

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

Комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії

(повна назва факультету)

Комп'ютерних наук

(повна назва кафедри)

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавра

(назва освітнього ступеня)

на тему: Аналіз інформаційних технологій розумного міста

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи СН-41

спеціальності 122 "Комп'ютерні науки"

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Гайда М.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Мацюк О.В.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Шимчук Г.В.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Боднарчук І.О.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

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)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня бакалавра  
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 122 "Комп'ютерні науки"  
(шифр і назва спеціальності)

студенту Гайда Максиму Васильовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Аналіз інформаційних технологій розумного міста

Керівник роботи Мацюк Олександр Васильович, к.т.н., доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 16 » березня 2022 року № 4/7-161

2. Термін подання студентом завершеної роботи \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи Науково-технічна література

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. 1. Бездротові платформи розумних міст 1.1. Історія розвитку розумного міста

1.2. Проблеми розумних міст 2. Огляд компонентів і рішень розумних міст з підтримкою IoT

2.1 Розумне управління 2.2 Розумне життя та інфраструктура 2.3 Розумна мобільність і

транспорт 2.4 Розумна економіка 2.5 Розумна промисловість і виробництво 2.6 Розумна

енергія 2.7 Розумне середовище 2.8 Розумна охорона здоров'я 2.9 Нові тенденції та

напрямки досліджень 3. Безпека життєдіяльності, основи хорони праці. Висновки

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

1 Тема дослідження. 2 Проблеми в Європейських містах

3 Класифікація доменів розумного міста з відповідними компонентами та сферами

застосування 4 і 5 Резюме доменів розумного міста: послуги та функції, використовувани

технології IoT та реальні випадки 6,7, 8 Підсумок огляду публвкцій. 9 Висновки

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	Гурик Олег Ярославович, к.т.н., доцент, доцент кафедри МТ		

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Ознайомлення з завданням до кваліфікаційної роботи	24.01.2022	<i>Виконано</i>
2.	Підбір джерел по темі дослідження	04.01.2022-30.01.2022	<i>Виконано</i>
3.	Переклад та опрацювання джерел по темі дослідження	31.01.2022-06.02.2022	<i>Виконано</i>
4.	Виконання дослідження щодо інформаційних та комунікаційних технологіях розумних міст	12.06.2021-13.06.2021	<i>Виконано</i>
5.	Оформлення розділу «Аналіз наукових публікацій»	14.02.2022-06.03.2022	<i>Виконано</i>
6.	Оформлення розділу «Огляд компонентів і рішень розумних міст з підтримкою IoT»	07.03.2022-03.04.2022	<i>Виконано</i>
7.	Виконання завдання до підрозділу «Безпека життєдіяльності»	04.04.2022-17.04.2022	<i>Виконано</i>
8.	Виконання завдання до підрозділу «Основи охорони праці»	18.04.2022-01.05.2022	<i>Виконано</i>
9.	Оформлення кваліфікаційної роботи	02.05.2022-15.05.2022	<i>Виконано</i>
10.	Нормоконтроль	16.05.2022-22.05.2022	<i>Виконано</i>
11.	Перевірка на плагіат		<i>Виконано</i>
12.	Попередній захист кваліфікаційної роботи		<i>Виконано</i>
13.	Захист кваліфікаційної роботи		

Студент

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Гайда М.В..

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Мацюк О.В.

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Аналіз інформаційних технологій розумного міста // Кваліфікаційна робота// Гайда Максим Васильович// Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедра комп'ютерних наук, група СН-41 // Тернопіль, 2022 // сторінки \_\_-, рисунки \_\_\_\_, таблиць \_\_\_\_, джерел \_\_\_\_.

Ключові слова: цифрові міста, інтернет речей, великі дані, хмарні обчислення, інфраструктура, платформи.

За останні роки розумні міста значно розвинулися і значно розширили свій потенціал. Нові досягнення в Інтернеті речей (IoT) проклали шлях до нових можливостей, представляючи набір ключових технологій для розумних міст і дозволяючи створювати та автоматизувати інноваційні послуги та передові додатки для різних зацікавлених сторін міста.

У цій роботі представлено огляд дослідницької літератури про розумні міста з підтримкою IoT з метою висвітлення основних тенденцій та відкритих проблем впровадження технологій IoT для розвитку сталих та ефективних розумних міст.

У кваліфікаційній роботі спочатку представлено огляд ключових технологій, запропонованих у літературі для впровадження фреймворків IoT, а потім огляд основних підходів і рамок «розумного міста»

## ANNOTATION

Analysis of information technology of a smart city// Qualification work // Haida Maksym Vasylovych// Ivan Puliyu Ternopil National Technical University, Faculty of Computer Information System and Software Engineering, Department of Computer Science, group. CH-41 // Ternopil, 2022 // pages \_\_\_\_, figures \_\_\_\_, tables \_\_\_\_, sources \_\_\_\_.

Key words: digital cities, Internet of Things, big data, cloud computing, infrastructure, platforms.

In recent years, smart cities have developed significantly and significantly expanded their potential. New advances in the Internet of Things (IoT) have paved the way for new opportunities by introducing a set of key technologies for smart cities and enabling the creation and automation of innovative services and advanced applications for various city stakeholders.

This paper presents a review of the research literature on smart cities with IoT support in order to highlight the main trends and open issues of the implementation of IoT technologies for the development of sustainable and efficient smart cities.

The qualification paper first presents an overview of key technologies proposed in the literature for the implementation of IoT frameworks, and then an overview of the main approaches and framework of the "smart city"

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ШІ – штучний інтелект.

ПЗ – програмне забезпечення.

ІКТ – інформаційно-комунікаційні технології.

СС – Cloud Computing – хмарні обчислення.

ІоТ – Internet of Things – інтернет речей.

SC – Smart City – розумні міста.

SaaS – Software as a Service – програмне забезпечення як послуга.

POP – Post Office Protocol – протокол, що використовується клієнтом для доступу до повідомлень електронної пошти на сервері.

SMTP – Simple Mail Transfer Protocol – комунікаційний протокол для пересилання електронної пошти.

HTTP – Hyper Text Transfer Protocol – протокол передачі даних.

## Зміст

	Вступ
1	Аналіз наукових публікацій
1.1	Історія розвитку розумного міста
1.2	Проблеми розумних міст
2	Огляд компонентів і рішень розумних міст з підтримкою ІоТ
2.1	Розумне управління
2.2	Розумне життя та інфраструктура
2.3	Розумна мобільність і транспорт
2.4	Розумна економіка
2.5	Розумна промисловість і виробництво
2.6	Розумна енергія
2.7	Розумне середовище
2.8	Розумна охорона здоров'я
2.9	Нові тенденції та напрямки досліджень
3	Безпека життєдіяльності, основи охорони праці
3.1	Класифікація шкідливих та небезпечних виробничих факторів
3.2	Вплив вібрації на людину
	Висновки
	Перелік використаних джерел

## ВСТУП

Внутрішня міграція із сільської місцевості до міст, яка часто спостерігається в розвинених країнах і країнах, що розвиваються, збільшує рівень урбанізації в цих країнах, але водночас викликає багато проблем у місцевих органів влади. Хоча традиційні інформаційні технології намагаються подолати ці проблеми, для громадськості та уряду все ще потрібні більш розумні рішення. Підтримується глобалізоване життя, в якому дослідження в різних галузях пов'язані один з одним і забезпечують взаємну вигоду. Ця загальна перспектива також застосовна до міст, які містять різні сектори від енергетики до транспорту, від освіти до соціалізації. З цієї причини розумні рішення, які мають бути впроваджені, повинні працювати один з одним інтегровано для підвищення процвітання суспільства та координуватися таким чином, щоб не порушувати екологічну гармонію. Тут з'являється концепція розумного міста.

З кіберфізичними системами, які дозволяють перенести всі фізичні компоненти міста в цифровий формат довкілля, міста оцифровуються та модернізуються. Однак це призводить до створення цифрових міст, а не розумних міст. Щоб місто називалося розумним містом, воно має бути обладнане датчиками та камерами для отримання бажаних даних з будь-якої точки та будь-коли, щоб зовнішній світ став віртуальним. Крім того, слід забезпечити обмін інформацією між розумними пристроями, щоб усі системи в середовищі могли працювати інтегровано за допомогою зв'язку.

Нарешті, цифрові дані, аналізуються та обробляються за певними алгоритмами в цифровому середовищі, щоб люди могли жити з максимальними вигодами завдяки штучному інтелекту. З цієї причини Harrison et al. [1] стверджують, що розумне місто має мати три основні атрибути:

- перший – інструментальний, що стосується оснащення міста необхідним обладнанням;



- другий – взаємопов’язаність, тобто все живе і неживе має спілкуватися;
- третій – це розумність, що стосується контролю над усіма даними, отриманими за допомогою обладнання та комунікацій у цифровому середовищі, та наявності механізмів, які можуть самостійно приймати рішення..

# 1 АНАЛІЗ НАУКОВИХ ПУБЛІКАЦІЙ

## 1.1 Історія розвитку розумного міста

За останні п'ять років термін «розумне місто» став дуже популярною концепцією. Розумні міста впроваджують інформаційні та комунікаційні технології для ефективного функціонування міста. В даний час міста будь-яких розмірів включають пропозиції у свої програми сталого розвитку міста. Ця концепція зазвичай неправильно пов'язана лише з енергоефективністю. Незважаючи на те, що енергоефективність є дуже важливим аспектом, вся ідея не зосереджена лише на енергетиці або будівлях, а охоплює всю екосистему людини: вона зосереджена на наданні соціальних благ, економічного зростання та створення нових можливостей.

Ідея розумного міста вперше з'явилася в 1993 році, коли місто Сінгапур представив себе як "розумне місто"[1-3]. Між 2000 та 2010 роками поняття "цифрового міста" виникло і було тісно пов'язане з ідеєю розумного міста, хоча між цими двома концепціями є деякі нюанси.

У [4,5] цифрове місто було визначене як відкрита, складна і адаптована система, заснована на комп'ютерній мережі та міських інформаційних ресурсах, що складають віртуальний цифровий простір міста.

У 2007 році Giffinger та ін. [6] опублікував статтю, в якій представив одне з перших визначень терміну розумного міста, як його розуміють сьогодні. Крім того вже було вказано на неоднозначність цієї концепції.

Розумне місто представляють як місто, яке здійснює свою діяльність у галузях промислової, освітньої, участі громадян та технічної інфраструктури, поєднуючи їх інтелектуально для обслуговування своїх громадян.

Ще одне відоме визначення - це те, яке надано в [8], де автори розглядають розумне місто, як місто, яке працює стабільно та розумно, завдяки згуртованій інтеграції всієї його інфраструктури та послуг громадян та використанню інтелектуальних пристроїв для моніторингу та контролю.

Щоб зрозуміти важливість розумних міст, необхідно зрозуміти сферу застосування цієї концепції; яка стосується областей щоденного життя громадян.

В [9] запропоновано рамки розумного міста у таких сферах: транспорт, енергетика, освіта, охорона здоров'я, будівництво, фізична інфраструктура, харчування, вода та громадська безпека.

Зміни не лише у визначеннях, але й різні підходи до розумного міста. Найдавніше визначення представлено у [10] та вказує на те, що ключовими аспектами розумного міста є інформаційні технології (ІТ) в освіті, ІТ в інфраструктурі, ІТ в економіці та якість життя.

Зовсім недавно, в [11] запропоновано економіку, мобільність, навколишнє середовище, людей та уряд / адміністрацію як ключові аспекти. Егер та ін. [12] визначив, що ключовими аспектами є технологія, економічний розвиток, зростання зайнятості та підвищення якості життя її громадян.

Спочатку розглянемо, як надати архітектурі конкретні та загальні характеристики. Це дозволить легко вносити зміни в систему, наприклад:

- надсилання повідомлень;
- модулі зберігання або збору даних, не впливаючи на архітектуру, а також технологічну підтримку, здатну зберігати та опрацьовувати всю інформацію;
- послуги, які повинні надавати різні сфери, які приносять користь усім її громадянам для сприяння прийняттю цієї концепції місцевими органами влади.

У цьому сенсі описуємо технічні рішення для прийняття: Internet of Things (IoT), хмарні системи зберігання даних, протоколи обміну повідомленнями та супутні технології), обговорюючи відповідне середовище.

## 1.2 Проблеми розумних міст

Оскільки міста продовжують невпинно процвітати, їхні виклики потрібно ретельно продумати, щоб зростання населення, економічний розвиток та соціальний прогрес розвивалися. Хоча більша частина світового ВВП виробляється в містах, не все, що відбувається в цих агломераціях, передбачає позитивні зовнішні явища.

Міста – це також місця, де нерівності сильніші, і, якщо ними не правильно керувати, негативні наслідки можуть перевершити позитивні.

В таблиці 1.1 приведено проблеми міст.

Таблиця 1.1 – Проблеми в Європейських містах

Управління	Економіка	Мобільність	Середовище	Люди	Життя
Гнучке управління	Безробіття	Сталий мобільність	Енергозбереження	Безробіття	Доступне житло
Скорочення міст	Скорочення міст	Інклюзивна мобільність	Скорочення міст	Соціальна згуртованість	Соціальна згуртованість
Територіальна згуртованість	Економічний занепад	Мультимодальна транспортна система	Цілісний підхід до екологічних та енергетичних проблеми	Бідність	Проблеми зі здоров'ям
Поєднання формального та неформального уряду	Територіальна згуртованість	Міські екосистеми під тиском	міські екосистеми під тиском	Старіння населення	Аварійне управління
	Моногалузєва економіка	Затори на дорогах	Ефекти зміни клімату	С.різноманітя як джерело інновації	Розростання міст
	Потрібно місцеві економіки	Немобільна мобільність	Розростання міст	Кібербезпека	Безпека
	Соціальне різноманіття як джерело інновацій				Кібербезпека

Проблеми, з якими сьогодні мають зіткнутися міста, але й майбутні проблеми міст повинні враховуватися.

## 2 ОГЛЯД КОМПОНЕНТІВ І РІШЕНЬ РОЗУМНИХ МІСТ З ПІДТРИМКОЮ ІoT

Існує широкий спектр науково-дослідної літератури щодо застосування ІoT в контексті розумного міста. В літературі запропоновано багато різних підходів для класифікації структур розумного міста та рішень у різноманітних областях застосування.

Щоб описати широкий ландшафт, який я опрацював, переглянувши вибрану науково-технічну літературу в найбільш повний спосіб, було визначено наступні вісім доменів (як зображено на рис.1.1), які зазвичай використовуються для класифікації компонентів розумного міста та сфер застосування: управління; проживання та інфраструктура; мобільність і транспорт; економіка; промисловість і виробництво; енергія; навколишнє середовище; охорона здоров'я.

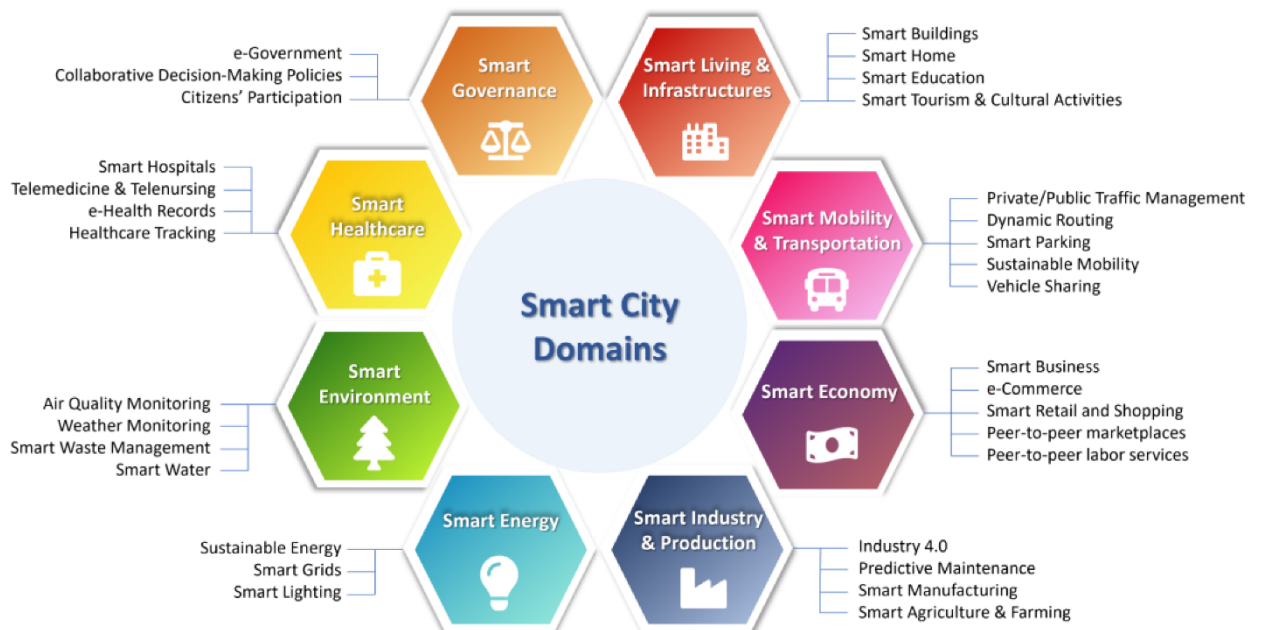


Рисунок 1.1 – Класифікація доменів розумного міста з відповідними компонентами та сферами застосування.

Цей підхід розширює класифікацію з шести доменів, представлену в [1,37]. Класифікація, запропонована в цій кваліфікаційній роботі, не має бути

вичерпною, і в деяких випадках ці домени не обов'язково можуть бути різними, оскільки вони можуть перетинатися в кількох контекстах і застосуваннях.

## **2.1 Розумне управління**

Розумне врядування стосується впровадження ІКТ у практику міського управління з метою покращення процесу прийняття рішень та прискорення бюрократичних та адміністративних процедур за рахунок більш розумної співпраці між різними зацікавленими сторонами та соціальними суб'єктами, включаючи державні адміністрації, міських посадовців, приватних осіб компаній та громадян. Цього можна успішно досягти шляхом надання інноваційних міських послуг, виділених каналів та мережевої інтеграції для громадян.

Наприклад, громадяни можуть брати участь у діяльності міського управління та процесах прийняття рішень через інструменти на основі ІКТ та соціальні медіа [39] як доказ парадигми мобільного краудсорсингу [40], згідно з яким громадяни можуть виступати як «користувачі як давачі» зі своїми смартфонами та мобільними пристроями, беручи участь як окремо, так і в групах у процесі отримання даних, що представляють інтерес для розумних спільнот.

Технології ІоТ перетворюють традиційні транзакції та процеси міського управління в розумні державні ресурси на основі різних учасників, таких як уряд-громадян (G2C), уряд-бізнес (G2B) і уряд-уряд (G2G). ) [41,42]:

- Уряд-громадянин (G2C) відноситься до набору програмних рішень (як правило, веб- та мобільних), які підтримують відносини між державними адміністраціями та громадянами, таких як веб-портали державного управління та/або мобільні додатки та канали соціальних медіа, що використовуються для спілкування. взаємодія органів місцевого самоврядування та громадян. Крім того, технології ІоТ, такі як RFID та біометричні давачі, широко і все більше застосовуються в

електронних ідентифікаційних картках і мобільних пристроях для розпізнавання особи, електронної аутентифікації та підпису, відповідно до різних державних стандартів, таких як електронна ідентифікація, аутентифікація та довірчі послуги (eIDAS) [43]. Ці функції, як правило, необхідні для доступу до послуг, які надаються державними адміністраціями, та для ознайомлення з персональними даними громадян, пов'язаними з державними послугами тощо, що значно спрощує комунікацію та взаємодію між державними органами та громадянами;

- уряд-бізнес (G2B) стосується взаємодії між державними адміністраціями та бізнес-компаніями. У цій моделі прийняті рішення для електронних закупівель, тобто цифрові інструменти (переважно через Інтернет), за допомогою яких органи місцевого самоврядування публікують тендери, проекти, конкурси, засоби для купівлі/продажу товарів та інші загальні послуги для та від приватних компаній. Технології IoT широко використовуються в діяльності G2B, полегшуючи та покращуючи відносини між місцевими органами влади та компаніями, які надають державні та приватні послуги громадянам. Наприклад, транспортні компанії використовують давачі на основі місцезнаходження (зазвичай використовують технологію GPS) і послуги, обмінюючи їх з місцевими адміністраціями і дозволяючи простіше та ефективніше планувати місто для мобільності та транспорту [44]. Крім того, він включає подібні аспекти, пов'язані з багатьма іншими сферами, які надають державні та фундаментальні послуги, наприклад, управління відходами, вода, енергетика тощо. З цією метою використання хмарних обчислень зазвичай використовується для зберігання та обміну даними та результатами між різними зацікавленими сторонами (міські оператори, компанії та громадяни);
- уряд-уряд (G2G) пов'язаний з програмними рішеннями, які спрямовані на покращення комунікації між різними суб'єктами та групами

державного управління, прискорюючи тим самим усі процеси, які потребують взаємодії цих суб'єктів. Це передбачає використання технологій IoT для збору, зберігання та обміну даними, які використовують, наприклад, хмарні обчислення та веб-/мобільні послуги. У звіті Європейського JRC також зазначається, що уряди можуть отримати вигоду від поєднання різних джерел даних (наприклад, Інтернету речей та Інтернету) з відповідними аналітичними методами (включаючи методи на основі ШІ) для кращого визначення та розробки конкретних адміністративних політик [45].

У Барселоні ІКТ стали ключовим драйвером еволюції моделі міста, заснованої на гнучких та ефективних ініціативах та послугах електронного уряду, які мають на меті зробити місто більш інноваційним, інклюзивним та самодостатнім [46].

На початку 2000-х років місто Барселона розпочало реалізацію проекту 22@Barcelona для посилення технологічного, соціально-економічного та стійкого впливу регіону з метою покращення якості життя громадян (QoL) [47].

В Амстердамі консорціум, що складається з муніципалітетів, дослідницьких центрів та приватних компаній столичного регіону, розробив та запустив платформу Amsterdam Smart City Platform (ASCP) у 2014 році: онлайн-дошку, де вищезгадані зацікавлені сторони можуть обговорювати міські проблеми, пропонувати рішення та підтримувати місто. інновація [48].

Місцева влада в Ріо-де-Жанейро просувала ініціативи обміну даними міста, розміщуючи їх у так званому центрі інтелектуальних операцій (ІОС) з метою підвищення ефективності міських служб [49]. Крім того, впроваджено соціальну платформу Rio Agora, щоб громадяни могли пропонувати та обговорювати державну політику з муніципальною владою [3].

Сінгапур прийняв кілька проектів розумного управління через Групу Smart Nation and Digital Governance Group (SNDGG) [50], включаючи систему цифрової ідентифікації для жителів Сінгапуру, яка дозволяє їм здійснювати



легші операції з державним управлінням та розробкою основних операцій та обміном (CODEX) , що є цифровою платформою, яка надає розумні послуги громадянам.

У Торонто запропонували проект розумного міста Sidewalk Labs. Проект просуває стандарти обміну даними та моделі управління даними для вигідного використання даних, зібраних від громадян через модель довіри міських даних. Це дозволяє збирати, керувати та об'єднувати міські неособисті дані, деідентифіковані дані та персональну інформацію (відповідно до правил та законів про конфіденційність даних), а потім витягує з них цінність [52].

Songdo в Південній Кореї вважається одним з найбільш просунутих великомасштабних проектів розумного міста на основі зеленого поля в світі [53]. Насправді Сонгдо визначається як повсюдне U-місто, в якому дані постійно збираються через мережу давачів та обладнання. Дані обмінюються та взаємно пов'язуються з інформацією від державних установ, таких як міський інформаційний центр дорожнього руху Інчхон, Корейське метеорологічне управління, Інститут охорони здоров'я та навколишнього середовища, Поліцейське агентство тощо. Дані аналізуються U-Integrated Operational Center та надаються в громадян через медіа-трансляції та контрольні сервери, щоб допомогти їм знайти необхідну інформацію [54].

## **2.2 Розумне життя та інфраструктура**

Сфера «розумного життя» включає всі компоненти, пов'язані з розвитком розумної міської інфраструктури (наприклад, розумні будинки, розумні будівлі тощо), а також управління та покращення державних послуг, таких як культурна діяльність, туризм та освіта, які залучені до покращення загальної якості життя громадян:

- Розумні будівлі: IoT дозволяє швидко розвивати багато видів засобів для розумних будівель, наприклад, керування кондиціонуванням повітря, відведення дощової води, системи безпеки для керування автентифікованим доступом до будівель, відеоспостереження та

моніторинг людської діяльності [55], сповіщення про події, такі як пожежі та витоки газу, інструменти для моніторингу структурної цілісності будинків [56] тощо. Багато різних технологій IoT задіяно у сфері життя та інфраструктури, залежно від конкретного випадку використання або сценарію. Що стосується розумних будівель, то інтеграція IoT з інструментами інформаційного моделювання будівель забезпечує високоточне представлення будівель і просторових властивостей у вигляді набору віртуальних активів [57], тобто цифровий двійник будівлі;

- Розумні будинки: у цих середовищах різні види датчиків, виконавчих механізмів та персональних пристроїв підключаються через бездротові мережі та часто живляться за допомогою людсько-машинних інтерфейсів, які засновані на штучному інтелекті, щоб надавати розумні й автоматизовані послуги для користувачів з метою допомога їм у щоденних завданнях, таких як контроль освітлення, спостереження, управління побутовою технікою та домашніми ресурсами, споживання енергії тощо [58]. Крім того, програми розумного будинку можуть бути корисними для виявлення та відстеження дій мешканців будинку з метою моніторингу стану їх здоров'я [12], тим самим особливо допомагаючи людям похилого віку та інвалідам. Декілька типів датчиків застосовуються до розумних будинків та внутрішніх зон зондування. Наприклад, для виявлення витоків газу використовуються мікроелектромеханічні системи (МЕМС) [59]. Для інтелектуального спостереження використовуються відеокамери та системи закритого телебачення (ССТV). Цифрові датчі вологості та температури значною мірою використовуються в системах оповіщення про пожежу [62]. Останнє покоління побутової техніки та розважальних пристроїв часто працює за допомогою штучного інтелекту та допоміжних служб, щоб вони могли взаємодіяти під час взаємозв'язку через бездротові мережі (найбільш використовувані протоколи мережевого зв'язку — Bluetooth,

Zigbee, інфрачервоний зв'язок та Wi-Fi [63]) , таким чином надаючи користувачам краще, ефективніше та приємніше домашнє життя;

- Послуги Smart Living: пристрої Інтернету речей мають широке застосування в різних сферах і видах діяльності, які сприяють покращенню загальної якості життя розумних громадян. Культурна діяльність, наприклад, розумне управління туризмом, використовує переваги використання мобільних додатків, ГІС-сервісів і послуг на основі розташування, мультимедійних потоків, віртуальної та доповненої реальності та соціальних медіа для управління та надання кращого досвіду для зацікавлених сторін у сфері туризму [64]. Приклади цих додатків включають покращення туристичного досвіду, підвищення конкурентоспроможності місця призначення та підвищення стійкості шляхом відстеження потоків та поведінки користувачів [65]. Освіта переживає все більший процес децентралізації з включенням елементів ІКТ та Інтернету речей, і це дозволяє створювати нові освітні послуги, які можуть покращити взаємодію в дистанційній та реальній навчальній діяльності [66].

Численні програми для розумного життя та інфраструктури можна знайти в реальних випадках. У роботі [67] повідомляється, що в 2019 році в Китай було поставлено 840 мільйонів одиниць продуктів для розумного будинку. Лос-Анджелес запровадив розумні стратегії управління туризмом. Туристичний трафік вимірюється за допомогою давачів, вбудованих у тротуари, і ця інформація використовується для регулювання освітлення відвідувачів сайту [68]. У Дубаї туристи можуть відкривати для себе визначні місця та події, використовуючи мітки NFC зі своїх особистих пристроїв. Існує багато спеціалізованих мобільних додатків, які використовують переваги хмарних обчислень і дозволяють відвідувачам легко підключатися без необхідності завантажувати програму [69].

## 2.3 Розумна мобільність і транспорт

Концепція розумної мобільності та транспортування передбачає перехід від традиційних транспортних систем до мобільності як послуги (MaaS), де інтелектуальна інфраструктура IoT з'єднує різних суб'єктів (громадян, державну адміністрацію, приватні компанії) та організацій (транспортні засоби, персональні пристрої, міські давачі, виконавчі механізми тощо) [70]. IoT та інтелектуальні транспортні системи (ITS) [71] дозволяють надавати розумні програми та послуги для керування, наприклад, приватних і громадських транспортних потоків, динамічної маршрутизації трафіку, розумного паркування, спільного використання транспортних засобів і стійкої мобільності, підключеного водіння тощо. Рішення щодо дорожнього руху часто покладаються на застосування прогнозних моделей для раннього попередження, запобігання нещасним випадкам та управління заторами в режимі реального часу.

У цьому контексті було запропоновано та використано багато мережевих технологій IoT. Міські давачі та виконавчі механізми (наприклад, для керування світлофорами, цифровими знаками, дорожніми шлагбаумами тощо), послуги GPS на основі місцезнаходження та мобільний зв'язок є основою для впровадження зв'язку між транспортними засобами (V2V) і зв'язку між транспортними засобами та інфраструктурою (V2I). Крім того, мережі 5G та системи на основі LTE використовувалися для послуг «автомобілем до всього» (V2X) [72]. Спеціальні мережі для транспортних засобів (VANET) [73] були розроблені для роботи з великою кількістю вузлів (включаючи транспортні засоби, придорожні блоки (RSU) і бортові пристрої (OBU) [74]) і мають хорошу адаптивність до частої топології зміни та курс обміну даними [75]. Впровадження ITS лежить в основі послуг розумного паркування та обміну автомобілями [76]. Найбільш поширеними пристроями є RFID-мітки, інфрачервоні та ультразвукові давачі, давачі на базі смартфонів, відеокамери для розумного паркування [77] та бортові діагностичні системи (OBD інструменти) [78].

У Берліні в 2019 році була представлена послуга розумної мобільності Jelbi, яка базується на мобільному додатку, який підключається до всіх послуг, що надаються локально (наприклад, компанії по обміну автомобілями, такі як MILES і DB Flinkster, і компанії з оренди електронних транспортних засобів, такі як TIER), сприяти переходу до більш стійкої мобільності [79].

У Флоренції платформа Snap4City була розроблена в контексті проекту Sii-Mobility для сталої мобільності, забезпечуючи гнучку платформу IoT для розумного міста та кілька додатків для управління гетерогенними та складними сценаріями міської мобільності шляхом інтеграції міських давачів/приводів та IoT/ІоЕ. [34].

Атланта забезпечила свою транспортну інфраструктуру багатьма розумними технологіями. Наприклад, на Smart Corridor North Avenue (критична поздовжня комунікаційна дорога) встановлена система адаптивних світлофорів, які адаптуються до умов дорожнього руху в режимі реального часу [3].

У Лондоні є система прокату велосипедів, яка наразі пропонує понад 11 500 велосипедів і понад 750 док-станцій. Що стосується рішень для спільного використання автомобілів, то Лондон має шість активних операторів у місті, які охоплюють всю територію Великого Лондона [80]. Крім того, система громадського транспорту Лондона передбачає використання карток Oyster, які є розумними електронними картками, які використовують технологію RFID і можуть використовуватися для оплати та покупки електронних квитків на громадський транспорт, тим самим зменшуючи черги та, врешті, відстежуючи потоки користувачів.

У Сантандері послуги розумної мобільності застосовуються для керування громадським транспортом, керування паркуванням на відкритому повітрі та маршрутизації руху [81].

Місто Більбао підвищило стійкість місцевої мобільності, розгорнувши мережу електронних велосипедів з 40 пунктами прийому та електронними автобусами, які підтримуються мобільними додатками: GeoBilbao (звітування

інформації про паркування та стан дорожнього руху в реальному часі) та iVilbobus (інформація про зупинки та розклад автобусів) [66].

У Сеулі повсюдно поширений район Каннам має централізовану систему контролю, включаючи додаток транспортної служби та інформаційної служби (TOPIS) і «Owl Bus», який є інноваційним автобусним сервісом, який виконує аналітику великих даних, які збираються на борту [82].

## **2.4 Розумна економіка**

Розумна економіка ґрунтується на інноваційному взаємозв'язку локальних і глобальних ринків за допомогою ІКТ, наданні послуг електронного бізнесу та електронної комерції для підвищення продуктивності та доставки [83]. Крім того, концепція економіки спільного використання також включена в цю сферу, коли приватні особи або приватні компанії пропонують послуги з використанням власних активів, а також через однорангові ринки. Існують також послуги «рівний-рівному», в яких громадяни та зацікавлені сторони пропонують свою роботу та досвід для виконання конкретних завдань [84]. Для побудови прогнозних моделей та покращення рекомендаційних систем для електронної комерції та роздрібних покупок були впроваджені методи штучного інтелекту та машинного навчання [85]. Використання NFC та бездротових сенсорних технологій полегшило процеси платежів і транзакцій.

У Шеньжені використання мобільних телефонів і смартфонів у щоденних транзакціях та доступі до інформації робить готівку та банківські картки застарілими [86].

## **2.5 Розумна промисловість і виробництво**

Розумна промисловість і промисловість 4.0 визначають процес трансформації, в якому технології IoT, кіберфізичні системи (CPS), системи зв'язку M2M і хмарне виробництво [87] дозволяють створити інноваційне та менш залежне від людини виробниче середовище [88]. Що стосується

автоматизації ланцюгів постачання товарів, їх можна легко відстежити від виробничого процесу до кінцевого розподілу за допомогою сенсорних технологій, таких як RFID і NFC.

Інформацію в режимі реального часу можна збирати та аналізувати для відстеження відправлення, а також для оцінки якості та зручності використання продукції [14]. Сфера розумної промисловості та виробництва включає всі галузі, в яких ІКТ ведуть до автоматизації продуктивного робочого процесу, тому також включає розумне сільське господарство, яке вирішує проблему сталого виробництва продуктів харчування. Системи розумного сільського господарства часто використовують пристрої IoT для підвищення ефективності зрошення [89], а рішення часто застосовуються в IoT для сільського господарства, наприклад, для моніторингу посівів, виявлення хвороб та управління постачанням культур на основі даних [7].

## **2.6 Розумна енергія**

Розумні енергетичні системи передбачають інтелектуальну інтеграцію децентралізованих відновлюваних та стійких джерел енергії та їх ефективний розподіл [91] і спрямовані на оптимізацію споживання електроенергії [92]. Розумні мережі використовують переваги технологій ІКТ та Інтернету речей для кращого управління виробництвом та розподілом електроенергії, використовуючи, наприклад, моделі прогнозування (розроблені на основі зібраних даних про споживання) і часто забезпечуючи самовідновлення постачання енергетичної мережі [93].

Розумні мережі допомагають балансувати енергетичне навантаження на основі використання та доступності. Таким чином можна автоматично переключатися на альтернативні джерела енергії, а також прогнозувати майбутній попит на енергію та оцінювати доступність та ціну електроенергії [14].

Нові покоління пристроїв інтелектуальної енергії IoT були розроблені для альтернативного збирання енергії, таких як трибоелектричні наногенератори (TENG) та електростатичні збирачі енергії (EEN) [59].

У контексті розумної енергії залучено безліч датчиків IoT, таких як резистори (LDR), датчики для вимірювання яскравості світла [94] та споживання сонячної електроенергії [95].

Ніцца, Франція, докладла зусиль для покращення інтелектуального управління енергією, плануючи споживання електроенергії в житлових і ділових місцях.

Розумна мережа в Ніцці була створена завдяки розумному сонячному мікрорайону в міських районах шляхом постачання та зберігання розподіленої електроенергії [58].

Місто Падуя здійснило кілька ініціатив у сфері інтелектуального управління енергією, наприклад, систему розумного освітлення, в якій кожен розумний світловий пристрій геолокований у місті та живиться від датчиків фотометрів, які контролюють інтенсивність світла, що випромінюється лампами, і перевіряє, чи виконується правильна робота лампочок [96].

Атланта реалізувала проект розумного сусідства, щоб знизити показник системи оцінки енергії будинку (HERS). Платформи оптимізації енергії керують побутовою технікою, перемикаючись на сонячну енергію та батареї, якщо є [3]. У Гельсінкі розумні мережі допомагають зменшити споживання енергії на 15% [97].

Проект Masdar City мав на меті стати однією з найефективніших та екологічно чистих систем в ОАЕ з використанням технологій відновлюваної енергії. У місті заплановано створення сонячної батареї та сонячних панелей на даху, які можуть забезпечити понад 10 МВт. Це, у поєднанні з технологіями збирання енергії вітру, може забезпечити енергією цільове населення близько 40 000 громадян [98].



## 2.7 Розумне середовище

Домен «розумне середовище» включає збір екологічних даних, моніторинг та аналіз для зменшення забруднення, моніторинг якості та постачання води, а також управління погодними та кліматичними подіями [67]. У зв'язку з цим моніторинг якості повітря є вирішальним фактором для відстеження рівнів забруднювачів повітря, які представляють серйозну проблему для здоров'я людини (спричинена транспортуванням, опаленням та промисловими викидами). Розумне поводження з відходами також включено в цю сферу, оскільки воно має численні впливи на навколишнє середовище. Політики контролю виробництва відходів обробляються за допомогою розумних сміттєвих урн, в які встановлені датчики здатні надавати в режимі реального часу аналіз наявної потужності [92].

Що стосується розумної води, то сенсорні пристрої, які призначені для оцінки кількості та якості води, зазвичай вимірюють такі параметри, як рН, провідність, каламутність, загальне кількість розчинених твердих речовин тощо [99]. Для вимірювання тиску для аналізу норми споживання води використовуються електромагнітні та ультразвукові датчики. Застосування WSN для систем моніторингу кількості та якості води відкрило нове покоління інтелектуальних систем моніторингу води, забезпечуючи більш розширене розуміння контексту та взаємодію майже в реальному часі [101].

Додатки та послуги розумного середовища зазвичай базуються на датчиках навколишнього середовища та хімічних речовинах, які використовуються для вимірювання фізичних величин, що виражають параметри й умови навколишнього середовища, такі як температура, вологість, тиск [7] та різні види забруднюючих речовин. Розумні технології зондування та візуалізації (супутники, LiDAR) застосовуються до викидів парникових газів (ПГ) та використання землі [99]. Також використовуються послуги на основі розташування та дані ГІС.

У Сінгапурі твердими відходами керує Інтегрований фонд управління відходами (IWMF), який включає інноваційну технологію IoT, що дозволяє підвищити ефективність процесу та зменшити викиди ПГ [102].

В Амстердамі Green City Watch — це геопросторова AI-платформа, яка відстежує міську зелену інфраструктуру майже в реальному часі за допомогою алгоритмів AI та супутникових зображень [103].

У Стокгольмі встановлені розумні урни для сміття на сонячній батареї, які автоматично повідомляють, коли вони повністю заповнені [66].

Розумне місто Пусан, Південна Корея, використовує розумні системи управління водою у всьому міському водному циклі [3].

У контексті європейського проекту TRAFair шість європейських міст (Флоренція, Піза, Ліворно та Модена в Італії та Сантьяго-де-Компостела та Сарагоса в Іспанії) прийняли платформу Snap4City для моніторингу якості повітря в містах (за допомогою давачів, які збирають дані в шести містах) та надають прогноз якості міського повітря за допомогою імітаційних моделей [104].

## **2.8 Розумна охорона здоров'я**

Технології Інтернету речей і повсюдно поширені обчислення широко застосовуються в мобільній медицині для віддаленого моніторингу, телемедицини та телесестринства, побічних реакцій на ліки, громадського охорони здоров'я тощо, і ці аспекти є ще більш актуальними в останній період пандемії COVID-19.

Віддалений моніторинг пацієнта (RPM) може здійснюватися за допомогою носимих або імплантованих пристроїв (наприклад, кардіологічних пристроїв, моніторів повітряного потоку, глюкометрів крові тощо), які підключені до хмари за допомогою технологій WSN [20]. Це призвело до розвитку мереж давачів тіла (BSN) або бездротових мереж тіла (WBAN), в яких інтеграція кількох різномірних джерел даних дозволяє отримувати

біометричні та фізіологічні дані пацієнтів для додатків IoT у сфері охорони здоров'я [105].

Розумні лікарні також покладаються на технології IoT для надання послуг для медичного персоналу та пацієнтів (ідентифікація та моніторинг пацієнтів у лікарнях та розумне керування медичними інструментами, що підтримують процеси прийняття рішень у лікарнях) [106]. Усі ці сфери застосування та пов'язані з ними вимоги накладають чітко визначені стандарти, такі як сьомий рівень здоров'я (HL7), PACS-DICOM у обробці біомедичних зображень [107] тощо. Останні досягнення пропонують використовувати методи ШІ для визначення інноваційних додатків, наприклад, прогнозування машинного навчання та вимірювання біометричних параметрів або симптомів із мультимедіа (за допомогою мобільних відео чи голосових повідомлень, за допомогою методів глибокого навчання та розпізнавання мовлення) [108] та прогнозування та профілактики захворювань [109].

Сінгапур розробив платформу HealthHub, яка об'єднує управління особистими медичними картами та клінічними даними пацієнтів і громадян [3].

У Стокгольмі лікарня New Karolinska Solna Hospital інтегрувала технології інтелектуальної енергії та ВІМ для надання послуг, орієнтованих на користувача (для пацієнтів, відвідувачів та медичного персоналу) [110].

Лікарня Хефей, Китай, є однією з перших розумних лікарень Китаю [111], де всіма аспектами пацієнтів керують за допомогою Інтернету речей і пов'язаної охорони здоров'я, а також надають послуги «розумних» будівель та сталого управління енергією.

Лікарня Університету Гельсінкі впровадила систему визначення місцезнаходження в режимі реального часу (RTLS) для збору та обміну анонімними даними про переміщення на місці для відстеження поблизу під час пандемії COVID-19. Крім того, надаються хмарні послуги, які дозволяють лікарям і медсестрам дистанційно взаємодіяти з пацієнтами з COVID-19 [112].

Таблиця 1.2 – Резюме доменів розумного міста: послуги та функції, використовувані технології IoT та реальні випадки.

Домени розумного міста	Сервіси, програми та функції	Залучені технології IoT	Реальні справи
Розумне управління	електронне урядування - Участь громадян - Політика спільної та спільного прийняття рішень	Веб- та мобільні програми для G2C, G2B та G2G [41,42]	Барселона [46,47], Амстердам [48], Ріо-де-Жанейро [3,49], Сінгапур [50], Торонто [51,52], Сонгдо [53,54]
Розумне життя та інфраструктура	Розумні будівлі Розумні будинки Розумний туризм Розумна освіта	ВІМ моделі [57] Внутрішні/зовнішні давачі та технології WSN [59,62] Веб- та мобільні додатки, служби з визначенням місцезнаходження, віртуальна та доповнена реальність та соціальні мережі [64] Системи електронного навчання та децентралізована освіта [66]	Лос-Анджелес [68] Дубай [69]
Розумна мобільність і транспорт	Управління трафіком Динамічна маршрутизація Розумна парковка Спільне використання транспортних засобів Стала мобільність	Міські давачі та виконавчі механізми, персональні пристрої IoT та інтелектуальні транспортні системи (ITS) [71] Зв'язок між транспортним засобом (V2V), VANETs [73] Інструменти бортової діагностики (OBD) [78]	Берлін [79] Флоренція [3] Атланта [3] Лондон [80] Сантандер [81] Більбао [66] Сеул [82]
Розумна енергія	Енергетичний менеджмент Сталий збір енергії Розумне освітлення Розумні мережі	Трибоелектричні наногенератори (TENG) та електростатичні збирачі енергії (EEN) [59] Давачі освітленості [94]	Гарно [58] Падуя [96] Атланта [3] Гельсінкі [97] Масдар Сіті [98]
Розумне середовище	Моніторинг якості повітря Моніторинг погоди Розумне управління відходами Розумна вода	Давачі навколишнього середовища [7] Великі дані із супутників, даних LiDAR та ГІС [99]	Сінгапур [102] Амстердам [103] Стокгольм [66] Пусан [3] Флоренція, Піза, Ліворно і Модена, Сантьяго-де-Компостела і Сарагоса [104]
Розумна охорона здоров'я	Телемедицина Віддалений моніторинг пацієнтів (RPM) та відстеження медичної допомоги Розумні лікарні Розумні ведення електронної медичної документації Прогнозування та профілактика захворювань	Носимі або імплантовані пристрої для дистанційного моніторингу пацієнтів (RPM) [20] Мережі давачів тіла (BSN) і бездротові мережі тіла (WBAN) [105] Стандарти управління інформацією (HL7, PACS-DICOM тощо) [107]	Сінгапур [3] Стокгольм [110] Хейфеї [11] Гельсінкі [112]

На завершення огляду в таблиці 1.1 наведено інтегрований підсумок доменів розумного міста, які були представлені в цьому розділі, з точки зору підтримуваних послуг і функцій, реальних прикладів і використовуваних технологій IoT.

## **2.9 Нові тенденції та напрямки досліджень**

Технології та програми розумного міста IoT швидко поширюються, і про це повідомляється все більше і більше реальних випадків. Однак, на основі аналізу та огляду, проведеного в попередніх підрозділах, цей процес інтеграції не є завершеним, оскільки він все ще стикається з деякими відкритими проблемами, які можуть бути вирішені в майбутньому.

Наприклад, існують проблеми сумісності через наявність багатьох різних протоколів, форматів і фреймворків IoT [3,29,92,105,113], і цей аспект посилюється тим фактом, що багато програм для розумних міст спочатку були розроблені як вертикальні програми [3,18], кожне з яких використовує власні рішення для прийому, зберігання та експлуатації даних. Вирішення проблем сумісності може принести економічні вигоди. Фактично, досягнення вищого рівня сумісності між пристроями, додатками та службами передбачає скорочення витрат на створення абсолютно нових та інших розгортань рішень [113], тим самим забезпечуючи зворотну сумісність через використання старих систем, а також поступове розгортання та інтеграцію.

З іншого боку, розвиток парадигми IoT/IoE привів до прийняття керованих подіями та push протоколів [32], що проклало шлях не тільки для відчуття міста, але й для дії через активатори та створення подій.

Однак більшість рішень, запропонованих у науковій літературі, все ще зосереджені на обмежених областях, вирішуючи конкретні проблеми з незначним повторним використанням програмного забезпечення або без нього [3]. Щоб працювати з великою різноманітністю пристроїв і додатків IoT, парадигма мікросервісно-орієнтованої архітектури все частіше використовується в останніх рішеннях на основі IoT для розумних міст

[13,29,109]. Це підвищує масштабованість і доступність фреймворків IoT і спрощує складність традиційних сервісно-орієнтованих архітектур (SOA) [32].

Для рішень на основі IoT досягнення більшої масштабованості являє собою можливість ефективно збирати та обробляти все більші обсяги даних, що часто призводить до вищої точності в аналізі даних і часто дозволяє обробляти в режимі реального часу або майже в реальному часі [114]. Ці аспекти передбачають важливу соціальну участь, наприклад, до безпеки та стійкості, оскільки вони дозволяють створювати більш стійкі інструменти, здатні виконувати аналіз і моделювання в реальному часі, наприклад ті, які використовуються місцевими державними органами для раннього попередження та оповіщення в критичні події, такі як управління катастрофами [99] та планування стійкості. Більше того, багато рішень IoT все ще орієнтовані на традиційні середовища програмування, тоді як останні тенденції показують прогрес у використанні мов візуальної парадигми (VPL) [15,32], включаючи Node-RED, для реалізації робочих процесів для додатків IoT.

Прийняття мікросервісно-орієнтованих архітектур веде до подолання підходу монолітної платформи [3], оскільки парадигма мікросервісів дозволяє повторно використовувати програмні компоненти та блоки. Крім того, архітектури мікросервісів відкриті для розширень, і вони також можуть легше використовувати зовнішні послуги (коли це необхідно для делегування частини обчислень, а також для доступу до додаткових служб або програм) [29]. Наприклад, їх можна легко адаптувати для підтримки майже всіх видів Інтернету речей і протоколів зв'язку, а також підтримувати керовані даними та подіями способи push. Це рухається в напрямку впровадження розумніших фреймворків для бізнес-аналітики та аналізу даних, а також більш інтерактивних інструментів візуального аналізу [32]. Цей більш глибокий рівень інтеграції та складності платформ розумних міст із підтримкою IoT повинен принести прогрес у виконанні моделювання в реальному часі, аналізі «що, якщо» та підтримці процесів прийняття рішень, що є основою

виробництва розумніших та ефективніших сервісів і додатків. для всіх зацікавлених сторін.

Крім того, платформи розумних міст із підтримкою IoT еволюціонують у напрямку кросорганізаційних і багатоарендних платформ і додатків IoT. Це дозволяє розробляти великі інфраструктури, які можуть підтримувати кілька організацій, підвищувати масштабованість і знижувати витрати на інфраструктуру, оскільки вони спільні між кількома операторами [36]. Цей аспект тісно пов'язаний із повторним використанням компонентів у фреймворках розумного міста та намагається гармонізувати та подолати зусилля, необхідні для побудови індивідуальних платформ для кожного міста чи кожного конкретного контексту, що є економічно неефективним [3].

Інші потенційні напрямки майбутнього включають впровадження та поширення нових мережевих технологій, таких як 5G [28,59,72]. Технологічні досягнення в мережах і рішеннях пристроїв є важливими. Насправді, впровадження найновіших мережевих технологій, таких як 5G, у поєднанні з більш високою ефективністю будівельних технологій і технологій, що відповідають парадигмі інфраструктури з нульовою енергією, може призвести до будівельних рішень, які спрямовані на чисті нульові викиди вуглецю [102]. Крім того, впровадження інноваційних обчислювальних парадигм, таких як впровадження та інтеграція рішень глибокого навчання та штучного інтелекту [109,115], семантичні технології та обробка природної мови (NLP) покращать рівень взаємодії між розумними пристроями та всіма акторами розумного міста, а також дозволять створювати розумніші послуги для кращої якості життя.

Нарешті, щоб також обговорити соціальні проблеми, які вирішуються за допомогою Інтернету речей і технологій розумного міста, зосередимося на оцінці кожної області застосування та домену, з точки зору їхнього внеску.

З цією метою ми коротко представимо 17 індикаторів:

- (1) відсутність бідності;
- (2) нульовий голод;

- (3) міцне здоров'я та благополуччя;
- (4) якісна освіта;
- (5) гендерна рівність;
- (6) чиста вода та санітарія;
- (7) доступна та чиста енергія;
- (8) гідна праця та економічне зростання;
- (9) промисловість, інновації та інфраструктура;
- (10) зменшені нерівності;
- (11) стійкі міста та громади;
- (12) відповідальне споживання та виробництво;
- (13) кліматичні дії;
- (14) життя під водою;
- (15) життя на землі;
- (16) мир, справедливість і міцні інститути;
- (17) партнерство для досягнення цілей.

На основі наших висновків під час огляду літератури було отримано відповідні внески та зв'язки між представленими областями застосування IoT-розумного міста та наступними індикаторамиЦУР:

- Нульовий голод: рішення для розумного сільського господарства [7] сприяють підвищенню ефективності доступу до основних ресурсів, таких як продукти харчування, а також дозволяють проводити якісне землеробство [89];
- Гарне здоров'я та благополуччя: розумні рішення для охорони здоров'я [106,108] сприяють підвищенню ефективності медичних послуг, які надаються в лікарнях і медичних установах, а також вдома. Збір та аналіз великих даних у контексті охорони здоров'я можуть бути корисними для моніторингу критичних випадків, станів та подій [109], особливо в період пандемії COVID-19;



- Якісна освіта. Розумні освітні рішення сприяють створенню інноваційних освітніх послуг, а також покращенню взаємодії між дистанційною та реальною навчальною діяльністю [66];
- Чиста вода та санітарія: розумні водні рішення [100] використовуються для моніторингу кількості та якості водорозподілу та спрямовані на мінімізацію споживання та управління очищенням стічних вод [101]. Це є важливим кроком у належному проектуванні та обслуговуванні якісних водних систем;
- Доступна та чиста енергія: розумні енергетичні рішення та енергетичні мережі [3,58,97] сприяють більш ефективному розподілу та використанню енергії [92], допомагаючи мінімізувати споживання електроенергії та розглядати інноваційні стійкі джерела енергії [91];
- Гідна робота та економічне зростання: розумні рішення для управління [46-54] сприяють економічному зростанню [38], оскільки очікується, що вони спровокують сильний поштовх у напрямку розумного та цифрового державного управління [39]. Більше того, розумні економічні рішення [83,84] також може сприяти тому, щоб дозволити громадянам, компаніям та зацікавленим сторонам розумного міста стежити за ринком розумних додатків та економіки даних, переосмисливши гнучкість робочих місць [84] і, таким чином, перевизначивши пов'язану з ними економічну цінність;
- Промисловість, інновації та інфраструктура: розумні галузеві рішення [33,90] створюють нові та відповідні цифрові інфраструктури для сталого промислового виробництва [88] та економії даних;
- Сталі міста та спільноти: кілька компонентів розумного міста з підтримкою IoT сприяють підвищенню стійкості спільнот розумних міст. Наприклад, рішення для розумної мобільності [79-82] мають на меті встановити майже нульові викиди та зменшити транспортні потоки, а також посилити впровадження розумного транспорту та парадигм IoT.

Ці аспекти принесуть відповідний вплив і покращать якість життя в розумних містах [92];

- Дія щодо клімату: технології розумного довкілля [102,103], які зосереджені на моніторингу якості повітря та рівнів забруднювачів [99,104], сприяють аналізу та контролю якості повітря та спалювання викопних речовин, а також їх впливу на навколишнє середовище з точки зору CO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub> тощо (які є основними наслідками горіння викопних решток);
- Мир, справедливість та сильні інституції: розумні рішення для врядування [46-54] сприяють забезпеченню установ процесами прийняття рішень на основі даних [39] , що робить участь громадян більш інклюзивною та дискусійною, створюючи таким чином консенсус для суспільного блага та посилюючи рівність та соціальну справедливість [38].

## **3 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ХОРОНИ ПРАЦІ**

### **3.1 Класифікація шкідливих та небезпечних виробничих факторів**

Шкідливий виробничий фактор – небажане явище, яке супроводжує виробничий процес і вплив якого на працюючого може призвести до погіршення самопочуття, зниження працездатності, захворювання, виробничо зумовленого чи професійного, і навіть смерті, як результату захворювання. Небезпечний виробничий фактор – небажане явище, яке супроводжує виробничий процес і дія якого за певних умов може призвести до травми або іншого раптового погіршення здоров'я працівника (гострого отруєння, гострого захворювання) і навіть до раптової смерті. Поділення несприятливих чинників виробничого середовища на шкідливі та небезпечні зумовлене різним характером їх дії на людський організм, тим, що вони потребують різних заходів та засобів для боротьби з ними та профілактики викликаних ними ушкоджень, а також рядом причин організаційного характеру.

В той же час між шкідливими та небезпечними виробничими факторами інколи важко провести чітку межу. Один і той же чинник може викликати травму і профзахворювання (наприклад, високий рівень іонізуючого або теплового випромінювання може викликати опік або навіть призвести до миттєвої смерті, а довготривала дія порівняно невисокого рівня цих же факторів – до хвороби; пилінка, що потрапила в око, спричиняє травму, а пил, що осідає в легенях, – захворювання, що зветься пневмоконіоз). Через це всі несприятливі виробничі чинники часто розглядаються як єдине поняття – небезпечний та шкідливий виробничий фактор (НШВФ). За своїм походженням та природою дії всі НШВФ можна поділити на 5 груп: фізичні, хімічні, біологічні, психофізіологічні та соціальні. До фізичних НШВФ відносяться машини та механізми або їх елементи, а також вироби, матеріали, заготовки тощо, які рухаються або обертаються; конструкції, які руйнуються;

системи, устаткування або елементи обладнання, які знаходяться під підвищеним тиском; підвищена запиленість та загазованість повітря; підвищена або понижена температура повітря, поверхонь приміщення, обладнання, матеріалів; підвищені рівні шуму, вібрації, ультразвуку, інфразвуку; підвищений або понижений барометричний тиск та його різкі коливання; підвищена та понижена вологість; підвищена швидкість руху та підвищена іонізація повітря; підвищений рівень іонізуючих випромінювань; підвищене значення напруги в електричній мережі; підвищені рівні статичної електрики, електромагнітних випромінювань; підвищена напруженість електричного, магнітного полів; відсутність або нестача світла; недостатня освітленість робочої зони; підвищена яскравість світла; понижена контрастність; прямий та віддзеркалений блиск; підвищена пульсація світлового потоку; підвищені рівні ультрафіолетової та інфрачервоної радіації; гострі країки, зачипки, шершавість на поверхні заготовок, інструментів та обладнання; розташування робочого місця на значній висоті відносно землі (підлоги); слизька підлога; невагомість.

Хімічні НШВФ: - за характером дії на організм людини поділяються на токсичні, задушливі, наркотичні, подразнюючі, сенсibiliзуючі, канцерогенні, мутагенні та такі, що впливають на репродуктивну функцію.

- за шляхами проникнення в організм людини поділяються на такі, що потрапляють через:

- 1) органи дихання;
- 2) шлунково-кишковий тракт;
- 3) шкіряні покриви та слизова оболонка.

- які перебувають у різному агрегатному стані:

- 1) твердому
- 2) газоподібному
- 3) рідкому

Біологічні НШВФ – це: - патогенні мікроорганізми (бактерії, віруси, рикетсії, спірохети, грибки, найпростіші) та продукти їхньої життєдіяльності;

- макроорганізми (тварини та рослини) та продукти їхньої життєдіяльності. До психофізіологічних НШВФ відносяться фізичні (статичні та динамічні) перевантаження і нервово-психічні перевантаження (розумове перенапруження, перенапруження аналізаторів, монотонність праці, емоційні перевантаження). 6 Соціальні НШВФ – це неякісна організація роботи, понаднормова робота, змушеність праці в колективі з поганими відносинами між його членами, соціальна ізоляція з відривом від сім'ї, зміна біоритмів, незадоволеність роботою, фізична та/або словесна образа та її ризик, насильство та його ризик. Один і той же НШВФ за природою своєї дії може належати водночас до різних груп.

### **3.2 Вплив вібрації на людину**

Вібрація - це механічні коливання пружних тіл або коливальні рухи механічних систем. Для людини вібрація є видом механічного впливу, який має негативні наслідки для організму.

Причиною появи вібрації є неврівноважені сили та ударні процеси в діючих механізмах. Створення високопродуктивних потужних машин і швидкісних транспортних засобів при одночасному зниженні їх матеріалоемності неминуче призводить до збільшення інтенсивності і розширення спектру вібраційних та віброакустичних полів. Цьому сприяє також широке використання в промисловості і будівництві високоефективних механізмів вібраційної та віброударної дії.

Дія вібрації може приводити до трансформування внутрішньої структури і поверхневих шарів матеріалів, зміни умов тертя і зносу на контактних поверхнях деталей машин, нагрівання конструкцій. Через вібрацію збільшуються динамічні навантаження в елементах конструкцій, стиках і сполученнях, знижується несуча здатність деталей, ініціюються тріщини, виникає руйнування обладнання. Усе це приводить до зниження строку служби устаткування, зростання імовірності аварійних ситуацій і

зростання економічних витрат. Вважають, що 80% аварій в машинах і механізмах здійснюється внаслідок вібрації. Крім того, коливання конструкцій часто є джерелом небажаного шуму. Захист від вібрації є складною і багатоплановою в науково-технічному та важливою у соціально-економічному відношеннях проблемою нашого суспільства.

Вплив вібрації на людину залежить від її спектрального складу, напрямку дії, прикладення, тривалості впливу, а також від індивідуальних особливостей людини.

При оцінці вібраційного впливу потрібно враховувати, що коливальні процеси притаманні живому організму. В основі серцевої діяльності і кровообігу та біоелектричних струмів мозку лежать ритмічні коливання. Внутрішні органи людини можна розглядати як коливальні системи з пружними зв'язками. Частоти їх власних коливань лежать у діапазоні 3..6 Гц. Частоти власних коливань плечового пояса, стегон і голови щодо опорної поверхні (положення стоячи) складають 4...6 Гц, голови щодо плечей (положення сидячи) 25...30 Гц.

При впливі на людину зовнішніх коливань (хитавиці, струсів, вібрації) відбувається їхня взаємодія з внутрішніми хвильовими процесами, виникнення резонансних явищ. Так, зовнішні коливання частотою менш 0,7 Гц утворюють хитавицю і порушують у людини нормальну діяльність вестибулярного апарата. Інфразвукові коливання (менш 16 Гц), впливаючи на людину, пригнічують центральну нервову систему, викликаючи почуття тривоги, страху. При певній інтенсивності на частоті 6..7 Гц інфразвукові коливання, втягуючи у резонанс внутрішні органи і систему кровообігу, здатні викликати травми, розриви артерій, тощо.

Вібрація, що діє на людину, має широкий діапазон – від десятих часток одного до декількох тисяч Гц. Характерними ознаками шкідливого впливу вібрації на людину є можливі зміни у функціональному стані: підвищена втома, збільшення часу моторної реакції, порушення вестибулярної реакції. Медичними дослідженнями встановлено, що вібрація є подразником периферичних нервових закінчень, розташованих на ділянках тіла людини, що

сприймають зовнішні коливання. Адекватним фізичним критерієм оцінки її впливу на організм людини є коливальна енергія, що виникає на поверхні контакту, а також енергія, поглинена тканинами і передана опорно-руховому апарату та іншим органам. У результаті впливу вібрації виникають нервово-судинні розлади, ураження кістково-суглобної та інших систем організму. Відзначаються, наприклад, зміни функції щитовидної залози, сечостатевої системи, шлунково-кишкового тракту. Так, медичні дослідження показали, що у працюючих в умовах вібрації відбуваються значні зміни кістково-суглобної системи, які виражаються у функціональній перебудові кісткової тканини, регіональному остеопорозі, кістковидних утвореннях у кістках, асептичному некрозі кісток, хронічних переломах. Відзначається, що терміни виникнення змін у кістках у працівників вібраційних професій коливається в межах від 6-8 місяців до 2-5 років.

Шкідливість вібрації збільшується при одночасному впливі на людину таких факторів, як знижена температура, підвищений шум, запиленість повітря, тривала статична напруга тощо. Сучасна медицина розглядає виробничу вібрацію як могутній стрес-фактор, що має негативний вплив на психомоторну працездатність, емоційну сферу і розумову діяльність, підвищує ймовірність виникнення різних захворювань і нещасних випадків. Особливо небезпечний тривалий вплив вібрації для жіночого організму. Широкий комплекс патологічних відхилень, викликаний впливом вібрації на організм людини, кваліфікується як віброзахворювання.

Вібрація як фізичний чинник виробничого середовища спостерігається в металообробній, гірничодобувній, металобудівній, машинобудівній, авіаційній та інших галузях народного господарства. Джерелом вібрації можуть бути різні механізми, вібраційне устаткування, віброінструменти, акустичні системи, транспортні та сільськогосподарські машини.

Загальна вібрація поділяється на транспортну вібрацію, яка діє на людину на робочих місцях в транспортних засобах (трактори сільськогосподарські та промислові, самохідні сільськогосподарські машини

(комбайни), тягачі, грейдери ті інші); транспортно-технологічну вібрацію, яка діє на людину на робочих місцях машин з обмеженою рухливістю (екскаватори, крани промислові та будівельні, гірничі комбайни, транспорт виробничих приміщень та інші) та технологічну вібрацію, яка діє на людину на робочих місцях стаціонарних машин чи передається на робочі, де немає джерел вібрації (верстати та метало-деревообробне, пресувально-ковальське обладнання, ливарні машини, електричні машини, насосні агрегати та вентилятори, обладнання для буріння свердловин, бурові верстати, машини для тваринництва, очищення та сортування зерна (у тому числі сушарні), обладнання промисловості будматеріалів (крім бетоноукладачів), установки хімічної та нафтохімічної промисловості та інші.

Оператори машин, які зазнають у процесі трудової діяльності впливу вібрації, підлягають попереднім та періодичним медичним оглядам відповідно до Порядку проведення медичних оглядів працівників певних категорій, затвердженого Наказом МОЗ України від 21.05.2007 р. №246.

Обов'язкові попередні (під час прийняття на роботу) та періодичні (протягом трудової діяльності) медичні огляди дозволять визначити стан здоров'я працівника та можливість виконання без погіршення стану здоров'я професійних обов'язків, своєчасно виявити ранні ознаки хронічного професійного захворювання, забезпечує динамічне спостереження за станом здоров'я в умовах дії шкідливих та небезпечних факторів і трудового процесу, вирішує питання щодо можливості продовжувати роботу в умовах дії шкідливих та небезпечних факторів і трудового процесу.

За результатами періодичних медичних оглядів роботодавець забезпечує проведення відповідних оздоровчих заходів Заключного акта у повному обсязі та усуває причини, що призводять до професійних захворювань. Організовує проведення лабораторних досліджень умов праці на робочих місцях та вживає заходів до усунення небезпечних і шкідливих для здоров'я виробничих факторів.



До роботи операторами машин допускаються особи не молодші 18 років, які пройшли попередній медичний огляд, мають відповідну кваліфікацію та ознайомлені з характером впливу вібрації на організм.

## ВИСНОВКИ

У цій кваліфікаційній роботі проведено огляд сучасної науково-технічної літератури про структуру розумних міст із підтримкою інформаційних технологій.

Обґрунтуванням цього дослідження була вимога зрозуміти та класифікувати останні тенденції впровадження технологій IoT як ключового чинника ефективного та сталого розвитку розумних міст.

Метою також було висвітлити основні відкриті виклики, які потребують розв'язання та вирішення в майбутньому. Огляд проводився як для ключових технологій IoT, які були проаналізовані з точки зору архітектури, так і для підходів і фреймворків розумного міста, які базувалися на класифікації на вісім доменів, що описують основні сфери застосування.

З цього аналізу з'ясувалося, що в останні роки, інтеграція рішень IoT та структур розумного міста досягає все більш високого рівня складності та ширшого діапазону застосування, що виходить за рамки минулого покоління вертикальних силосних додатків, які були засновані на певних доменах.

ЄС розробив конкретні ініціативи та програми IoT, такі як відкритий стандарт API Open Messaging Interface (O-MI) і Open Data Format (O-DF). Це створює нову додаткову вартість на багатьох платформах, надаючи можливість обмінюватися протоколами, даними та результатами та дозволяючи кращу й ефективнішу співпрацю між усіма залученими учасниками та зацікавленими сторонами (користувачами, постачальниками програмного забезпечення та мереж, установами, компаніями тощо).

З цією метою нове покоління розумних додатків буде управляти та оптимізувати більш складні набори різномірної інформації, даних, систем, давачів, пристроїв тощо. Однак цей процес ще не завершений, оскільки він має впоратися з кількома відкритими технічними та соціальними проблемами (щодо зусиль щодо гармонізації багатьох різних стандартів для форматів і протоколів IoT, проблем взаємодії та масштабованості та досягнення цілей стійкості), щоб

перейти до архітектур, орієнтованих на мікросервіси, додатків, керованих подіями/даними, та більш стійких рішень

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Harrison C, Donnelly IA (2011) A Theory of Smart Cities. Proceedings of the 55th Annual Meeting of the ISSS. Hull: International Society for the Systems Sciences.
2. Schaffers H, Komninos N, Pallot M, Trousse B, Nilsson M, Oliveira A (2011) Smart Cities and the Future Internet: Towards Cooperation Frameworks for Open Innovation, Lecture Notes in Computer Science.
3. T. M. Heng and L. Low, “The intelligent city: Singapore achieving the next lap: Practitioners forum,” *Technology Analysis & Strategic Management*, vol. 5, no. 2, pp. 187–202, 1993.
4. Q. Li and S. Lin, “Research on digital city framework architecture,” in *Proceedings of the International Conferences on Info- Tech and Info-Net, ICII 2001*, pp. 30–36, Beijing, China, November 2001.
5. T. Ishida, H. Ishiguro, and H. Nakanishi, “Connecting digital and physical cities,” in *Digital Cities II: Computational and Sociological Approaches*, vol. 2362 of *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 246–256, Springer, Berlin, Germany, 2002.
6. Ejaz, W.; Anpalagan, A. Internet of Things for Smart Cities: Technologies, Big Data and Security; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2019.
7. Fizza, K.; Banerjee, A.; Mitra, K.; Jayaraman, P.P.; Ranjan, R.; Patel, P.; Georgakopoulos, D. QoE in IoT: A vision, survey and future directions. *Discov. Internet Things* 2021, 1, 4.
8. Bauer, M.; Sanchez, L.; Song, J.S. IoT-enabled smart cities: Evolution and outlook. *Sensors* 2021, 21, 4511.
9. Janani, R.P.; Renuka, K.; Aruna, A.; Lakshmi Narayanan, K. IoT in smart cities: A contemporary survey. *Glob. Transit. Proc.* 2021, 2, 187–193.
10. UN-GGMI Report, Resolution Adopted by the General Assembly on 6 July 2017. 2017. Available online: [https://ggim.un.org/documents/a\\_res\\_71\\_313.pdf](https://ggim.un.org/documents/a_res_71_313.pdf) (accessed on 17 January 2022).

11. Hassan, R.J.; Zeebaree, S.R.M.; Ameen, S.Y.; Kak, S.F.; Sadeeq, M.A.M.; Ageed, Z.S.; Al-Zebari, A.; Salih, A.A. State of Art Survey For IoT effects on smart city, technology: Challenges, opportunities, and solutions. *Asian J. Res. Comput. Sci.* 2021, 8, 32–48.
12. Syed, A.S.; Sierra-Sosa, D.; Kumar, A.; Elmaghraby, A. IoT in smart cities: A survey of technologies, practices and challenges. *Smart Cities* 2021, 4, 24.
13. Pukkasenung, P.; Lilakiatsakun, W. Improved generic layer model for IoT architecture. *J. Inf. Sci. Technol.* 2021, 11, 18–29. [Google Scholar] [CrossRef]
14. Said, O.; Masud, M. Towards Internet of Things: Survey and future vision. *Int. J. Comput. Netw.* 2013, 5, 1–17.
15. Zhong, C.-L.; Zhu, Z.; Huang, R.-G. Study on the IoT architecture and gateway technology. In *Proceedings of the 14th International Symposium on Distributed Computing and Applications for Business Engineering and Science*, Guiyang, China, 18–24 August 2015.
16. Burhan, M.; Rehman, R.A.; Khan, B.; Kim, B.S. IoT elements, layered architectures and security issues: A comprehensive survey. *Sensors* 2018, 18, 2796.
17. Marques, G.; Garcia, N.; Pombo, N. A survey on IoT: Architectures, elements, applications, QoS, platforms and security concepts. In *Advances in Mobile Cloud Computing and Big Data in the 5G Era*; Springer: Cham, Switzerland, 2017; pp. 115–130.
18. Badidi, E.; Mahrez, Z.; Sabir, E. Fog computing for smart cities' big data management and analytics: A review. *Future Internet* 2020, 12, 190.
19. Sethi, P.; Sarangi, S.R. Internet of Things: Architectures, protocols, and applications. *J. Electr. Comput. Eng.* 2017, 2017, 9324035.
20. Ray, P.P. A survey on visual programming languages in Internet of Things. *Sci. Program.* 2017, 2017, 1231430.
21. Gomez, C.; Oller, J.; Paradells, J. Overview and evaluation of Bluetooth low energy: An emerging low-power wireless technology. *Sensors* 2012, 12, 11734–11753.

22. Alvear, O.; Calafate, C.T.; Cano, J.C.; Manzoni, P. Crowdsensing in smart cities: Overview, platforms, and environment sensing issues. *Sensors* 2018, 18, 460.
23. Ray, P.P. A survey on Internet of Things architectures. *J. King Saud Univ.–Comput. Inf. Sci.* 2018, 30, 291–319.
24. Ahmed, S. Performance analysis of Mobile WiMAX Technology. In *Proceedings of the International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom)*, New Delhi, India, 5–7 March 2014; pp. 959–961.
25. Ghazal, T.M.; Hasan, M.K.; Alshurideh, M.T.; Alzoubi, H.M.; Ahmad, M.; Akbar, S.S.; Al Kurdi, B.; Akour, I.A. IoT for smart cities: Machine learning approaches in smart healthcare—A review. *Future Internet* 2021, 13, 218.
26. Li, Y.; Cheng, X.; Cao, Y.; Wang, D.; Yang, L. Smart choice for the smart grid: Narrowband Internet of Things (NB-IoT). *IEEE Internet Things J.* 2018, 5, 1505–1515.
27. Yang, D.; Huang, X.; Huang, J.; Chang, X.; Xing, G.; Yang, Y. A first look at energy consumption of NB-IoT in the wild: Tools and large-scale measurement. *IEEE/ACM Trans. Netw.* 2021, 29, 2616–2631.
28. El Fawal, A.H.; Mansour, A.; Najem, M.; Le Roy, F.; Le Jeune, D. LTE-M adaptive eNodeB for emergency scenarios. In *Proceedings of the International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC)*, Jeju, Korea, 18–20 October 2017; pp. 536–541.
29. Ratasuk, R.; Mangalvedhe, N.; Bhatoolaul, D.; Ghosh, A. LTE-M evolution towards 5G massive MTC. In *Proceedings of the IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps)*, Singapore, 4–8 December 2017; pp. 1–6.
30. Beale, M.; Uchiyama, H.; Clifton, J.C. IoT evolution: What’s next? *IEEE Wirel. Commun.* 2021, 28, 5–7.
31. Linh, P.M.; Kim, T. A study of the Z-Wave Protocol: Implementing your own smart home gateway. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Computer and Communication Systems (ICCCS)*, Nagoya, Japan, 27–30 April 2018.

32. Mekki, K.; Bajic, E.; Chaxel, F.; Meyer, M. A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment. *ICT Express* 2019, 5, 1–7
33. Rao, S.K.; Prasad, R. Impact of 5G technologies on smart city implementation. *Wirel. Pers. Commun.* 2018, 100, 161–176.
34. Badii, C.; Bellini, P.; Cenni, D.; Marazzini, M.; Nesi, P.; Pantaleo, G.; Paolucci, M.; Soderi, M.; Zaza, I.; Belay, E.G.; et al. Snap4City: A scalable IOT/IOE platform for developing smart city applications. In *Proceedings of the 2018 IEEE SmartWorld, Ubiquitous Intelligence & Computing, Advanced & Trusted Computing, Scalable, Computing & Communications, Cloud & Big Data Computing, Internet of People and Smart City Innovations, Guangzhou, China, 8–12 October 2018.*
35. Hazra, A.; Adhikari, M.; Amgoth, T.; Srirama, S.N. A comprehensive survey on interoperability for IIoT: Taxonomy, standards, and future directions. *ACM Comput. Surv.* 2021, 55, 1–35.
36. Zhang, J.; Ma, M.; Wang, P.; Sun, X.D. Middleware for the Internet of Things: A survey on requirements, enabling technologies, and solutions. *J. Syst. Archit.* 2021, 117, 102098.
37. Badii, C.; Bellini, P.; Difino, A.; Nesi, P.; Pantaleo, G.; Paolucci, M. MicroServices Suite for smart city applications. *Sensors* 2019, 19, 4798.
38. Badii, C.; Bellini, P.; Cenni, D.; Mitolo, N.; Nesi, P.; Pantaleo, G.; Soderi, M. Industry 4.0 synoptics controlled by IoT applications in Node-RED. In *Proceedings of the IEEE International Conferences on Internet of Things (iThings), Rhodes, Greece, 2–6 November 2020.*
39. Collini, E.; Nesi, P.; Pantaleo, G. Deep learning for short-term prediction of available bikes on bike-sharing stations. *IEEE Access* 2021, 9, 124337–124347.
40. Bellini, P.; Bugli, F.; Nesi, P.; Pantaleo, G.; Paolucci, M.; Zaza, I. Data flow management and visual analytic for big data smart city/IOT. In *Proceedings of the 2019 IEEE SmartWorld, Ubiquitous Intelligence & Computing, Advanced & Trusted Computing, Scalable Computing & Communications, Cloud & Big*

Data Computing, Internet of People and Smart City Innovation, Leicester, UK, 19–23 August 2019.

41. Badii, C.; Bellini, P.; Difino, A.; Nesi, P. Smart city IoT platform respecting GDPR privacy and security aspects. *IEEE Access* 2020, 8, 23601–23623.
42. Mardacany, E. Smart cities characteristics: Importance of built environments components. In *Proceedings of the IET Conference on Future Intelligent Cities*, London, UK, 4–5 December 2014.
43. Demirel, D. How the smart governance model shapes cities? Cases from Europe. *J. Enterprising Communities* 2021.
44. Chun, S.A.; Adam, N.R.; Noveck, B. Smart governance in the context of smart cities: A literature review. *Inf. Polity* 2018, 3, 143–162.
45. Shahrour, I.; Xie, X. Role of Internet of Things (IoT) and crowdsourcing in smart city projects. *Smart Cities* 2021, 4, 68.
46. Papadopoulou, P.; Kolomvatsos, K.; Hadjiefthymiades, S. Internet of Things in E-Government: Applications and challenges. *Int. J. Artif. Intell. Mach. Learn.* 2020, 10, 99–118.
47. Coardos, D.; Tirziu, E.; Gheorge-Moisii, M. A general framework based on IoT technology for smart governance. In *Proceedings of the 2019 IE (Informatics in Economy) International Conference*, Bucharest, Romania, 30–31 May 2019.
48. Szádeczky, T. Enhanced functionality brings new privacy and security issues—An analysis of eI. *Masaryk. Univ. J. Law Technol.* 2018, 12, 3–28.
49. Badii, C.; Bellini, P.; Difino, A.; Nesi, P. Sii-mobility: An IoT/IoE architecture to enhance smart city mobility and transportation services. *Sensors* 2018, 19, 1.
50. BarceVICIUS, E.; Cibaite, G.; Codagnone, G.; Gineikyte, V.; Klimaviciute, L.; Liva, G.; Matulevic, L.; Misuraca, G.; Vanini, I. *Exploring Digital Government transformation in the EU*; Publications Office of the European Union: Luxembourg, 2019; JRC118857.
51. Gascó-Hernandez, M. Building a smart city: Lessons from Barcelona. *Commun. ACM* 2018, 61, 50–57.



52. Bakici, T.; Almirall, E.; Wareham, J. A smart city initiative: The case of Barcelona. *J. Knowl. Econ.* 2013, 4, 135–148.
53. Nesti, G. Defining and assessing the transformational nature of smart city governance: Insights from four European cases. *Int. Rev. Adm. Sci.* 2020, 86, 20–37.
54. Gaffney, C.; Robertson, C. Smarter than smart: Rio de Janeiro's flawed emergence as a smart city. *J. Urban Technol.* 2018, 25, 47–64.
55. Chang, F.; Das, D. Smart nation Singapore: Developing policies for a citizen-oriented smart city initiative. In *Developing National Urban Policies: Ways Forward to Green and Smart Cities*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2020; pp. 425–440.
56. Artyushina, A. Is civic data governance the key to democratic smart cities? The role of the urban data trust in Sidewalk Toronto. *Telemat. Inform.* 2020, 5, 101456.
57. Austin, L.M.; Lie, D. Data trusts and the governance of smart environments: Lessons from the failure of Sidewalk Labs. *Surveill. Soc.* 2021, 19, 255–261.
58. Yigitcanlar, T.; Han, H.; Kamruzzaman, M.; Ioppolo, G.; Sabatini-Marques, J. The making of smart cities: Are Songdo, Masdar, Amsterdam, San Francisco and Brisbane the best we could build? *Land Use Policy* 2019, 88, 104187.
59. Lee, S.K.; Kwon, H.R.; Cho, H.; Kim, J.; Lee, D. International Case Studies of Smart Cities: Songdo, Republic of Korea, IDB Report. 2016. Available online: <https://publications.iadb.org/publications/english/document/International-Case-Studies-of-Smart-Cities-Songdo-Republic-of-Korea.pdf> (accessed on 17 January 2022).
60. Shi, Q.; Zhang, Z.; He, T. Deep learning enabled smart mats as a scalable floor monitoring system. *Nat. Commun.* 2020, 11, 4609. [Google Scholar] [CrossRef]
61. Lombardi, M.; Pascale, F.; Santaniello, D. Internet of Things: A general overview between architectures, protocols and applications. *Information* 2021, 12, 87.

62. Tang, S.; Shelden, D.R.; Eastman, C.M.; Pishdad-Bozorgh, P.; Gao, X. A review of building information modeling (BIM) and the internet of things (IoT) devices integration: Present status and future trends. *Autom. Constr.* 2019, 10, 127–139.
63. Silva, B.N.; Khan, M.; Han, K. Towards sustainable smart cities: A review of trends, architectures, components, and open challenges in smart cities. *Sustain. Cities Soc.* 2018, 38, 697–713.
64. Liu, L.; Guo, X.; Lee, C. Promoting smart cities into the 5G era with multi-field Internet of Things (IoT) applications powered with advanced mechanical energy harvesters. *Nano Energy* 2021, 88, 106304.
65. Wang, J.; Meng, C.; Wang, C.T.; Liu, C.H.; Chang, C.; Li, C. A fully self-powered, ultra-stable cholesteric smart window triggered by instantaneous mechanical stimuli. *Nano Energy* 2021, 85, 105976.
66. Qiu, C.; Wu, F.; Lee, C.; Yuce, M.R. Self-powered control interface based on Gray code with hybrid triboelectric and photovoltaics energy harvesting for IoT smart home and access control applications. *Nano Energy* 2020, 70, 104456.
67. Fadhil, J.A.; Omar, O.A.; Sarhan, Q.I. A survey on the applications of smart home systems. In *Proceedings of the 2020 International Conference on Computer Science and Software Engineering (CSASE)*, Duhok, Iraq, 16–18 April 2020.
68. Liao, L.D.; Wang, Y.; Tsao, Y.-C.; Wang, I.-J.; Jhang, D.-F.; Chu, T.-S.; Tsao, C.-H.; Tsai, C.-N.; Chuang, C.-C.; Ger, T.-R.; et al. Design and validation of a multifunctional android-based smart home control and monitoring system. *IEEE Access* 2019, 7, 163313–163322.
69. Ye, B.H.; Ye, H.; Law, R. Systematic review of smart tourism research. *Sustainability* 2020, 12, 3401.
70. Bellini, P.; Cenni, D.; Nesi, P.; Paoli, I. Wi-Fi based city users' behaviour analysis for smart city. *J. Vis. Lang. Comput.* 2017, 42, 31–45.

71. Sanchez-Corcuera, R.; Nuñez-Marcos, A.; Sesma-Solance, J. Smart cities survey: Technologies, application domains and challenges for the cities of the future. *Int. J. Distrib. Sens. Netw.* 2019, 15.
72. Du, J. Application analysis of IoT technology in smart cities. In *Proceedings of the 2nd International Conference on E-Commerce and Internet Technology (ECIT)*, Hangzhou, China, 5–7 March 2021.
73. Alam, T. Cloud-based IoT applications and their roles in smart cities. *Smart Cities* 2021, 4, 64.
74. Khan, M.S.; Woo, M.; Nam, K.; Chathoth, P.K. Smart city and smart tourism: A case of Dubai. *Sustainability* 2017, 9, 2279.
75. Paiva, S.; Ahad, M.A.; Tripathi, G.S.; Feroz, N.; Casalino, G. Enabling technologies for urban smart mobility: Recent trends, opportunities and challenges. *Sensors* 2021, 21, 2143.
76. Biyik, C.; Abareshi, A.; Paz, A.; Ruiz, R.A.; Battarra, R.; Rogers, C.D.F.; Lizarraga, C. Smart mobility adoption: A review of the literature. *J. Open Innov. Technol. Mark. Complex.* 2021, 7, 146.
77. Chen, S.; Hu, J.; Shi, Y.; Peng, Y.; Fang, J.; Zhao, R.; Zhao, L. Vehicle-to-everything (v2x) services supported by LTE-based systems and 5G. *IEEE Commun. Stand. Mag.* 2017, 1, 70–76.
78. Abdelgadir, M.; Saeed, R.A.; Babiker, A. Mobility routing model for vehicular ad-hoc networks (VANETs). *Veh. Commun.* 2017, 9, 154–161.
79. De Souza, A.M.; Brennand, C.A.; Yokoyama, R.S.; Donato, E.A.; Madeira, E.R.; Villas, L.A. Traffic management systems: A classification, review, challenges, and future perspectives. *Int. J. Distrib. Sens. Netw.* 2017, 13.
80. Usha, B.A.; Sangeetha, K.N.; Suchit, T.E.; Shyam, A.; Suryanarayanan, A. Comprehensive review of smart cities using IoT. In *Proceedings of the 8th International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization (Trends and Future Directions) (ICRITO)*, Noida, India, 4–5 June 2020.

81. Golbabei, F.; Yigitcanlar, T.; Bunker, J. The role of shared autonomous vehicle systems in delivering smart urban mobility: A systematic review of the literature. *Int. J. Sustain. Transp.* 2021, 15, 731–748.
82. Barriga, J.J.; Sulca, J.; Leon, J.L.; Ulloa, A.; Portero, D.; Andrade, R.; Yoo, S.G. Smart parking: A Literature review from the technological perspective. *Appl. Sci.* 2019, 9, 4569.
83. Mogro, A.E.; Huertas, J.I. Assessment of the effect of using air conditioning on the vehicle's real fuel consumption. *Int. J. Interact. Des. Manuf.* 2021, 15, 271–285.
84. Cepeliauskaite, G.; Keppner, B.; Simkute, Z.; Stasiskiene, Z.; Leuser, L.; Kalnina, I.; Kotovica, N.; Andins, J.; Muiste, M. Smart-mobility services for climate mitigation in urban areas: Case studies of Baltic countries and Germany. *Sustainability* 2021, 13, 4127.
85. Moscholidou, I.; Pangbourne, K. A preliminary assessment of regulatory efforts to steer smart mobility in London and Seattle. *Transp. Policy* 2020, 98, 170–177.
86. Sanchez, L.; Muñoz, L.; Galache, J.A.; Sotres, P.; Santana, J.R.; Gutiérrez, V.; Ramdhany, R.; Gluhak, A.; Krco, S.; Theodoridis, E.; et al. SmartSantander: IoT experimentation over a smart city testbed. *Comput. Netw.* 2014, 61, 217–238.
87. Anthopoulous, L. Smart utopia VS smart reality: Learning by experience from 10 smart city cases. *Cities* 2017, 63, 128–148.
88. Kezai, P.K.; Fischer, S.; Lados, M. Smart economy and startup enterprises in the Visegrád Countries—A comparative analysis based on the Crunchbase Database. *Smart Cities* 2020, 3, 70.
89. Kumar, T.M.V. *Smart Economy in Smart Cities: International Collaborative Research: Ottawa, St.Louis, Stuttgart, Bologna, Cape Town, Nairobi, Dakar, Lagos, New Delhi, Varanasi, Vijayawada, Kozhikode, Hong Kong*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2017.
90. Bellini, P.; Nesi, P.; Palesi, A.L.I.; Pantaleo, G. Fashion retail recommendation system by multiple clustering. In *Proceedings of the 27th International DMS*

Conference on Visualization and Visual Languages (DMSVIVA 2021), Pittsburgh, PA, USA, 29–30 June 2021.

91. Hu, R. The state of smart cities in China: The case of Shenzhen. *Energies* 2019, 12, 4375.
92. Liu, Y.Y.; Hung, M.H.; Lin, Y.C.; Chen, C.C.; Gao, W.L.; Cheng, F.T. A Cloud-based pluggable manufacturing service scheme for smart factory. In Proceedings of the 14th IEEE International Conference on Automation Science and Engineering (CASE), Munich, Germany, 20–24 August 2018.
93. Oztemel, E.; Gursev, S. Literature review of Industry 4.0 and related technologies. *J. Intell. Manuf.* 2020, 31, 127–182.
94. Lopes, S.F.; Pereira, R.M.; Lopes, S.O.; Coutinho, M.; Malheiro, A.; Fonte, V. Yet a smarter irrigation system. *Lect. Notes Inst. Comput. Sci. Soc. Inform. Telecommun. Eng. LNICST* 2020, 323, 337–346.
95. Six Real World Examples of Digital Transformation. Available online: <https://www.smartindustry.com/blog/smart-industry-connect/six-real-world-examples-of-digital-transformation/> (accessed on 17 January 2022).
96. Akin-Ponnle, A.E.; Carvalho, N.B. energy harvesting mechanisms in a smart city—A review. *Smart Cities* 2021, 4, 25.
97. Belli, L.; Cilfone, A.; Davoli, L.; Ferrari, G.; Adorni, P.; Di Nocera, F.; Dall’Olio, A.; Pellegrini, C.; Mordacci, M.; Bertolotti, E. IoT-enabled smart sustainable cities: Challenges and approaches. *Smart Cities* 2020, 3, 52.
98. Shirazi, E.; Jadid, S. Autonomous self-healing in smart distribution grids using multi agent systems. *IEEE Trans. Ind. Inform.* 2019, 15, 6291–6301.
99. De Paz, J.F.; Bajo, J.; Rodriguez, S.; Villarrubia, G.; Corchado, J.M. Intelligent system for lighting control in smart cities. *Inf. Sci.* 2016, 372, 241–255.
100. Kumar, A.; Singh, A.; Mahanta, P.; Mukhopadhyay, C. Sensing technologies for monitoring intelligent buildings: A review. *IEEE Sens. J.* 2018, 18, 4847–4860.
101. Zanella, A.; Bui, N.; Castellani, A.; Vangelista, N.; Zorzi, M. Internet of Things for smart cities. *IEEE Internet Things J.* 2014, 1, 22–32.

102. Okai, E.; Feng, X.; Sant, P. Smart cities survey. In Proceedings of the IEEE 20th International Conference on High Performance Computing and Communications and IEEE 16th International Conference on Smart City, Exeter, UK, 28–30 June 2018.
103. Sankaran, V.; Chopra, A. Creating global sustainable smart cities (a case study of Masdar City). *J. Phys. Conf. Ser.* 2020, 1706, 012141.
104. Ramirez-Moreno, M.A.; Keshtkar, S.; Padilla-Reyes, D.A.; Ramos-Lopez, E.; García-Martinez, M.; Hernandez-Luna, M.C.; Mogro, A.E.; Mahlknecht, J.; Huertas, J.; Peimbert-Garcia, R.E. Sensors for sustainable smart cities: A review. *Appl. Sci.* 2021, 11, 8198.
105. Quadar, N.; Chehri, A.; Jeon, G.; Ahmad, A. Smart water distribution system based on IoT networks, a critical review. In *Human Centred Intelligent Systems*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2020; pp. 293–303.
106. Martinez, R.; Vela, N.; El Aatik, A.; Murray, E.; Roche, P.; Navarro, J.M. On the use of an IoT integrated system for water quality monitoring and management in wastewater treatment plants. *Water* 2020, 12, 1096.
107. Huseien, G.F.; Shah, K.W. Potential applications of 5G network technology for climate change control: A scoping review of Singapore. *Sustainability* 2021, 13, 9720.
108. Nitoslawski, S.A.; Galle, N.J.; Van Den Bosch, C.K.; Steenberg, J.W.N. Smarter ecosystems for smarter cities? A review of trends, technologies, and turning points for smart urban forestry. *Sustain. Cities Soc.* 2019, 51, 101770.
109. Po, L.; Rollo, F.; Viqueira, J.R.R.; Lado, R.T.; Bigi, A.; Lopez, J.C.; Paolucci, M.; Nesi, P. TRAF AIR: Understanding traffic flow to improve air quality. In Proceedings of the The 1st IEEE African Workshop on Smart Sustainable Cities and Communities (IEEE ASC2 2019), In Conjunction with the 5th IEEE International Smart Cities Conference, ISC2. 2019, Casablanca, Morocco, 14–17 October 2019.
110. Asghari, P.; Rahmani, A.M.; Javadi, H.S. Internet of Things applications: A systematic review. *Comput. Netw.* 2019, 148, 241–261.

111. Tian, S.; Yang, W.; Le Grange, J.M.; Wang, P.; Huang, W.; Ye, Z. Smart healthcare: Making medical care more intelligent. *Glob. Health J.* 2019, 3, 62–65.
112. Haak, D.; Page, C.E.; Deserno, T.M. A survey of DICOM viewer software to integrate clinical research and medical imaging. *J. Digit. Imaging* 2016, 29, 206–215.
113. Umair, M.; Cheema, M.A.; Cheema, O.; Li, H.; Lu, H. Impact of COVID-19 on IoT adoption in healthcare, smart homes, smart buildings, smart cities, transportation and industrial IoT. *Sensors* 2021, 21, 3838.
114. Atitallah, S.B.; Driss, M.; Boulila, W.; Ghezala, H.B. Leveraging Deep Learning and IoT big data analytics to support the smart cities development: Review and future directions. *Comput. Sci. Rev.* 2020, 38, 100303.
115. Apanaviciene, R.; Urbonas, R.; Fokaides, P.A. Smart building integration into a smart city: Comparative study of real estate development. *Sustainability* 2020, 12, 9376.
116. BOE Hefei Digital Hospital. Available online: <https://www.wsp.com/en-CN/projects/boe-hefei-digital-hospital> (accessed on 17 January 2022).
117. How Smart Hospitals Can Improve Healthcare. Available online: [https://stlpartners.com/digital\\_health/how-smart-hospitals-can-improve-healthcare/](https://stlpartners.com/digital_health/how-smart-hospitals-can-improve-healthcare/) (accessed on 17 January 2022).