Szarek-Iwaniuk, P.; Senetra, A. Access to ICT in Poland and the co-creation of Urban space in the process of modern social participation in a smart city—A case study. *Sustainability* 2020, 12, 2136.
- 36 Kabisch, N.; Selsam, P.; Kirsten, T.; Lausch, A.; Bumberger, J. A multi-sensor and multi-temporal remote sensing approach to detect land cover change dynamics in heterogeneous urban landscapes. *Ecol. Indic.* 2019, 99, 273–282.
- 37 Wang, A.; Lin, W.; Liu, B.; Wang, H.; Xu, H. Does Smart City Construction Improve the Green Utilization Efficiency of Urban Land? *Land* 2021, 10, 657.
- 38 Rasti, B.; Chang, Y.; Dalsasso, E.; Denis, L.; Ghamisi, P. Image Restoration for Remote Sensing: Overview and toolbox. *IEEE Geosci. Remote Sens. Mag.* 2021, 10, 201–230.
- 39 Chastain, R.; Housman, I.W.; Goldstein, J.; Finco, M.; Tenneson, K. Empirical cross sensor comparison of Sentinel-2A and 2B MSI, Landsat-8 OLI, and Landsat-7 ETM+ top of atmosphere spectral characteristics over the conterminous United States. *Remote Sens. Environ.* 2019, 221, 274–285.

40 Qi, L.; Li, J.; Wang, Y.; Gao, X. Urban Observation: Integration of Remote Sensing and Social Media Data. *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.* 2019, 12, 4252–4264.

41 Дуда, О., Мацюк, О., Пасічник, В. В., & Кунанець, Н. Е. (2018). Концепт «розумне місто» та інформаційні технології BigData.

42 Жовнір Ю. І., Орлов М. В., Дуда О. М., Грибовський О. М. Інструменти методології DevOps в інформаційних системах на основі технологій IoT Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво, 2024, Вип. 57.-С.128-139. <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-57-15>.

43 Орлов М. В., Жовнір Ю.І., Грибовський О.М., Дуда О.М. Від концепції до реальності: роль DevOps в екосистемах IoT. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки, 2024, Том 35 (74) № 6, Ч.2.- С.163-171.

44 Alam, T. Cloud-Based IoT Applications and Their Roles in Smart Cities. *Smart Cities* 2021, 40, 64.

45 Petrolo, R.; Loscrì, V.; Mitton, N. Towards a smart city based on cloud of things, a survey on the smart city vision and paradigms. *Trans. Emerg. Telecommun. Technol.* 2017, 28, 2931.

46 Stanko, A., Mykytyshyn, A., Totosko, O., Koroliuk, R., & Duda, O. (2024). Artificial Intelligence of Things (AIoT): Integration challenges and security issues. *CEUR Workshop Proceedings*, 3842, 92–105.

47 Goel, R.; Yadav, C.S.; Vishnoi, S. Self-sustainable smart cities: Socio-spatial society using participative bottom-up and cognitive top-down approach. *Cities* 2021, 118, 103370.

48 Rumora, L.; Miler, M.; Medak, D. Contemporary comparative assessment of atmospheric correction influence on radiometric indices between Sentinel-2A and Landsat 8 imagery. *Geocarto Int.* 2019, 36, 13–27.

49 Duda, O., Kochan, V., Kunanets, N., Matsiuk, O., Pasichnyk, V., & Sachenko, A. (2019). Data processing in IoT for smart city systems.

50 Ruiz-Zafra, A.; Pigueiras, J.; Millán-Alcaide, A.; Larios, V.M.; Maciel, R. A digital object-based infrastructure for smart governance of heterogeneous internet of things systems. In Proceedings of the 2020 IEEE International Smart Cities Conference (ISC2), Virtual, 28 September–1 October 2020; pp. 1–8.

51 Duda, O., Kunanets, N., Matsiuk, O., & Pasichnyk, V. (2022). Cloud-based IT infrastructure for “smart city” projects. In D. Bădică, V. Kołodziej, M. Ganzha, & M. Paprzycki (Eds.), *Dependable IoT for human and industry* (pp. 389–409). Springer.

52 Costa, D.G.; Damasceno, A.; Silva, I. CitySpeed: A Crowdsensing-Based Integrated Platform for General-Purpose Monitoring of Vehicular Speeds in Smart Cities. *Smart Cities* 2019, 2, 46–65.

53 Aguiar, A.; Rodrigues, J.G.P. SenseMyCity: A Mobile IoT Tool for Researching Intelligent Urban Mobility. In Proceedings of the 2022 14th International Conference on COMmunication Systems & NETworkS (COMSNETS), Bengaluru, India, 4–8 January 2022; pp. 725–733.

54 Darwish, S.; Bagi, N.; Madbouly, M. Clustering big data based on distributed fuzzy k-medoids: An application to geospatial informatics. *IEEE Access* 2022, 10, 20926–20936.

55 Kunanets, N., Zhovnir, Y., Burov, Y., Pasichnyk, V., & Duda, O. (2025). Designing the structure and architecture of situation-aware security information systems for residential complexes. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*, 1(9(133)), 6–23.

56 ARCGisDesktop. An overview of geodatabase design. <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/manage-data/geodatabases/an-overview-of-geodatabase-design.htm>.

57 Mavromatis, I.; Stanoev, A.; Carnelli, P.; Jin, Y.; Sooriyabandara, M.; Khan, A. A Dataset of Images of Public Streetlights with Operational Monitoring Using Computer Vision Techniques. *Data Brief* 2022, 45, 108658.

58 Iskandaryan, D.; Ramos, F.; Trilles, S. Reconstructing Secondary Data Based on Air Quality, Meteorological and Traffic Data Considering Spatiotemporal Components. *Data Brief* 2023, 47, 108957.

59 Godinho, M.; Machete, R.; Ponte, M.; Falcão, A.; Gonçalves, A.; Bento, R. BIM as a resource in heritage management: An application for the National Palace of Sintra, Portugal. *J. Cult. Herit.* 2020, 43, 153–162.

60 Dias, D.; Rosmaninho, R.; Figueiredo, A.; Almeida, P.; Luís, M.; Rito, P.; Raposo, D.; Sargento, S. A Dataset of ITS-G5 and Cellular Vehicular Connectivity in Urban Environment. *Data Brief* 2023, 52, 109846.

61 Eslamirad, N.; De Luca, F.; Lylykangas, K.S.; Ben Yahia, S.; Rasoulinezhad, M. Geoprocess of Geospatial Urban Data in Tallinn, Estonia. *Data Brief* 2023, 48, 109172.

62 Heikinheimo, V.; Tiitu, M.; Viinikka, A. Data on Different Types of Green Spaces and Their Accessibility in the Seven Largest Urban Regions in Finland. *Data Brief* 2023, 50, 109458.

63 Consoli, S.; Alberti, V.; Cocco, C.; Panella, F.; Montalto, V. Cultural Gems Linked Open Data: Mapping Culture and Intangible Heritage in European Cities. *Data Brief* 2023, 49, 109375.

64 Honarvar, A.R.; Sami, A. Multi-Source Dataset for Urban Computing in a Smart City. *Data Brief* 2019, 22, 222–226.

65 Kurniawan, R.; Nasution, B.I.; Agustina, N.; Yuniarto, B. Revisiting Social Vulnerability Analysis in Indonesia Data. *Data Brief* 2022, 40, 107743.

66 Palka, O., Dmytrotsa, L., Duda, O., Kunanets, N., & Pasichnyk, V. (2024). Information and technological tools for analysis and visualization of open data in smart cities. *CEUR Workshop Proceedings*, 3742, 1–12.

67 Duda, O., Mykytyshyn, A., Mytnyk, M., & Stanko, A. (2023). Information technology sets formation and TNTU Smart Campus services network support. *CEUR Workshop Proceedings*, 3628, 661–671.

68 Kirimtat, A.; Krejcar, O.; Kertész, A.; Tasgetiren, M. Future trends and current state of smart city concepts: A survey. *IEEE Access* 2020, 8, 86448–86467.

69 Culita, J.; Caramihai, S.; Dumitrache, I.; Moisescu, M.; Sacala, I. An hybrid approach for urban traffic prediction and control in smart cities. *Sensors* 2020, 20, 7209.

70 Дуда, О., & Станько, А. (2023). Архітектура мережевої платформи моніторингу об'єктів у кіберфізичних системах «розумних міст». Вісник Хмельницького національного університету. Серія: «Технічні науки», №4, 10-19. ISSN 2307-5732. DOI 10.31891/2307-5732.

71 Орлов М. В., Дуда О. М., Жовнір Ю. І., Грибовський О.М. Інструменти методології DevOps в інформаційних системах на основі технологій ІоТ. Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво, Випуск 57, 2024, с. 128-138. ISSN 2524-0552; eISSN 2524-0560, DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-57-15>.

72 Figueiredo, I.; Esteves, P.; Cabrita, P. Water wise—A digital water solution for smart cities and water management entities. *Procedia Comput. Sci.* 2021, 181, 897–904.

73 Pereira, J.; Batista, T.; Cavalcante, E.; Souza, A.; Lopes, F.; Cacho, N. A platform for integrating heterogeneous data and developing smart city applications. *Future Gener. Comput. Syst.* 2022, 128, 552–566.

74 Mansourihanis, O.; Maghsoodi Tilaki, M.J.; Yousefian, S.; Zaroujtaghi, A. A Computational Geospatial Approach to Assessing Land-Use Compatibility in Urban Planning. *Land* 2023, 12, 2083.

75 Płaczek, B. Prediction-based data reduction with dynamic target node selection in IoT sensor networks. *Future Gener. Comput. Syst.* 2024, 152, 225–238.

76 de Hoop, E.; Moss, T.; Smith, A.; Löffler, E. Knowing and governing smart cities: Four cases of citizen engagement with digital urbanism. *Urban Gov.* 2021, 1, 61–71.

77 Merodio Gómez, P.; Ramírez Santiago, A.; García Seco, G.; Casanova, R.; MacKenzie, D.; Tucker, C. Ethics in the use of geospatial information in the Americas. *Technol. Soc.* 2022, 69, 101964.

78 Wang, J.; Du, F.; Huang, J.; Liu, Y. Access to hospitals: Potential vs. observed. *Cities* 2020, 100, 102671.

79 Peixoto, J.P.J.; Bittencourt, J.C.N.; Jesus, T.C.; Costa, D.G.; Portugal, P.; Vasques, F. Exploiting Geospatial Data of Connectivity and Urban Infrastructure for Efficient Positioning of Emergency Detection Units in Smart Cities. *Comput. Environ. Urban Syst.* 2024, 107, 102054.

80 Cubela, D.; Rossner, A.; Neis, P. Using Problem-Based Learning and Gamification as a Catalyst for Student Engagement in Data-Driven Engineering Education: A Report. *Educ. Sci.* 2023, 13, 1223.

81 9 Практичне заняття. Оцінка стійкості роботи промислового підприємства за надзвичайних ситуацій. StudFiles. URL: <https://studfile.net/preview/9726254/page:50>.

82 Das A., Nandi N., Ray S. Alpha and SSVEP power outperform gamma power in capturing attentional modulation in human EEG. *Cerebral Cortex*. 2023. URL: <https://doi.org/10.1093/cercor/bhad412>.

83 Стручок, Володимир Сергійович. "Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання." (2022).

84 Ткачук, К. Н., Зацарний, В. В., Зеркалов, Д. В., Полукаров, О. І., Коз'яков, В. С., Мітюк, Л. О., ... & Луц, Т. Є. (2014). Основи охорони праці.

85 Левченко, О. Г. (2024). Охорона праці та цивільний захист.