

ПАЛЯНИЦЯ ЮРІЙ

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

<https://orcid.org/0000-0002-8710-953X>e-mail: palanizayb@tntu.edu.ua**ДУНЕЦЬ ВАСИЛЬ**

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

<https://orcid.org/0000-0003-2513-9191>e-mail: vasyadunets@gmail.com**ДЕДІВ ІРИНА**

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

<https://orcid.org/0000-0002-4913-139X>e-mail: dediv@tntu.edu.ua**ХВОСТИВСКА ЛІЛІЯ**

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

<https://orcid.org/0000-0002-4997-8339>E-mail: hvostivska@gmail.com**СВЕРСТІЮК АНДРІЙ**

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Тернопільський національний медичний університет імені І.Я. Горбачевського

<https://orcid.org/0000-0001-8644-0776>e-mail: sverstyuk@tdmu.edu.ua

РОЗВИТОК КОНЦЕПЦІЇ SMART SYSTEMS TA MOBILITY AS A SERVICE: ТЕНДЕНЦІЇ ОСТАННЬОГО ДЕСЯТИЛІТТЯ

У цій статті представлено комплексний аналіз тенденцій розвитку «розумних систем» і «мобільності як послуги» (MaaS) на основі публікацій бази даних Scopus за період з 2014 по 2024 рік. Використовуючи широкий пошуковий запит, що охоплює різні аспекти технологій розумного міста, включаючи пристрої на основі штучного інтелекту, Інтернет речей, сталий розвиток та послуги мобільності, ми виявили та проаналізували 187 550 релевантних публікацій. Дослідження виявило значне зростання наукового інтересу: кількість публікацій зросла з 4 406 у 2014 році до 34 948 у 2024 році. За результатами дослідження нами представлено інноваційний підхід до розробки модульної веб-системи в рамках концепції «Мобільність як послуга» (Mobility-as-a-Service, MaaS), спрямованої на покращення послуг міської мобільності. Система може функціонувати як самостійне рішення, так і як розширення існуючих мобільних веб-додатків, якими зазвичай користуються мешканці міста. Особлива увага приділяється інтеграції додатків служб таксі, використанню їх безперервної фонові роботи та доступу до геолокаційних даних. Запропонована система включає технології штучного інтелекту, Інтернету речей та великих даних для збору та аналізу даних у режимі реального часу, що забезпечує інтелектуальне управління транспортом та підвищує рівень безпеки. Дослідження представляє кілька ключових інновацій, включаючи модулі моніторингу на основі штучного інтелекту, що використовують камери смартфонів для оцінки безпеки водіїв, розпізнавання облич для контролю доступу та можливості медичного моніторингу через реєстрацію ЕКГ та ПКГ. Система також інтегрує оптимізацію доставки та поштових послуг, екстрену медичну допомогу та реалізує інклюзивні функції дизайну, такі як голосове управління та розпізнавання жестів для користувачів з обмеженими можливостями. Розроблене рішення демонструє значний потенціал для покращення міської транспортної інфраструктури, посилення заходів безпеки, зменшення впливу на навколишнє середовище та підвищення доступності та зручності послуг мобільності для всіх громадян. Модульна архітектура забезпечує масштабованість та безперешкодну інтеграцію з існуючими міськими службами, сприяючи просуванню концепції «розумних систем» та сталому розвитку міст.

Ключові слова: Розумні системи, мобільність як послуга (MaaS), розумне місто, інтернет речей, міська мобільність, транспортні системи, транспортна безпека, штучний інтелект, модульна архітектура, інклюзивний дизайн, моніторинг у реальному часі.

PALIANYTSIA YURIY, DUNETS VASYL, DEDIV IRYNA, KHVOSTIVSKA LILIA

Ternopil Ivan Puluj National Technical University

SVERSTIUK ANDRIY

Ternopil Ivan Puluj National Technical University

Ternopil Ivan Horbachevsky National Medical University

DEVELOPMENT OF THE CONCEPT OF SMART SYSTEMS AND MOBILITY AS A SERVICE: TRENDS OF THE LAST DECADE

This article presents a comprehensive analysis of the trends in smart systems and mobility as a service (MaaS) based on publications in the Scopus database from 2014 to 2024. Using a broad search query covering various aspects of smart city technologies, including artificial intelligence devices, the Internet of Things, sustainable development, and mobility services, we identified and analyzed 187,550 relevant publications. The study revealed a significant increase in scientific interest: the number of publications grew from 4,406 in 2014 to 34,948 in 2024. Based on the results of the study, we present an innovative approach to the development of a modular web-based system within the Mobility-as-a-Service (MaaS) concept aimed at improving urban mobility services. The system can function as a stand-alone solution or as an extension of existing mobile web applications commonly used by city residents. Particular attention is paid to the integration of taxi service applications, the use of their continuous background work, and access to geolocation data. The proposed system incorporates artificial intelligence, the Internet of Things, and big data technologies to collect and analyze data in real time, which ensures

intelligent transportation management and increases safety. The study introduces several key innovations, including AI-based monitoring modules that use smartphone cameras to assess driver safety, facial recognition for access control, and medical monitoring capabilities through ECG and PKG recording. The system also integrates optimization of delivery and postal services, and emergency medical care, and implements inclusive design features such as voice control and gesture recognition for users with disabilities. The developed solution demonstrates significant potential for improving urban transportation infrastructure, enhancing safety measures, reducing environmental impact, and increasing the accessibility and convenience of mobility services for all citizens. The modular architecture ensures scalability and seamless integration with existing city services, contributing to the promotion of the concept of "smart systems" and sustainable urban development.

Keywords: Smart systems, mobility as a service (MaaS), smart city, Internet of things, urban mobility, transport systems, transport safety, artificial intelligence, modular architecture, inclusive design, real-time monitoring.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

У сучасному світі, якість життя міських жителів стає все важливішим аспектом, особливо в контексті розвитку міст. Комфорт людини і її здоров'я мають центральне значення, що веде до активного розвитку концепцій Smart City та Smart Systems. Ці концепції включають широкий спектр технологій, таких як AI-powered Smart Devices, Internet of Things (IoT), Web-Based/Cloud-Based Mobile Development, Geosystems, Geospatial Data, Геолокаційні Сервіси, Навігаційні Системи, Карти та Геокодування, Sustainability, Вуглецевий Слід, Urban Pollution, Data Collection CRUD System, Data Management, Intelligent Routing System, Mobility-as-a-Service (MaaS) та інші.

Smart City визначається як місто, яке використовує інформаційні та комунікаційні технології (ICT) для підвищення операційної ефективності, поділу інформації з громадськістю та забезпечення кращого якості життя для міських жителів [1]. Основні характеристики Smart City включають цифрові будівлі, інфраструктуру, мобільність, домашнє господарство, та енергетику [2]. Ключові характеристики Smart City 6.0 включають громадянорієнтованість, даних-орієнтоване прийняття рішень, утриманність та інноваційність та підприємництво [3].

AI-powered Smart Devices та IoT є ключовими компонентами для реалізації концепції Smart City. Ці технології дозволяють автоматизацію процесів, оптимізацію ресурсів та підвищення безпеки міста. Наприклад, AI-powered threat detection systems можуть виявляти загрози, такі як зброя, постріли та підозріла поведінка, що збільшує безпеку громадськості [3].

Sustainability є одним із основних аспектів Smart City. Міста, що впроваджують Smart City концепції, часто прагнуть зменшити вуглецевий слід та урбанічне забруднення. Це досягається за допомогою збору та аналізу даних про енергопотужність, викиди вуглецю та забруднення повітря [4]. Intelligent Routing Systems та Mobility-as-a-Service (MaaS) допомагають оптимізувати маршрути транспорту, що зменшує трафік та забруднення повітря [5].

Accessibility та inclusive design є важливими аспектами для забезпечення рівного доступу до послуг для всіх громадян, включаючи людей з вадами. AI-powered security monitoring systems можуть виявляти звукові загрози та надавати відповідні варнінги для людей з порушеннями слуху. Це включає розпізнавання сирен, пожежних, поліцейських сирен, гавкання собак, крик людини та інші звуки, які можуть свідчити про загрозу [6].

Mobility-as-a-Service (MaaS) є ключовою технологією для оптимізації міського транспорту. Ці сервіси, такі як ride-hailing services (Uber, Bolt, Lyft, Uklon), ride-sharing platforms (UberPool, BlaBlaCar), та on-demand transportation services, дозволяють ефективно керувати транспортними потоками та зменшувати трафік. E-hailing services також відіграють важливу роль, надаючи громадянам зручний спосіб виклику транспорту через мобільні додатки [7-9]. MaaS має на меті подолати розрив між державними та приватними транспортними операторами, потенційно зменшуючи кількість приватних транспортних засобів та пов'язані з цим негативні зовнішні ефекти [10-11]. Впровадження MaaS стикається з кількома проблемами, включаючи державно-приватне співробітництво, безпеку даних та адаптацію користувачів різних демографічних груп [12].

Ще одним аспектом є оптимізація маршрутів з урахуванням екологічних факторів використовуючи дані про рівень забруднення повітря, викиди CO₂ [13] та завантаженість доріг. Тому таким важливим є подальше дослідження концепції Smart Systems шляхом аналітичного огляду наукових публікацій у наукометричній базі Scopus [14] за останнє десятиліття.

Аналіз досліджень та публікацій

З метою здійснення релевантного пошуку публікацій щодо аналізу концепції Smart Systems, яка стосується цифрової трансформації міст за останнє десятиліття, у наукометричній базі Scopus був сформований розширений запит:

TITLE-ABS-KEY("Smart Systems") OR TITLE-ABS-KEY("Smart City") OR TITLE-ABS-KEY("AI-powered Smart Devices") OR TITLE-ABS-KEY(IoT) OR TITLE-ABS-KEY("WEB Based Mobile Development") OR TITLE-ABS-KEY("Cloud Based Mobile Development") OR TITLE-ABS-KEY(Geosystems) OR TITLE-ABS-KEY("Geospatial data") OR TITLE-ABS-KEY("Geolocation services") OR TITLE-ABS-KEY("Navigation systems") OR TITLE-ABS-KEY("Maps and geocoding") OR TITLE-ABS-KEY(Sustainability) OR TITLE-ABS-KEY("Carbon footprint") OR TITLE-ABS-KEY("Urban pollution") OR TITLE-ABS-KEY("Data collection CRUD system") OR TITLE-ABS-KEY("Data Management") OR TITLE-ABS-KEY("Intelligent

Routing System") OR TITLE-ABS-KEY("Mobility-as-a-Service") OR TITLE-ABS-KEY("Ride-Hailing Services") OR TITLE-ABS-KEY("Ride-Sharing Platforms") OR TITLE-ABS-KEY("On-Demand Transportation Services") OR TITLE-ABS-KEY("E-hailing Services") OR TITLE-ABS-KEY("Threat detection systems") OR TITLE-ABS-KEY("AI-powered threat detection") OR TITLE-ABS-KEY("Weapon detection system") OR TITLE-ABS-KEY("Gunshot detection system") OR TITLE-ABS-KEY("Acoustic threat detection") OR TITLE-ABS-KEY("AI-powered surveillance") OR TITLE-ABS-KEY("Behavioral threat detection") OR TITLE-ABS-KEY("AI-powered security monitoring system") OR TITLE-ABS-KEY("AI-driven real-time threat detection") OR TITLE-ABS-KEY(Accessibility) OR TITLE-ABS-KEY("Inclusive design") OR TITLE-ABS-KEY("Deaf accessibility") OR TITLE-ABS-KEY("Hearing accessibility") OR TITLE-ABS-KEY("Inclusive communication") OR TITLE-ABS-KEY("Assistive technology for the deaf and hard of hearing") OR TITLE-ABS-KEY("Universal design for hearing accessibility") AND (TITLE-ABS-KEY(model* method*) OR TITLE-ABS-KEY(analysis) OR TITLE-ABS-KEY(classification) OR TITLE-ABS-KEY(diagnostic) OR TITLE-ABS-KEY(construction) OR TITLE-ABS-KEY(evaluation) OR TITLE-ABS-KEY(review) OR TITLE-ABS-KEY("computer system") OR TITLE-ABS-KEY("decision making") OR TITLE-ABS-KEY("expert system")) AND PUBYEAR > 2013 AND PUBYEAR < 2025 AND (LIMIT-TO (SUBJAREA,"COMP") OR LIMIT-TO (SUBJAREA,"ENGI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA,"MATH") OR LIMIT-TO (SUBJAREA,"DECI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA,"NEUR") OR LIMIT-TO (SUBJAREA,"MULT")).

У результаті розширеного пошуку в наукометричній базі Scopus було знайдено 254 898 документів. Після додаткового уточнення ключових слів, наприклад, частина з яких: “Smart City”, “IoT”, “Decision Making”, “Sustainability”, “Sustainable Development”, “Artificial Intelligence”, “Carbon Footprint”, “Cloud Computing”, “Environmental Sustainability”, “Health Care”, “Internet Of Thing”, “Machine Learning”, “Security”, “Learning Algorithms”, “Embedded Systems”, “Wireless Sensor Networks”, “Intelligent Buildings”, “Authentication”, “5G Mobile Communication Systems”, “Quality Of Service”, “Intelligent Systems”, кількість знайдених публікацій вже становила 187 550 документів за останніх десять років. Це показує великий інтерес науковців до тематики розвитку концепції Smart Systems у всьому світі та її надзвичайну актуальність. Динаміка публікацій за роками (рис. 1) відображає невинне плавне зростання: від 4406 праць у 2014 році до 34948 за 2024 рік.

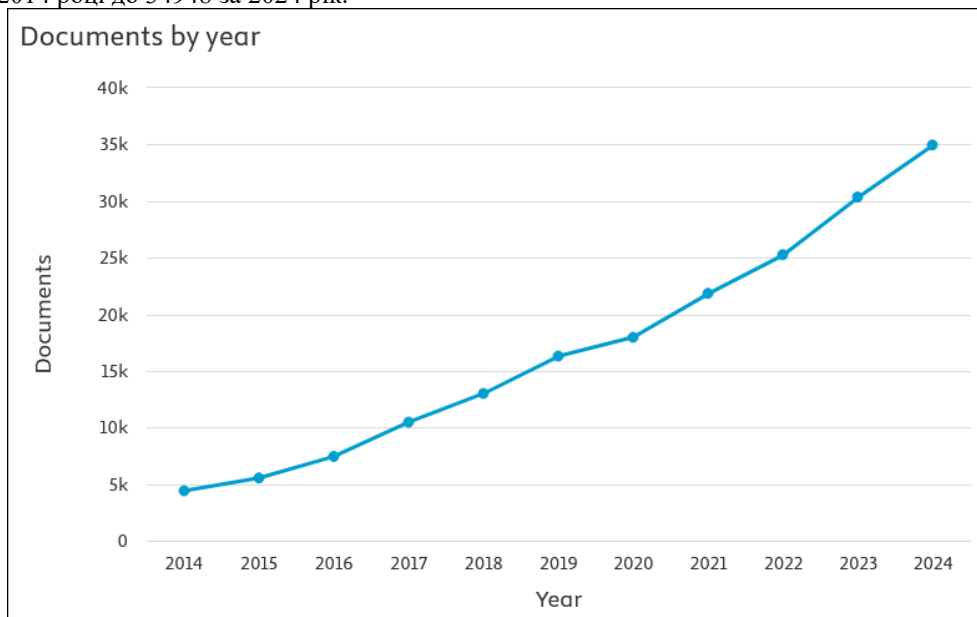


Рис.1. Динаміка публікацій в наукометричній базі Scopus за роками

За результатами глибокого аналізу найбільш релевантних наукових публікацій у наукометричній базі Scopus можна відзначити наступне. У статті Kamargianni Maria, Weibo Li, Melinda Matyas, Andreas Schäfer представлений комплексний аналіз концепції “Mobility as a Service” (MaaS) як інноваційного підходу до організації міської мобільності. Дослідження базується на вивченні 15 існуючих MaaS-систем у розвинених країнах, переважно в Західній Європі. Методологія дослідження включає систематизацію існуючих схем за рівнями інтеграції: часткова, розширена без мобільних пакетів, розширена з мобільними пакетами; розробку індексу мобільної інтеграції на основі чотирьох ключових компонентів: інтеграція квитків, платежів, ІКТ та мобільних пакетів; порівняльний аналіз існуючих систем за розробленим індексом. У таблиці 1 представлено огляд схем MaaS, представлених у статті Kamargianni Maria та інших авторів. Вона включає в себе область, в якій вони працюють, тип інтеграції та режими, які вони включають. Основним науковим результатом є створення методології оцінювання рівня інтеграції MaaS-систем через розроблений індекс, що дозволяє кількісно порівнювати різні схеми впровадження (табл. 2). Виявлено, що найвищий рівень інтеграції демонструє Helsinki Model (10 балів), що поєднує всі типи інтеграції з широким спектром транспортних опцій [15].

Таблиця 1

Короткий огляд схем МaaS

Схема	Область	Тип інтеграції*				Режими
		1	2	3	4	
STIB+Cambio	Брюссель	X				каршерінг, залізниця, міський громадський транспорт, таксі
Qixxit	Німеччина			X		каршерінг, каршерінг, оренда авто, залізничний транспорт, міський громадський транспорт, таксі + переліт, автобус
Moovel	Німеччина		X	X		велопрокат, каршерінг, прокат автомобілів, залізничний транспорт, міський громадський транспорт, таксі
Svritchh	Гамбург	X		X		спільне користування велосипедом, спільне користування автомобілем, оренда автомобіля залізницею, міський громадський транспорт, таксі + паром
Hannovermobil	Ганновер	X	X	X		каршерінг, оренда авто залізницею, міський громадський транспорт, таксі
EMMA	Монпельє	X	X	X		спільне користування велосипедом, спільне користування автомобілем, залізничний міський громадський транспорт
Mobility Mixx	Нідерланди	X	X	X		каршерінг, каршерінг, прокат автомобілів, залізничний транспорт, міський громадський транспорт, таксі
NS-Business Card	Нідерланди	X	X	X		каршерінг, прокат автомобілів, залізничний міський громадський транспорт, таксі
Radiuz Total Mobility	Нідерланди	X	X	X		велопрокат, каршерінг, прокат автомобілів, залізничний транспорт, міський громадський транспорт, таксі
Smile**	Відень	X	X	X		велопрокат, каршерінг, прокат автомобілів, залізниця, міський громадський транспорт, таксі
Optimod' Lyon**	Ліон	X	X	X		VELOшерінг, каршерінг, прокат автомобілів, міський громадський транспорт, таксі + переліт, вантажні перевезення
BeMobility**	Берлін	X	X	X		спільне користування велосипедом, спільне користування автомобілем, залізничний міський громадський транспорт, таксі
SHIFT	Лас-Вегас	X	X	X	X	каршерінг, каршерінг, оренда авто, міський громадський транспорт
UbiGo	Гетеборг	X	X	X	X	спільне користування велосипедом, спільне користування автомобілем, оренда автомобіля міський громадський транспорт
Helsinki Model**	Гельсінкі	X	X	X	X	спільне користування велосипедом, спільне користування автомобілем, оренда автомобіля залізничний транспорт, міський громадський транспорт, таксі + транспорт на вимогу

*1: Інтеграція квитків, 2: Інтеграція платежів, 3: Інтеграція ІКТ, 4: Інтеграція пакетів мобільності **У стадії дослідження

Дослідження Cisterna, C., Madani, N., Bandiera, C., Viti, F., & Cools, M. присвячене комплексному аналізу моделювання систем Mobility-as-a-Service (MaaS) та охоплює такі ключові аспекти: критичні фактори, що характеризують модель MaaS – соціально-економічні характеристики, поведінкові установки та звички користувачів, фактори, пов'язані безпосередньо з MaaS; виявлено обмеження існуючих підходів до моделювання поведінки користувачів – недостатнє врахування гетерогенності потреб користувачів, обмежене відображення взаємодії попиту та пропозиції, складність моделювання багатосторонньої платформи. Запропоновано концептуальну основу для моделювання екосистеми MaaS, що враховує бізнес-моделі різних акторів, взаємодію між постачальниками послуг та роль регуляторів і посередників. Дослідження виявило необхідність розробки більш досконалих моделей, здатних відображати складну динаміку взаємодії між учасниками системи MaaS та враховувати гетерогенність користувачів [16].

Таблиця 2

Індекс інтеграції МaaS						
Схема	Оцінка ТІ	РІ оцін ка	JP оцін ка	В оцін ка	МІ оцін ка	Загал. оцінк а
Helsinki Model	6 (спільне користування велосипедом, спільне користування автомобілем, оренда автомобіля, залізниця, міський громадський транспорт, таксі)	1	1	1	1	10
UbiGo	5 (спільне користування велосипедом, спільне користування автомобілем, оренда автомобіля, міський громадський транспорт, таксі)	1	1	1	1	9
Smile	6 (спільне користування велосипедом, спільне користування автомобілем, оренда автомобіля, залізниця, міський громадський транспорт, таксі)	1	1	1	0	9
Optimod' Lyon	6 (спільне користування велосипедом, спільне користування автомобілем, оренда автомобіля, залізничний міський громадський транспорт, таксі)	1	1	1	0	9
Mobility Mixx	6 (спільне користування велосипедом, спільне користування автомобілем, оренда автомобіля, залізничний міський громадський транспорт, таксі)	1	1	1	0	9
SHIFT	4 (спільне користування велосипедом, спільне користування автомобілем, оренда автомобіля, міський громадський транспорт)	1	1	1	1	8
BeMobility	5 (спільне користування велосипедом, спільне користування автомобілем, залізниця, міський громадський транспорт, таксі)	1	1	1	0	8
Radiuz Total Mobility	6 (спільне користування велосипедом, спільне користування автомобілем, оренда автомобіля, залізниця, міський громадський транспорт, таксі)	1	1	0	0	8
Switchh	6 (спільне користування велосипедом, спільне користування автомобілем, оренда автомобіля, залізниця, міський громадський транспорт, таксі)	0	1	1	0	8
Hannovermobility	5 (каршерінг, оренда авто, залізниця, міський громадський транспорт, таксі)	1	1	0	0	7
EMMA	4 (спільне користування велосипедом, спільне користування автомобілем, залізниця, міський громадський транспорт)	1	1	1	0	7
NS-Business	5 (каршерінг, оренда авто, залізничний, міський громадський транспорт, таксі)	1	1	0	0	7
STIB+Cambio	4 (каршерінг, залізниця, міський громадський транспорт, таксі)	0	0	0	0	4
Moovel	0	1	1	1	0	3
Qixxit	0	0	1	1	0	2

Науковці Santos, G., & Nikolaev, N. у статті [17] зосередилися на визначеннях, рівнях інтеграції, екосистемі МaaS та її потенціалі для просування сталої мобільності, зазначаючи що МaaS має потенціал для підвищення сталості транспортних систем шляхом інтеграції різних видів транспорту (громадський транспорт, спільні автомобілі, велосипеди тощо) в єдину платформу, що полегшує користувачам планування, бронювання та оплати поїздок. Існують різні рівні інтеграції [18], і це призвело до (одночасного) розвитку топологічної моделі і моделі таксономії. Основна схожість між цими двома моделями полягає в тому, що різні рівні визначаються в термінах “інтеграції”. Основна відмінність між двома моделями полягає в тому, що модель таксономії враховує оперативну інтеграцію та когнітивні зусилля, крім інтеграції інформації про різні види та маршрути та інтеграцію оплати та продажу квитків [19-20].

Хоча всебічний аналіз впливу MaaS все ще обмежений, перші пілотні дослідження свідчать про переваги для різних груп зацікавлених сторін. Оскільки MaaS продовжує розвиватися, необхідні подальші дослідження, щоб повністю зрозуміти його вплив на моделі поїздки і поведінку користувачів.

На рис. 2 представлена хмара слів, яка відображає ключові слова авторів публікацій бази даних Scopus за досліджуваною тематикою.

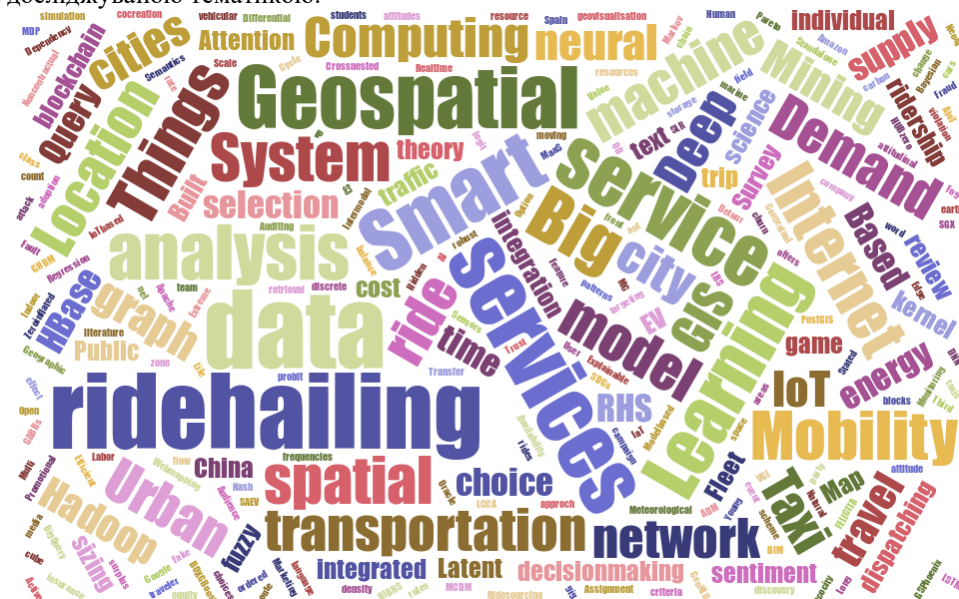


Рис.2. Хмара ключових слів, які використовуються в публікаціях авторів

Динаміка зміни кількості документів за джерелами публікацій відображає стрімкий ріст з 2019 року в Sustainability Switzerland (від 849 праць у 2019 році до 3073 праці у 2024 році), тоді як IEEE Internet Of Things Journal, IEEE Access, Journal Of Cleaner Production та Lecture Notes In Computer Science Including Subseries Lecture Notes In Artificial Intelligence And Lecture Notes In Bioinformatics показують майже однаковий рівень (рис. 3).

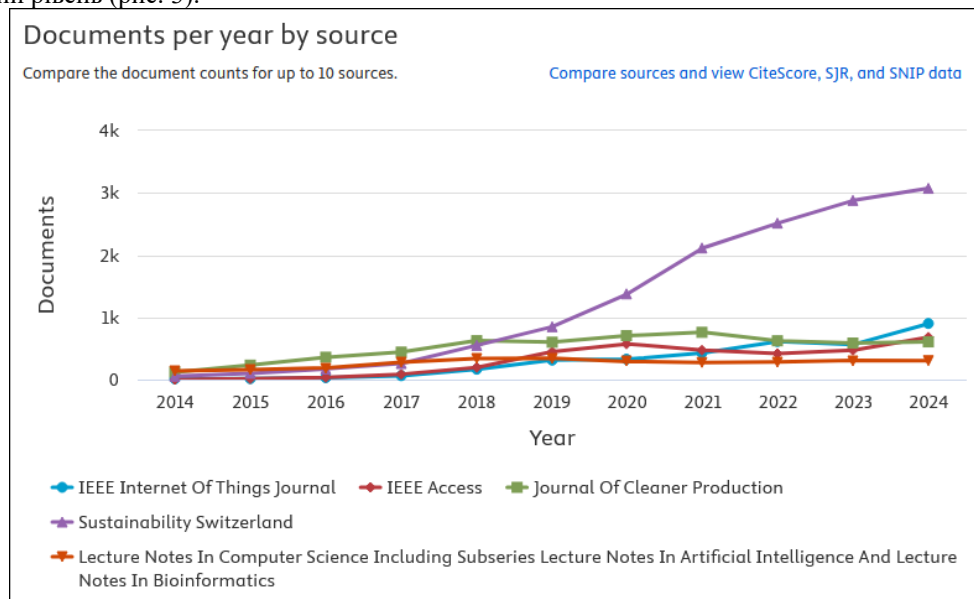


Рис.3. Кількість документів за джерелами публікацій

Лідером серед авторів з найбільшою кількістю публікацій (201 документ) є Guizani, M., далі першу п'ятірку замикають науковці Rodrigues, J.J.P.C. – 170, Kumar, N. – 166, Choo, K.K.R. – 123 та Das, A.K. – 120 наукових праць (рис. 4).

За кількістю публікацій серед організацій лідирує Chinese Academy of Sciences – 1841 документ, далі Ministry of Education of the People's Republic of China – 1750 документів, Tsinghua University – 1090 та CNRS Centre National de la Recherche Scientifique – 1085 наукових праць (рис. 5).

У розрізі кількості публікацій за країнами або територіями беззаперечно лідирує Китай – 35 774 наукові праці, далі Індії – 27 936 праць та США – 24 873 наукові публікації. Отже, це свідчить швидше за все про велику увагу цих країн до цифрової трансформації великих міст та мегаполісів, впровадження концепції Smart Systems для створення стійких, безпечних та інклюзивних міських просторів (рис. 6).

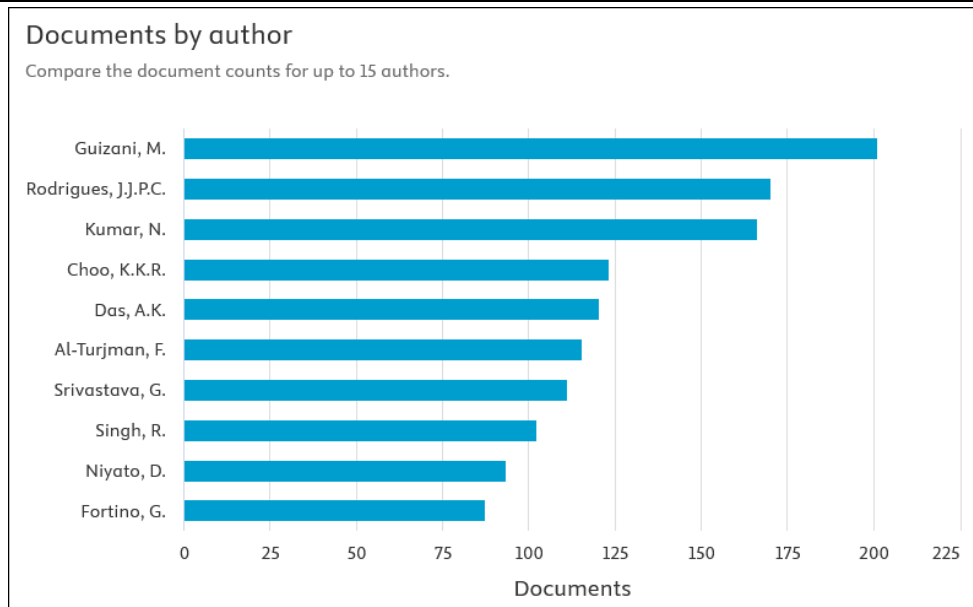


Рис.4. Кількість публікацій у базі Scopus за авторами

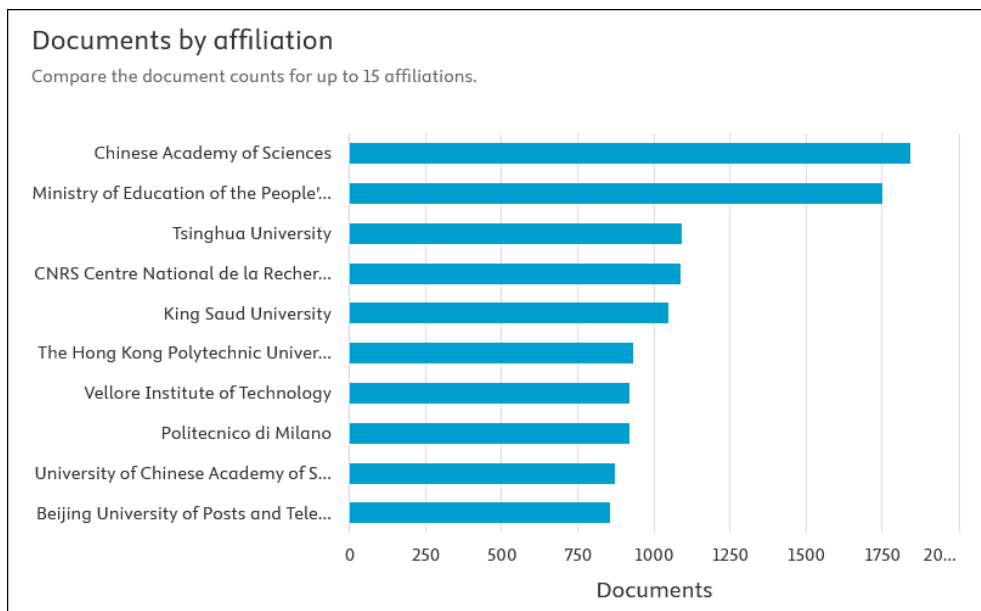


Рис.5. Кількість публікацій в розрізі приналежності до організацій

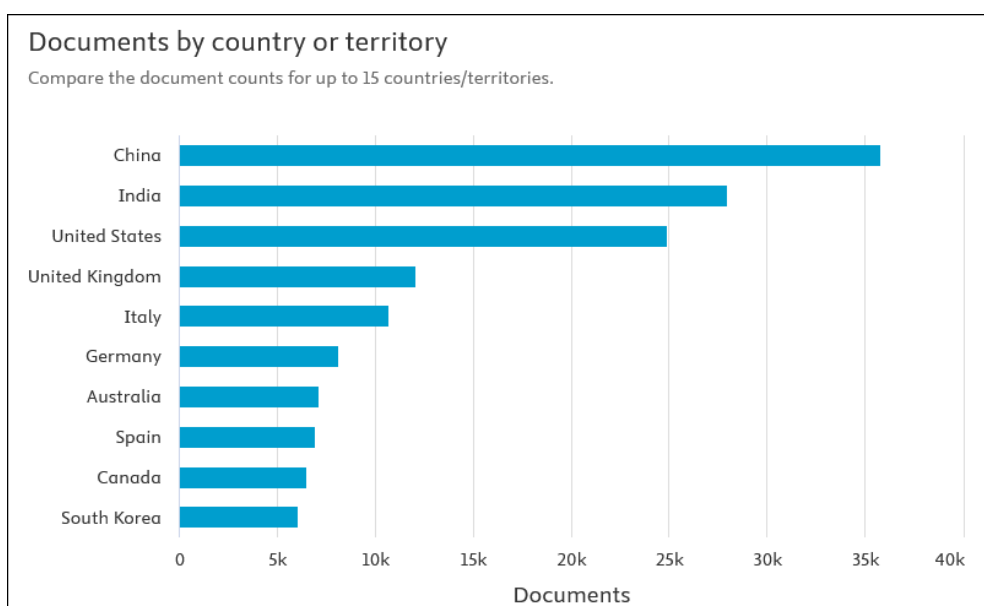


Рис.6. Кількість публікацій за країнами або територіями

Серед наукових праць за типами документів переважали статті – 50,4%, матеріали конференцій – 39,8% та оглядові статті – 5,8% (рис. 7).

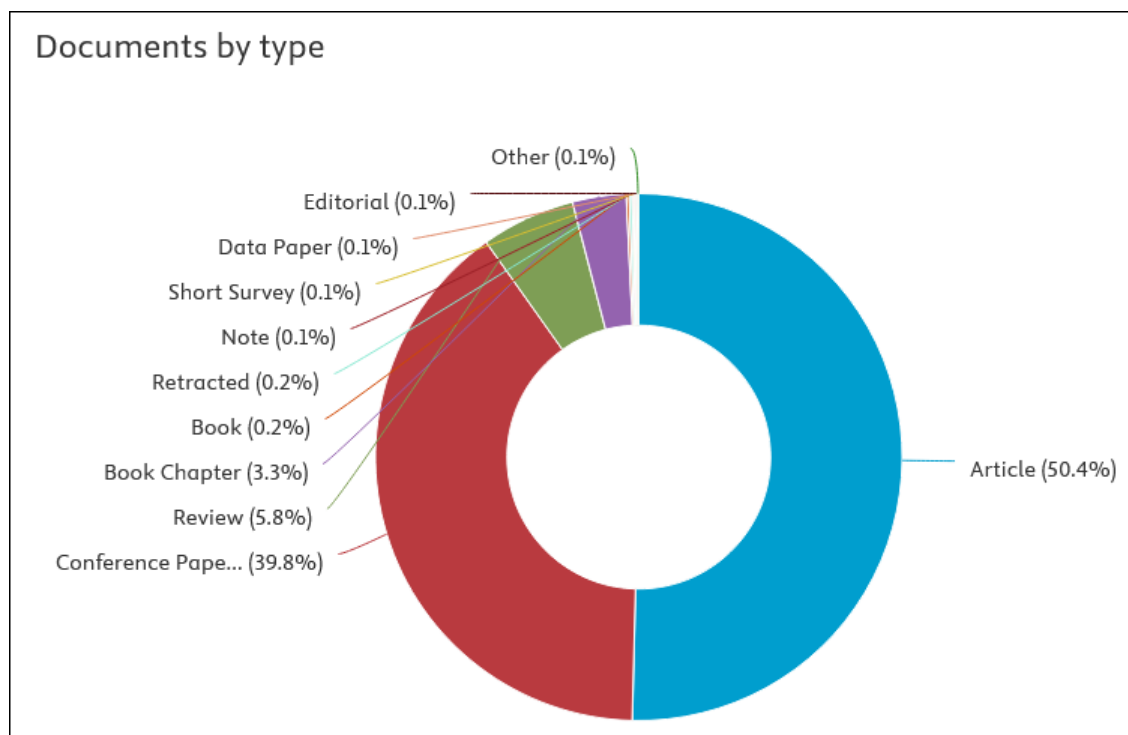


Рис.7. Кількість праць за видами публікацій

За належністю до предметної області публікації розподілялися на: комп'ютерні науки – 26,0%, інженерія – 23,3%, енергетика – 7,8%, наука про довкілля – 6,6%, соціальні науки – 6,6% та математика – 6,1% (рис. 8).

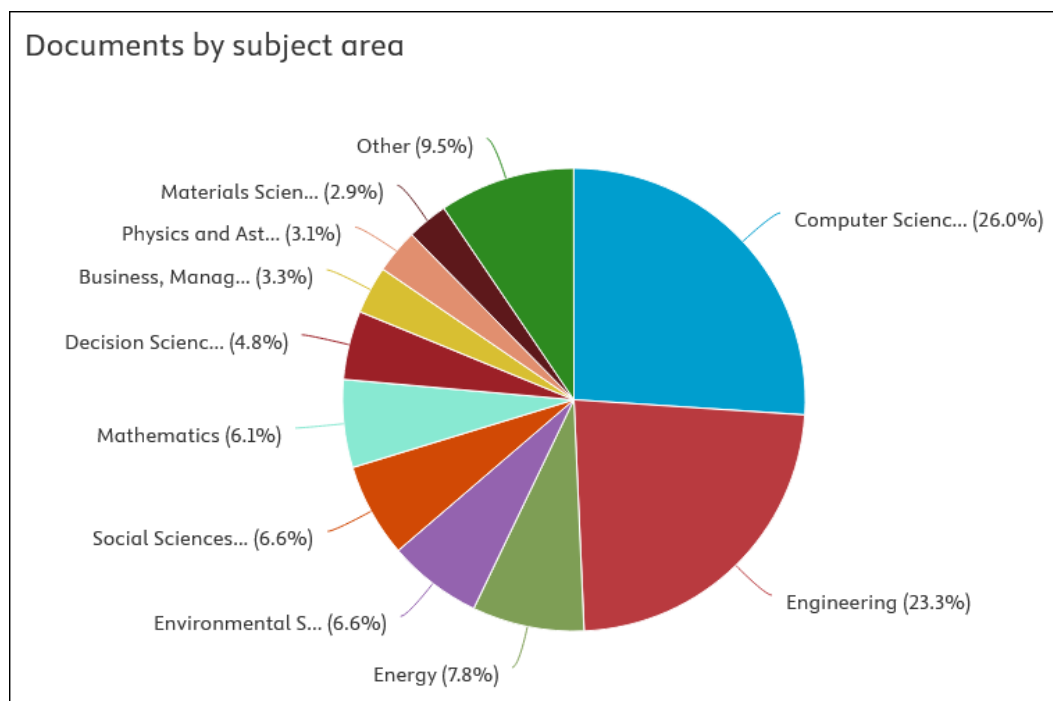


Рис.8. Кількість публікацій за предметними областями

Найбільше наукових досліджень спонсоровували National Natural Science Foundation of China – 13 008 наукових праць, European Commission – 5 646 праць, Ministry of Science and Technology of the People's Republic of China – 5 340 праць (рис. 9).

Отже, найбільшими спонсорами є Китай та Європейська Комісія, що свідчить про найбільший інтерес та зацікавленість у наукових розробках з даної тематики.

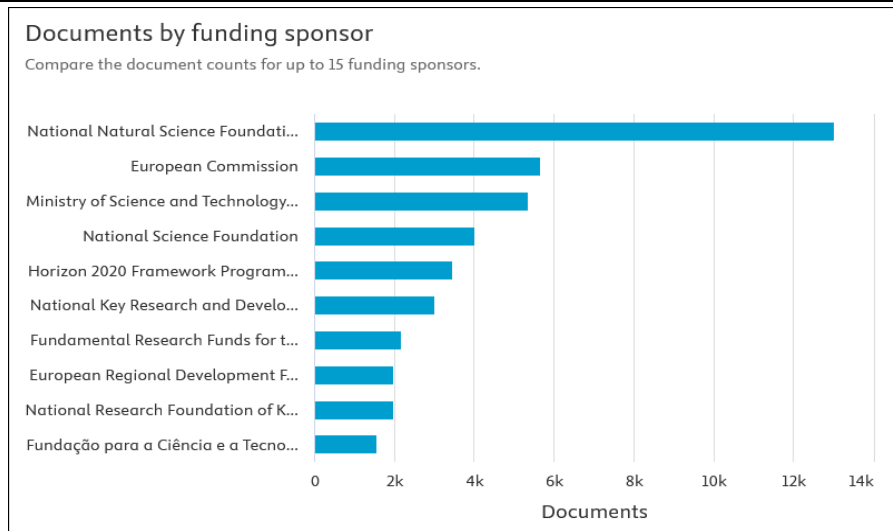


Рис.9. Кількість публікацій за спонсорською підтримкою

Підхід до розвитку модульної системи в рамках концепції Mobility-As-A-Service

Отримані результати використані для подальшого розвитку концепції Smart Systems та вдосконалення міських сервісів з урахуванням сучасних технологічних можливостей та потреб користувачів. У подальшому ми розробляємо модульну WEB Based систему, яка може працювати як Stand Alone, так і як доповнення до існуючих WEB Based Mobile First Apps, що широко використовуються міськими жителями у повсякденному житті. Такий підхід дозволяє створити масштабовану та гнучку архітектуру, яка може легко інтегруватися з уже функціонуючими сервісами та розширювати їхній функціонал. Особлива увага у дослідженні приділяється додаткам служб таксі, оскільки вони відіграють ключову роль у мобільності міста, забезпечуючи швидке та зручне транспортування пасажирів у будь-який час доби.

Однією з головних переваг таксомоторних додатків є їхня постійна активність: вони працюють у фоновому режимі та мають доступ до важливих геолокаційних даних. До того ж, пристрої, на яких запуснені додатки служб таксі, зазвичай мають стабільне джерело живлення у вигляді бортової електричної системи автомобіля. Це відкриває можливості для впровадження додаткових інтелектуальних сервісів, які використовують AI, IoT, та Big Data для збору, аналізу та обробки інформації у реальному часі. Ми пропонуємо реалізувати модульну систему в рамках концепції Mobility-as-a-Service (MaaS), що дозволить створити єдину інтегровану платформу для управління міським транспортом. Одним із ключових напрямків є інтеграція зі службами доставки та поштовими сервісами, що дасть змогу ефективніше використовувати наявні ресурси, знижуючи витрати та мінімізуючи кількість пустих рейсів. Важливу роль відіграє також підтримка медичних послуг та екстреної допомоги: система дозволить викликати швидку, планувати медичні поїздки та автоматично визначати найближчий доступний лікувальний заклад залежно від місцезнаходження пацієнта.

Окрему увагу приділено безпеці пасажирів і водіїв: застосування AI-аналізу дозволить виявляти небезпечні ситуації, такі як загрози нападу чи дорожні інциденти, а також автоматично сповіщати аварійні служби та фіксувати події [21]. Важливим аспектом системи є модуль спостереження, що використовують камеру мобільного телефону для підвищення безпеки на дорозі. Завдяки аналізу зображення штучний інтелект може визначати ознаки засинання водія, оцінювати рівень його уваги за кермом, а також ідентифікувати вік, запобігаючи водінню неповнолітніми. Додатково буде передбачено використання Face ID для точної ідентифікації водія, що підвищує контроль доступу до транспортного засобу. Окремий модуль займається реєстрацією електрокардіограми (ЕКГ) та фонокардіограми (ФКГ) для моніторингу стану серця [22-23], а в майбутньому планується застосування камери для запису фотоплетизмографії (PPG), що дозволить оцінювати серцевий ритм та стан кровообігу безконтактним методом (рис. 10).

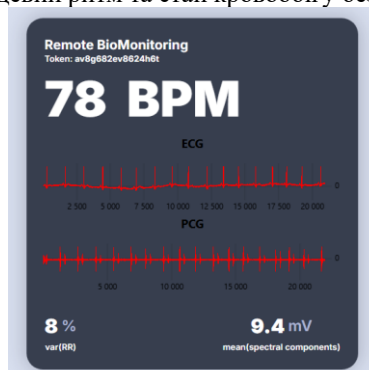


Рис.10. Модуль віддаленої реєстрації електрокардіограми (ЕКГ) та фонокардіограми (ФКГ) для моніторингу стану серця

Крім того, система передбачає підвищену доступність для людей з обмеженими можливостями завдяки впровадженню інклюзивного дизайну. Голосове керування [24], текстові попередження та підтримка жестової мови зроблять транспорт комфортнішим для пасажирів з вадами слуху та зору (рис. 11).

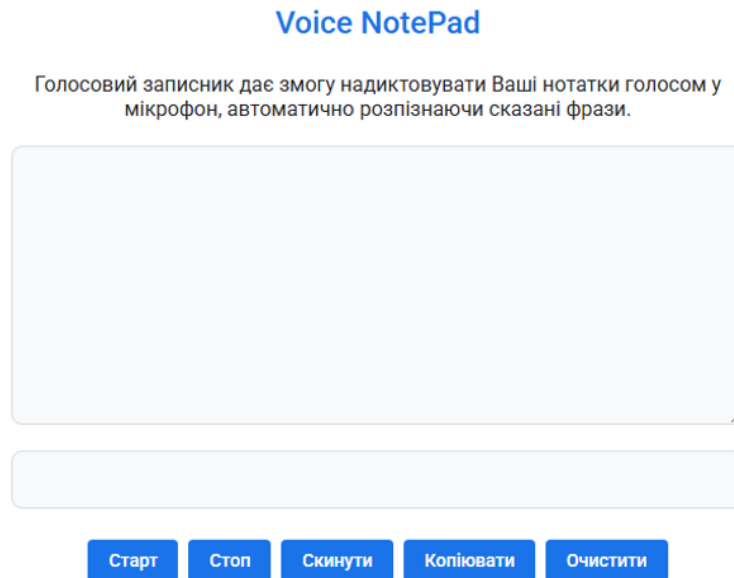


Рис.11. Модуль голосового керування

Запропонована система дозволить значно покращити міську транспортну інфраструктуру, підвищити рівень безпеки, зменшити екологічне навантаження та зробити мобільність доступнішою та зручнішою для всіх громадян.

Висновки з даного дослідження

Аналіз публікаційної активності в наукометричній базі Scopus за період 2014-2024 років демонструє стійке зростання наукового інтересу до тематики Smart Systems, що підтверджується збільшенням кількості публікацій з 4406 у 2014 році до 34948 у 2024 році. Це свідчить про актуальність та перспективність досліджень у даному напрямку.

Географічний розподіл досліджень показує домінування Китаю (35774 публікації), Індії (27936) та США (24873), що відображає пріоритетність розвитку Smart Systems у країнах з великими урбанізованими територіями та потужним технологічним потенціалом. Детальний аналіз концепції Mobility as a Service (MaaS) показав її ключову роль у розвитку Smart Systems. Найбільш успішною виявилася Helsinki Model з максимальним індексом інтеграції (10 балів), що демонструє ефективність комплексного підходу до впровадження MaaS.

Виявлено основні тенденції розвитку Smart Systems, які включають: інтеграцію AI-powered пристроїв та IoT для автоматизації міських процесів, фокус на sustainability та зменшення вуглецевого сліду, розвиток інклюзивних технологій для забезпечення доступності міських сервісів, впровадження інтелектуальних транспортних систем та MaaS.

Аналіз публікацій за типами документів показав переважання наукових статей (50,4%) та матеріалів конференцій (39,8%), що свідчить про баланс між фундаментальними дослідженнями та практичним впровадженням технологій Smart Systems.

Література

1. Bhardwaj, V., Anooja, A., Vermani, L. S., Sunita, & Dhaliwal, B. K. (2024). Smart cities and the IoT: an in-depth analysis of global research trends and future directions. In *Discover Internet of Things* (Vol. 4, Issue 1). Springer Science and Business Media LLC. <https://doi.org/10.1007/s43926-024-00076-3>
2. Alahi, M. E. E., Sukkuea, A., Tina, F. W., Nag, A., Kurdthongmee, W., Suwannarat, K., & Mukhopadhyay, S. C. (2023). Integration of IoT-Enabled Technologies and Artificial Intelligence (AI) for Smart City Scenario: Recent Advancements and Future Trends. In *Sensors* (Vol. 23, Issue 11, p. 5206). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/s23115206>
3. Petříková, D., & Petříková, L. (2019). Inclusive and Accessible SMART City for All. In *EAI/Springer Innovations in Communication and Computing* (pp. 73–82). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-22070-9_5

4. Ramli, H., Azizi, Z. M., & Thurairajah, N. (2024). Sustainable Smart City Technologies and Their Impact on Users' Energy Consumption Behaviour. In *Energies* (Vol. 17, Issue 4, p. 771). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/en17040771>
5. Dadashzadeh, N., Sucu, S., Pangbourne, K., & Ouelhadj, D. (2024). Socially Sustainable Mobility as a Service (MaaS): A practical MCDM framework to evaluate accessibility and inclusivity with application. In *Cities* (Vol. 154, p. 105360). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2024.105360>
6. Altaf, M., Mostafa, S., & A. Stewart, R. (2025). Enhancing accessibility in smart cities: AI-based autonomous inspection and certification framework. In *Digital Engineering* (Vol. 5, p. 100034). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.dte.2024.100034>
7. Mustapha, H. E., Ozkan, B., & Turetken, O. (2024). Acceptance of Mobility-as-a-Service: Insights from empirical studies on influential factors. In *Communications in Transportation Research* (Vol. 4, p. 100119). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.commtr.2024.100119>
8. Koźlak, A. (2020). Mobility-as-a Service jako postęp w integracji transportu. In *Prace Komisji Geografii Komunikacji PTG* (Vol. 23, Issue 5, pp. 7–17). Uniwersytet Jagielloński - Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego. <https://doi.org/10.4467/2543859xpkg.20.028.13245>
9. Xi, H. (2021). Mobility as a Service: A Review on Recent Development and Future Envision. MDPI AG. <https://doi.org/10.20944/preprints202101.0109.v1>
10. Kamargianni, M., and M. Matyas 2017. The Business Ecosystem of Mobility as a Service. 96th Transportation Research Board (TRB) Annual Meeting, Washington DC, 8-12 January 2017.
11. Butler, L., Yigitcanlar, T., & Paz, A. (2021). Barriers and risks of Mobility-as-a-Service (MaaS) adoption in cities: A systematic review of the literature. In *Cities* (Vol. 109, p. 103036). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2020.103036>
12. Li, Y., & Voegelé, T. (2017). Mobility as a Service (MaaS): Challenges of Implementation and Policy Required. In *Journal of Transportation Technologies* (Vol. 07, Issue 02, pp. 95–106). Scientific Research Publishing, Inc. <https://doi.org/10.4236/jtts.2017.72007>
13. Martsenyuk, V. P., Zhulkevych, I. V., Sverstiuk, A. S., Melnyk, N. A., Kozodii, N. V., & Berezhovska, I. B. (2019). Використання біосенсорів для моніторингу навколишнього середовища. In *Вісник соціальної гігієни та організації охорони здоров'я України* (Issue 2, pp. 107–114). Ternopil State Medical University. <https://doi.org/10.11603/1681-2786.2019.2.10491>
14. Abubakar S.A., Sverstiuk A.S. Analytical review of publications on machine learning methods in oncology and approach to evaluating their quality. *Computer Systems and Information Technologies*. 2024. No 1. Pp. 6-16. <https://doi.org/10.31891/csit-2024-1-1>
15. Kamargianni, M., Li, W., Matyas, M., & Schäfer, A. (2016). A Critical Review of New Mobility Services for Urban Transport. In *Transportation Research Procedia* (Vol. 14, pp. 3294–3303). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.277>
16. Cisterna, C., Madani, N., Bandiera, C., Viti, F., & Cools, M. (2023). MaaS modelling: a review of factors, customers' profiles, choices and business models. In *European Transport Research Review* (Vol. 15, Issue 1). Springer Science and Business Media LLC. <https://doi.org/10.1186/s12544-023-00597-y>
17. Santos, G., & Nikolaev, N. (2021). Mobility as a Service and Public Transport: A Rapid Literature Review and the Case of Moovit. In *Sustainability* (Vol. 13, Issue 7, p. 3666). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/su13073666>
18. Casady, C. B. (2020). Customer-led mobility: A research agenda for Mobility-as-a-Service (MaaS) enablement. In *Case Studies on Transport Policy* (Vol. 8, Issue 4, pp. 1451–1457). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2020.10.009>
19. Sochor, J., Arby, H., Karlsson, I. C. M., & Sarasini, S. (2018). A topological approach to Mobility as a Service: A proposed tool for understanding requirements and effects, and for aiding the integration of societal goals. In *Research in Transportation Business & Management* (Vol. 27, pp. 3–14). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2018.12.003>
20. Lyons, G., Hammond, P., & Mackay, K. (2019). The importance of user perspective in the evolution of MaaS. In *Transportation Research Part A: Policy and Practice* (Vol. 121, pp. 22–36). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.12.010>
21. Velychko, D., Osukhivska, H., Palaniza, Y., Lutsyk, N., & Sobaszek, Ł. (2024). Artificial Intelligence Based Emergency Identification Computer System. In *Advances in Science and Technology Research Journal* (Vol. 18, Issue 2, pp. 296–304). Wydawnictwo Naukowe Gabriel Borowski (WNGB). <https://doi.org/10.12913/22998624/184343>
22. Паляниця Ю.Б., & Гевко О.В. (2023). «Розумний одяг» для віддаленого моніторингу стану серцево-судинної системи. In *Перспективні технології та прилади* (Issue 22, pp. 114–121). Lutsk National Technical University. <https://doi.org/10.36910/10.36910/6775-2313-5352-2023-22-17>
23. Weather Station. URL: <https://kaf-rt.tntu.edu.ua/prj/RemoteBioMonitoring/index.html> (date of access: 14.02.2025).
24. Voice NotePad. URL: https://kaf-rt.tntu.edu.ua/prj/Voice_NotePad/index.html (date of access: 14.02.2025).

References

1. Bhardwaj, V., Anooja, A., Vermani, L. S., Sunita, & Dhaliwal, B. K. (2024). Smart cities and the IoT: an in-depth analysis of global research trends and future directions. In *Discover Internet of Things* (Vol. 4, Issue 1). Springer Science and Business Media LLC. <https://doi.org/10.1007/s43926-024-00076-3>
2. Alahi, M. E. E., Sukkuea, A., Tina, F. W., Nag, A., Kurdthongmee, W., Suwannarat, K., & Mukhopadhyay, S. C. (2023). Integration of IoT-Enabled Technologies and Artificial Intelligence (AI) for Smart City Scenario: Recent Advancements and Future Trends. In *Sensors* (Vol. 23, Issue 11, p. 5206). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/s23115206>
3. Petříková, D., & Petříková, L. (2019). Inclusive and Accessible SMART City for All. In *EAI/Springer Innovations in Communication and Computing* (pp. 73–82). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-22070-9_5
4. Ramli, H., Azizi, Z. M., & Thurairajah, N. (2024). Sustainable Smart City Technologies and Their Impact on Users' Energy Consumption Behaviour. In *Energies* (Vol. 17, Issue 4, p. 771). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/en17040771>
5. Dadashzadeh, N., Sucu, S., Pangbourne, K., & Ouelhadj, D. (2024). Socially Sustainable Mobility as a Service (MaaS): A practical MCDM framework to evaluate accessibility and inclusivity with application. In *Cities* (Vol. 154, p. 105360). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2024.105360>
6. Altaf, M., Mostafa, S., & A. Stewart, R. (2025). Enhancing accessibility in smart cities: AI-based autonomous inspection and certification framework. In *Digital Engineering* (Vol. 5, p. 100034). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.dte.2024.100034>
7. Mustapha, H. E., Ozkan, B., & Turetken, O. (2024). Acceptance of Mobility-as-a-Service: Insights from empirical studies on influential factors. In *Communications in Transportation Research* (Vol. 4, p. 100119). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.commtr.2024.100119>
8. Koźlak, A. (2020). Mobility-as-a Service jako postęp w integracji transportu. In *Prace Komisji Geografii Komunikacji PTG* (Vol. 23, Issue 5, pp. 7–17). Uniwersytet Jagielloński - Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego. <https://doi.org/10.4467/2543859xpkg.20.028.13245>
9. Xi, H. (2021). Mobility as a Service: A Review on Recent Development and Future Envision. MDPI AG. <https://doi.org/10.20944/preprints202101.0109.v1>
10. Kamargianni, M., and M. Matyas 2017. The Business Ecosystem of Mobility as a Service. 96th Transportation Research Board (TRB) Annual Meeting, Washington DC, 8-12 January 2017.
11. Butler, L., Yigitcanlar, T., & Paz, A. (2021). Barriers and risks of Mobility-as-a-Service (MaaS) adoption in cities: A systematic review of the literature. In *Cities* (Vol. 109, p. 103036). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2020.103036>
12. Li, Y., & Voegelé, T. (2017). Mobility as a Service (MaaS): Challenges of Implementation and Policy Required. In *Journal of Transportation Technologies* (Vol. 07, Issue 02, pp. 95–106). Scientific Research Publishing, Inc. <https://doi.org/10.4236/jtts.2017.72007>
13. Martsenyuk, V. P., Zhulkevych, I. V., Sverstiuk, A. S., Melnyk, N. A., Kozodii, N. V., & Berezovska, I. B. (2019). Vykorystannia biosensoriv dlia monitorynhu navkolyshnoho seredovyshcha. In *Visnyk sotsialnoi hihiieny ta orhanizatsii okhorony zdorovia Ukrainy* (Issue 2, pp. 107–114). Ternopil State Medical University. <https://doi.org/10.11603/1681-2786.2019.2.10491>
14. Abubakar S.A., Sverstiuk A.S. Analytical review of publications on machine learning methods in oncology and approach to evaluating their quality. *Computer Systems and Information Technologies*. 2024. No 1. Pp. 6-16. <https://doi.org/10.31891/csit-2024-1-1>
15. Kamargianni, M., Li, W., Matyas, M., & Schäfer, A. (2016). A Critical Review of New Mobility Services for Urban Transport. In *Transportation Research Procedia* (Vol. 14, pp. 3294–3303). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.277>
16. Cisterna, C., Madani, N., Bandiera, C., Viti, F., & Cools, M. (2023). MaaS modelling: a review of factors, customers' profiles, choices and business models. In *European Transport Research Review* (Vol. 15, Issue 1). Springer Science and Business Media LLC. <https://doi.org/10.1186/s12544-023-00597-y>
17. Santos, G., & Nikolaev, N. (2021). Mobility as a Service and Public Transport: A Rapid Literature Review and the Case of Moovit. In *Sustainability* (Vol. 13, Issue 7, p. 3666). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/su13073666>
18. Casady, C. B. (2020). Customer-led mobility: A research agenda for Mobility-as-a-Service (MaaS) enablement. In *Case Studies on Transport Policy* (Vol. 8, Issue 4, pp. 1451–1457). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2020.10.009>
19. Sochor, J., Arby, H., Karlsson, I. C. M., & Sarasini, S. (2018). A topological approach to Mobility as a Service: A proposed tool for understanding requirements and effects, and for aiding the integration of societal goals. In *Research in Transportation Business & Management* (Vol. 27, pp. 3–14). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2018.12.003>
20. Lyons, G., Hammond, P., & Mackay, K. (2019). The importance of user perspective in the evolution of MaaS. In *Transportation Research Part A: Policy and Practice* (Vol. 121, pp. 22–36). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.12.010>
21. Velychko, D., Osukhivska, H., Palaniza, Y., Lutsyk, N., & Sobaszek, L. (2024). Artificial Intelligence Based Emergency Identification Computer System. In *Advances in Science and Technology Research Journal* (Vol. 18, Issue 2, pp. 296–304). Wydawnictwo Naukowe Gabriel Borowski (WNGB). <https://doi.org/10.12913/22998624/184343>
22. Palianytsia Yu.B., & Hevko O.V. (2023). «Rozumnyi odiah» dlia viddalenoho monitorynhu stanu sertsevo-sudynnoi systemy. In *Perspektyvni tekhnolohii ta prylady* (Issue 22, pp. 114–121). Lutsk National Technical University. <https://doi.org/10.36910/10.36910/6775-2313-5352-2023-22-17>
23. Weather Station. URL: <https://kaf-rt.tntu.edu.ua/prj/RemoteBioMonitoring/index.html> (date of access: 14.02.2025).
24. Voice NotePad. URL: https://kaf-rt.tntu.edu.ua/prj/Voice_NotePad/index.html (date of access: 14.02.2025).