

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІНФОРМАЦІЙНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА ІНЖЕНЕРІЇ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ  
АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на тему: «Дослідження ефективності застосування приватних  
5G мереж в транспортних перевезеннях та логістиці»

на здобуття освітнього ступеня магістра  
зі спеціальності 126 Інформаційні системи та технології  
*(код, найменування спеціальності)*  
освітньо-професійної програми Інформаційні системи та технології  
*(назва)*

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.  
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання  
на відповідне джерело*

\_\_\_\_\_ Олександр ДЕМИДЮК  
*(підпис) Ім'я, ПРИЗВИЩЕ здобувача*

Виконав:  
здобувач вищої освіти  
група ІСДМ-62

Олександр ДЕМИДЮК

Керівник:  
*науковий ступінь,  
вчене звання*

Ольга ПОЛОНЕВИЧ  
к.т.н., доцент

Рецензент:  
*науковий ступінь,  
вчене звання*

\_\_\_\_\_ Ім'я, ПРИЗВИЩЕ

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**  
**Навчально-науковий інститут інформаційних технологій**

Кафедра Інженерії програмного забезпечення автоматизованих систем

Ступінь вищої освіти Магістр

Спеціальність Інформаційні системи та технології

Освітньо-професійна програма Інформаційні системи та технології

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедру ІІЗАС

\_\_\_\_\_ Каміла СТОРЧАК

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Демидюку Олександрю Сергійовичу  
*(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)*

1. Тема кваліфікаційної роботи: Дослідження ефективності застосування приватних 5G мереж в транспортних перевезеннях та логістиці

керівник кваліфікаційної роботи Ольга ПОЛОНЕВИЧ к.т.н., доцент,  
*(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ науковий ступінь, вчене звання)*

затверджені наказом Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій від «19» 10.2023р. №145

2. Строк подання кваліфікаційної роботи «29» грудня 2023р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: науково-технічна література, принципи організації транспортних перевезень, структура приватних мереж 5G.

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

Аналіз особливостей організації транспортних перевезень та логістики у розумному місті

Дослідження функціонування та побудови приватних мереж 5g

Дослідження використання приватних 5G мереж в логістиці та при організації руху транспорту

5. Перелік графічного матеріалу: *презентація*

6. Дата видачі завдання «19» жовтня 2023 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз наявної науково-технічної літератури	19.10-05.11.23	
2	Аналіз особливостей транспортних перевезень в розумному місті	05.11-12.11.23	
3	Дослідження приватних 5G мереж	13.11-19.11.23	
4	Аналіз можливостей застосування приватних 5G мереж в логістиці	20.11-25.11.23	
5	Організація автономних транспортних перевезень	27.11-10.12.23	
6	Оформлення роботи: вступ, висновки, реферат	11.12-20.12.23	
7	Розробка демонстраційних матеріалів	21.12-29.12.23	

Здобувач вищої освіти

\_\_\_\_\_ (підпис)

Олександр ДЕМИДЮК

(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Керівник  
кваліфікаційної роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Ольга ПОЛОНЕВИЧ

(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)





## РЕФЕРАТ

Текстова частина кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня магістра: 70 стор., 8 табл., 17 рис., 21 джерела.

*Мета роботи* – підвищення ефективності організації транспортних перевезень за рахунок використання приватних 5G мереж.

*Об'єкт дослідження* – транспортні перевезення та логістика.

*Предмет дослідження* – приватні 5G мережі як база для транспортних перевезень.

*Короткий зміст роботи:* У роботі досліджено тенденції організації транспортних перевезень та логістики на сучасних підприємствах. Виділено основні проблеми, з якими стикаються зазначені галузі та зроблено висновок, про необхідність розгортання приватних 5G мереж на виробництві, для вирішення зазначених проблем. Зроблено опис принципів функціонування приватних 5G мереж, перспектив їх використання. Представлено схему організації автономних транспортних перевезень при використанні 5G мереж для зв'язку та віддаленого управління транспортними засобами.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ПРИВАТНІ 5G, ТРАНСПОРТНІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ, ЛОГІСТИЧНІ ОПЕРАЦІЇ, РОЗУМНИЙ ТРАНСПОРТ

## ABSTRACT

Text part of the master's qualification work: 70 pages, 17 pictures, 8 table, 21 sources.

*The purpose of the work* is to increase the efficiency of the organization of transportation due to the use of private 5G networks.

*The object of the study* is transport and logistics.

*The subject of the research* is private 5G networks as a basis for transportation.

*Summary of the work:* The work examines the trends in the organization of transportation and logistics at modern enterprises. The main problems faced by these industries are highlighted and a conclusion is made about the need to deploy private 5G networks in production to solve these problems. The principles of functioning of private 5G networks, prospects for their use are described. The scheme of organizing autonomous transportation when using 5G networks for communication and remote control of vehicles is presented.

**KEYWORDS:** PRIVATE 5G, TRANSPORTATION, LOGISTICS OPERATIONS, SMART TRANSPORT

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1 АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ОРГАНІЗАЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ТА ЛОГІСТИКИ У РОЗУМНОМУ МІСТІ.....	11
1.1 Розумний транспорт.....	11
1.1.1 Архітектури для розумного транспорту.....	12
1.1.2 Інтелектуальні транспортні комунікаційні протоколи.....	16
1.2 Аналіз сучасних технологій та їх впливу на розвиток транспортних перевезень.....	21
2 ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА ПОБУДОВИ ПРИВАТНИХ МЕРЕЖ 5G.....	23
2.1 Приватні мережі 5G.....	23
2.2 Моделі розгортання.....	26
2.3 Аналіз особливостей спектру.....	33
2.4 Перспективи використання приватних мереж 5G в транспортних перевезеннях та логістиці.....	41
3 ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ ПРИВАТНИХ 5G МЕРЕЖ В ЛОГІСТИЦІ ТА ПРИ ОРГАНІЗАЦІЇ РУХУ ТРАНСПОРТУ.....	46
3.1 Застосування приватних 5G мереж в логістиці.....	46
3.2 Розумні дороги та організація перевезень.....	52
3.3 Техніко-економічний аналіз архітектур непублічних мереж 5G.....	62
ВИСНОВКИ.....	79
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	80
ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ (Презентація).....	82



## ВСТУП

*Актуальність.* Як і в багатьох інших галузях промисловості, приватні бездротові технології надають широкий спектр переваг транспортному та логістичному сектору. Перш за все, перевагою приватного бездротового зв'язку є надійне та безпечне з'єднання, що вкрай важливо для критично важливих комунікацій. Здатність приватного бездротового зв'язку допомагати контролювати операції в режимі реального часу і швидко реагувати на критичні події є ще однією ключовою перевагою технології. Приватний бездротовий зв'язок також сприяє забезпеченню безперервного моніторингу стану обладнання, активів та інфраструктури в режимі реального часу. Крім того, використовуючи новітні технології для покращення ситуаційної обізнаності та контролю віддалених укомплектованих та неукомплектованих районів, адміністрація транспортних компаній також сприяє підвищенню безпеки та благополуччя працівників.

Використання приватного бездротового зв'язку також забезпечує моніторинг операцій у режимі реального часу та відстеження активів. Деякі з інших ключових функцій рішення включають віддалені операції, геопозиціонування транспортних засобів та аналітику датчиків IoT.

*Мета роботи* – підвищення ефективності організації транспортних перевезень за рахунок використання приватних 5G мереж.

Для виконання поставленої мети, у магістерській роботі розроблено та виконано наступні завдання:

- дослідження особливостей побудови приватних 5G мереж;
- аналіз організації транспортних перевезень та логістики у розумних містах;
- реалізація транспортних перевезень при використанні приватних мереж 5G для зв'язку між транспортними засобами.

*Об'єкт дослідження* – транспортні перевезення та логістика.

*Предмет дослідження* – приватні 5G мережі як база для транспортних перевезень.

*Методи дослідження.* Під час виконання завдань магістерської кваліфікаційної роботи були використані методи імітаційного моделювання, теорії ймовірності, елементів системного аналізу, методи теоретичного дослідження.

*Наукова новизна одержаних результатів.* Наукова новизна магістерської кваліфікаційної роботи, полягає у розробці практичних рекомендацій щодо використання приватних 5G мереж для підвищення ефективності транспортних перевезень.

*Практична значущість одержаних результатів.* Практична значимість дослідження полягає у можливості застосування запропонованого рішення при організації транспортних перевезень та у логістиці.

*Апробація результатів магістерської роботи.* Базові результати магістерської роботи опубліковано в збірнику тез I Всеукраїнській науково-технічній конференції "Технологічні горизонти: дослідження та застосування інформаційних технологій для технологічного прогресу України і світу".

# 1 АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ОРГАНІЗАЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ТА ЛОГІСТИКИ У РОЗУМНОМУ МІСТІ

## 1.1 Розумний транспорт

Розумний транспорт — це підхід, який включає сучасні технології в транспортні системи для підвищення ефективності міської мобільності та міжміських перевезень. Міста в усьому світі звертаються до цифрових технологій, щоб використовувати їхній розвиток для вирішення потенційних викликів і проблем, які провокують технологічні практики в міському контексті. Великі дані та технології тепер пропонують інструменти, методи та інформацію, які можуть покращити функціонування транспорту та логістики.

Галузь розумного транспорту зацікавила дослідників завдяки своєму потенціалу революціонізувати спосіб переміщення людей і товарів. Сучасна технологія Інтернет речей надає водіям у розумному місті багато переваг, зокрема керування дорожнім рухом, покращену логістику, ефективні системи паркування та посилені заходи безпеки. Розумний транспорт — це інтеграція всіх цих переваг у програми для транспортних систем.

Для підвищення оперативної ефективності транспортних систем вкрай необхідно збільшити використання інформаційних технологій. Розумні транспортні системи покращують рух і безпеку, скорочуючи час у дорозі та споживання палива. Необхідно більше використовувати інфраструктури Інтернету речей і бездоганно інтегрувати інформаційно-комунікаційні технології (ІКТ) для створення стійкої інтелектуальної транспортної системи. Реалізація та застосування найсучасніших комунікаційних, електронних та обчислювальних можливостей дозволяє передавати інформацію, контролювати потоки транспорту та адмініструвати транспортні мережі. Чотири ключові концепції: стійкість, інтеграція, безпека та швидкість реагування

надаються пріоритетом під час прийняття та впровадження нових технологій у транспортні системи. Ці принципи матимуть вирішальне значення для досягнення основних цілей розумного транспорту, якими є доступ і мобільність, екологічна стійкість та економічний розвиток.

Інтелектуальні транспортні додатки мають великий потенціал для вирішення проблем, з якими стикається постійний приплив населення до міських районів, і забезпечують більш безпечні подорожі завдяки широкій координації між різними системами контролю дорожнього руху з різних доменів, працюючи в масштабі та обробляючи значну кількість даних, зібраних із різних джерел.

Нові технології забезпечать сталість транспортної інфраструктури. Впроваджуючи нові методи збору, обробки та розповсюдження інформації на основі умов дорожнього руху, вони заохочуватимуть ефективне використання існуючої транспортної інфраструктури для регулювання, контролю та управління рухом транспортних засобів. Це покращить керування перевантаженням і зменшить його вплив.

### **1.1.1 Архітектури для розумного транспорту**

Серед архітектур для розумного транспорту слід виділити - розподілені обчислення, централізовані обчислення та периферійні хмарні обчислення.

#### **Розподілені обчислення.**

Програми для інтелектуального транспорту, як правило, підтримуються та постачаються в основному централізованими обчисленнями, такими як хмарні обчислення. Однак хмарна та мережева інфраструктура стикається зі значними проблемами в транспортуванні та обробці пов'язаних з транспортом даних, таких як потоки відеоспостереження або сенсорні дані на дорозі, через постійно зростаючу кількість зв'язаних транспортних засобів. Таким чином, багато додатків у цій галузі вимагають стратегії розподіленої обробки даних замість централізованої через

чутливість до затримки та великий обсяг транспортних даних. Наприклад, під час їзди в міських умовах часто потрібно приймати миттєві рішення про те, чи варто змінювати смугу чи маршрут, щоб уникнути вузьких місць руху. Програма має збирати відповідну інформацію, таку як місцезнаходження, швидкість руху, транспортний потік або події зіткнення, щоб допомогти водієві приймати рішення. Крім того, він повинен аналізувати ці дані та миттєво реагувати.

Щоб досягти цілей у цьому сценарії, хмарна інфраструктура має проблему, оскільки вона повинна швидко збирати й обробляти велику кількість даних за короткий проміжок часу. Наявність розподіленої інфраструктури обробки даних значно зменшує навантаження на хмару, водночас дотримуючись вимог щодо чутливості до затримки.

Сервісно-орієнтована архітектура (COA) — це новий підхід до розробки надійних розподілених систем, у якому всі взаємодіючі компоненти слабо зв'язані, а функції побудовані як сервіси. Оскільки всі взаємодіючі компоненти слабо зв'язані, а функції побудовані як сервіси, COA пропонує ефективний метод розробки надійних розподілених систем. Основним обґрунтуванням вибору COA для цієї реалізації є те, що вона включає такі загальні якості, як розподілена архітектура, сервісні програми, незалежність від платформи та дрібна зернистість. Для збору та включення різних типів транспортної інформації в публічно-орієнтовані послуги необхідні два механізми: перший полягає у створенні розподіленої архітектури для інтеграції послуг від різних постачальників, а другий – упровадження набору єдиних стандартів для класифікувати та представити опис постачальників інформаційних послуг. Основа системи постачальників інформаційних послуг на COA забезпечує взаємодію з іншими системами, дозволяючи просту інтеграцію послуг від різних постачальників.

Грід-обчислення використовують численні комп'ютерні ресурси для спільної роботи та слабо зв'язані для вирішення конкретної проблеми. У грід-обчисленнях велике завдання розподіляється між численними робочими станціями, щоб максимально ефективно використовувати наявні ресурси.

Fog Computing – туманні обчислення. Туман визначається як мережа численних різноманітних і децентралізованих пристроїв, які взаємодіють і можуть працювати разом для виконання функцій обробки та зберігання без участі сторонніх осіб. Обчислення туману можна використовувати як рішення недоліків хмари для розумних транспортних систем.

Обчислювальна парадигма Туман використовує обробку, зберігання та мережеві ресурси на межі мережі, щоб розширити можливості хмари. Обчислювальний підхід Fog може бути кращим варіантом для створення розподілених програм, оскільки він розподіляє комп'ютерні ресурси ближче до людей і речей, особливо для чутливих до затримки програм, таких як програми Розумний транспорт [1].

Периферійні (крайові) обчислення. Загальне визначення краю: «Технології, які дозволяють виконувати обчислення на межі мережі, щоб обчислення відбувалися поблизу джерел даних». Автори дослідження [2] представляють систему громадського транспорту (ECPV), засновану на периферійних обчисленнях, для планування спільного використання поїздок між мандрівниками та зменшення часу затримки прийняття рішень за допомогою периферійних обчислень. Ця система підвищить ефективність руху та коефіцієнт заповнюваності транспортних засобів. Щоб скоротити час у дорозі та підвищити ефективність руху, дослідження формалізує проблему планування громадського транспорту як задачу оптимізації з максимальним задоволенням мандрівника як метою.

### **Централізовані обчислення.**

Хмарні обчислення. Кілька дослідників застосували різноманітні передові технології для створення розумних транспортних систем, але завдяки своєму складному електронному сховищу даних і комунікаційному середовищу хмарні обчислення відіграють важливу роль. Хмарні обчислення дають нам можливість створювати та розгортати обчислювальні послуги з мінімальними зусиллями, обладнанням і початковими витратами [3]. Включаючи інформаційні технології,

технологію керування, технологію датчиків, технологію зв'язку та інклюзивну технологію.

Граничні хмарні обчислення Сучасна інтелектуальна транспортна система (ITS) використовує різні дистанційні датчики для оцінки стану дорожньої мережі в режимі реального часу. Потім він передає керуючі сигнали до придорожніх систем і учасників дорожнього руху. Щоб передавати інформацію про ситуацію та керувати повідомленнями, майбутнім ІТС може знадобитися спілкуватися з користувачами дорожньої мережі та придорожніх меблів. Щоб передати інформацію про наміри водіння, як-от екстрене гальмування чи дорожні умови, транспортним засобам може знадобитися взаємодія один з одним. Крім того, для того, щоб отримати завчасне сповіщення про наближення дорожніх умов або передати контрольні сигнали на регульовані перехрестя, щоб звільнити смуги для транспортних засобів екстреної допомоги та громадського транспорту, транспортним засобам також може знадобитися підключення до придорожнього обладнання.

Наразі доступні хмарні провайдери працюють із центрів обробки даних у добре підключених країнах. Однак затримка мережі для кінцевих користувачів може бути високою через великі відстані між користувачем і хмарним центром обробки даних, а використання мобільних мереж додає додаткові витрати на затримку. Очікування кінцевих користувачів розширюються й охоплюють тих, хто має бездротові мережеві з'єднання, багато з яких активно мобільні, на відміну від тих, чий офіс знаходиться у фіксованих фізичних місцях із жорстким мережевим підключенням.

Розробляючи продукти на основі своїх основних хмарних пропозицій, які можуть працювати на менших обчислювальних системах, зберігаючи при цьому сумісність зі своїми основними хмарними платформами, визнані постачальники хмарних технологій починають експериментувати з крайовими хмарними обчисленнями.

## 1.1.2 Інтелектуальні транспортні комунікаційні протоколи

Сучасні транспортні засоби все частіше оснащуються різноманітними датчиками, виконавчими механізмами та пристроями зв'язку, такими як пристрої GPS, мобільні пристрої та вбудовані комп'ютери. Зараз транспортні засоби та придорожні пристрої (RSU) оснащені потужними можливостями зв'язку, зондування, мереж і обробки, створюючи транспортну мережу ad-hoc (VANET). Вони можуть обмінюватися та передавати дані й інформацію з іншими транспортними засобами:

- мережа «автомобільний засіб» (V2V);
- інтелектуальними транспортними пристроями («транспортний засіб — інфраструктура» (V2I);
- програмами та із зовнішнім світом за допомогою різних технологій (Інтернет речей (ІоТ), хмарні обчислення та розподілені обчислення).

І протоколи зв'язку (WiFi, 4G/5G, TCP/IP), які разом можуть допомогти дослідникам отримати розширені та покращені транспортні системи.

4G/5G.

З великомасштабним взаємозв'язком людей і речей трафік даних різко зріс, створюючи тиск на сучасне покоління бездротового мобільного зв'язку [4]. У результаті надзвичайного розвитку кількості підключених пристроїв, трафіку мобільних даних і обмежень технологій 4G компанії та науковці зосереджують свої зусилля на визначенні стандартів для бездротового мобільного зв'язку п'ятого покоління (5G).

Стільниковий зв'язок має важливе значення в розумній транспортній системі [5]. 5G спрямований на з'єднання окремих автомобілів за допомогою розробки кооперативних інтелектуальних транспортних систем (CITS). 5G може допомогти містам стати розумнішими, зробивши автоматизовані транспортні системи безпечнішими та ефективнішими, ніж існуючі транспортні мережі. Це також



допомагає системі громадського транспорту справлятися зі значними транспортними проблемами, такими як затори, забруднення та аварії. 5G має потенціал для подолання цих труднощів шляхом створення справді розумної транспортної системи. З доступом до швидкісного Інтернету в громадському транспорті. Linked Traffic Cloud збирає й аналізує дані в режимі реального часу з підключених автомобілів, інфраструктури та пристроїв, щоб допомогти з прийняттям оперативних рішень, покращити навігацію, оптимізувати паливо та часові ресурси тощо.

Однією з головних причин ДТП є швидке уповільнення руху, особливо на дорогах із швидким рухом і шосе з поганою видимістю. Це може бути викликано іншими нещасними випадками, будівництвом доріг, надмірною кількістю моторизованих транспортних засобів, особливо в години пік, тощо. Стаціонарні датчики дорожнього руху на дорогах, які підключаються до мобільних додатків водіїв через мережу 4G, часто можуть зменшити цю проблему, але, на жаль, не всі дороги та магістралі обладнані таким обладнанням.

V2V, V2X, V2I, V2P.

Випадки використання зв'язку в транспортному засобі класифікуються за чотирма категоріями V2X:

1. V2V - «автотранспортний засіб — транспортний засіб»;
2. V2I - «транспортний засіб — інфраструктура»;
3. V2P - «транспортний засіб — пішохід»;
4. V2N - зв'язок «транспортний засіб — мережа».

Зв'язок V2V і V2P в основному між автомобілями або транспортними засобами та вразливими учасниками дорожнього руху (наприклад, пішоходами та велосипедистами) для передачі інформації про положення, швидкість і напрямок для запобігання аварій.

Рис.1.1 показує компоненти протоколу зв'язку автомобіля.

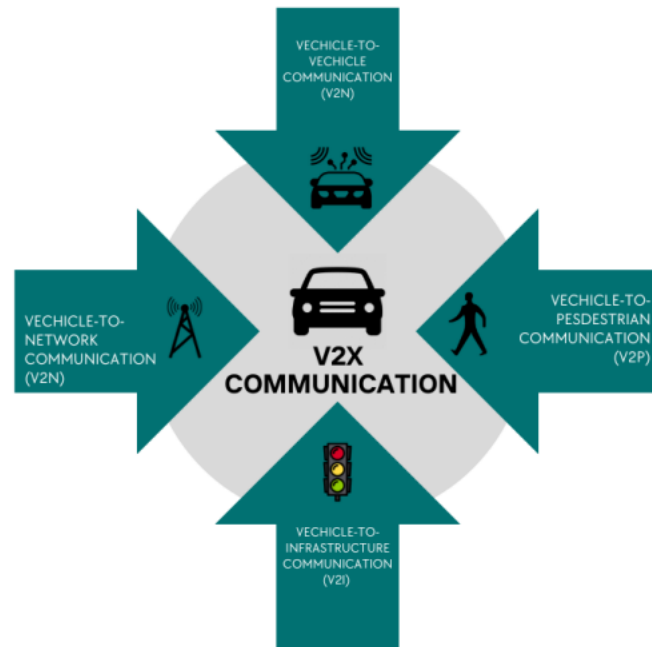


Рис.1.1. Протокол Vehicle-to-Everything Communication (V2X)

Прямий зв'язок між автомобілями та придорожною інфраструктурою, як-от придорожні пристрої (RSU), є частиною V2I. RSU діє як вузол пересилання для розширення діапазону повідомлень, отриманих від автомобіля. Передача V2N відбувається між транспортним засобом і сервером додатків V2X, забезпечуючи такі послуги, як розважальне потокове відео та підключення для динамічного керування маршрутом.

Використання бездротової мережі, прямого чи непрямого зв'язку між двома автомобілями або між транспортним засобом і придорожною інфраструктурою може підвищити безпеку водія та мобільність. Програми включають спільну допомогу водієві, децентралізовані дослідні транспортні засоби, а також користувачі та інформаційні комунікації. Наприклад, за допомогою цієї технології автомобілі можуть транслювати попередження іншим транспортним засобам, щоб уникнути аварій під час зміни смуги. Автомобільний зв'язок, який з'єднує автомобілі, придорожні пристрої та пішоходів, є життєво важливою технологією в інтелектуальній транспортній системі (ITS).

Занепокоєння щодо конфіденційності місцезнаходження та безпечного зв'язку перешкоджають прийняттю розумніших і безпечніших режимів ІТС.

Зв'язок між транспортним засобом (V2X) має справу з обміном інформацією між транспортним засобом і численними частинами інтелектуальної транспортної системи (ITS), такими як інші автомобілі, пішоходи, інтернет-шлюзи та транспортна інфраструктура (така як світлофори та знаки). Технологія має потенціал для широкого спектру унікальних застосувань у таких сферах, як безпека дорожнього руху, розваги пасажирів, послуги виробників автомобілів та ефективність руху транспортних засобів.

Комунікації V2X тепер базуються на одній із двох основних технологій: виділений зв'язок малого радіусу дії (DSRC) і стільникові мережі. Однак не передбачається, що одна технологія зможе впоратися з таким широким спектром прогнозованих застосувань V2X для значної кількості автомобілів у найближчому майбутньому. Як наслідок, для ефективного зв'язку V2X рекомендована сумісність між DSRC і стільниковими мережевими технологіями.

#### VANET.

Спеціальна мережа для транспортних засобів (VANET) визначається як група мобільних транспортних засобів, які спілкуються через бездротову мережу для обміну інформацією між собою (V2V) і з місцевими придорожніми підрозділами (V2I). Це дозволяє поширювати інформацію для підвищення безпеки та комфорту пасажирів. VANET — це децентралізована, самоорганізована, динамічна мережа з обмеженою пропускну здатністю та діапазоном підходить лише для прямого однорангового зв'язку.

#### Wi-Fi/ бездротова сенсорна мережа (WSN).

Розумні міста все частіше використовують підключення Wi-Fi для підключення різних ресурсів. Через обмежену пропускну здатність мережа Wi-Fi зазвичай використовується в розумних транспортних системах для підключення автомобілів,

світлофорів і ліхтарних стовпів. Дослідницькі організації пропонують недорогі додаткові рішення, оскільки придорожнє електрообладнання для підтримки VANET є дорогим.

Одним із додаткових рішень є бездротова сенсорна мережа (WSN). Вузли бездротової самоорганізованої сенсорної мережі часто живляться від недорогих батарейок, енергоефективні технології збору, комунікації та обробки. Ці вузли з низьким енергоспоживанням часто можуть працювати кілька років від пари батарейок типу AA, що зменшує вимоги до обслуговування. Через низьке енергоспоживання та низьку вартість велика кількість придорожніх WSN може бути стратегічно розташована, щоб допомогти технологіям зв'язку автомобіля.

Останнім часом WSN набули популярності завдяки своєму потенціалу змінити багато аспектів нашої фінансової системи та повсякденного життя, включаючи автоматизацію судноплавства, екологічний моніторинг, транспорт і охорону здоров'я. Збір і обмін транспортною інформацією є критично важливими в інтелектуальній транспортній системі (ІТС).

На жаль, більшість традиційних ІТС можуть виявляти транспортний засіб лише у фіксованому місці, а їхні лінії зв'язку та електропередачі збільшують витрати на будівництво та обслуговування. Очікується, що використання бездротових сенсорних мереж в ІТС допоможе вирішити вищезазначені проблеми завдяки своїм перевагам, зокрема низькому енергоспоживанню, бездротовому розподілу та гнучкості без обмежень щодо кабелю.

WSN допомагають вирішити багато транспортних проблем, наприклад паркування автомобілів, що є серйозною проблемою, яка сприяє заторам, забрудненню повітря та дискомфорту водія.

## 1.2 Аналіз сучасних технологій та їх впливу на розвиток транспортних перевезень

Роль Інтернету речей (IoT) у розумних транспортних системах.

Останні досягнення в бездротових сенсорних мережах, хмарних обчисленнях, великих даних та Інтернеті речей породжують нове покоління розумних транспортних програм. IoT складається з мережі фізичних об'єктів із підтримкою Інтернету, вбудованих у датчики, процесори та комунікаційне обладнання, які отримують дані зі свого середовища. Ці пристрої утворюють всеосяжні платформи моніторингу, які дозволяють масово збирати та обмінюватися даними в режимі реального часу, будуючи таким чином фундамент розумних транспортних систем.

IoT — це відкриття, яке може вирішити поточні проблеми шляхом поєднання технологій і соціальних наслідків. Це всесвітня система, яка задовольняє потреби людей. Це дозволяє розширені послуги з фізичними та віртуальними з'єднаннями на основі поточних і майбутніх розробок у сфері інформації та комунікаційних технологій (ІКТ). За своєю назвою IoT означає інтеграцію даних, зібраних з різних типів об'єктів, на будь-яку віртуальну платформу за допомогою існуючої Інтернетінфраструктури. Отже, будь-який гаджет із перемикачем увімкнення/вимкнення, який підключається до Інтернету, вважається пристроєм Інтернету речей.

Програми IoT розвинулися в кількох частинах розумного транспорту. Прикладами є розумний рух, розумне паркування та розумна мобільність. Завдяки цим удосконаленням розумний транспорт є можливим, щоб надати водіям ефективні ідеї щодо маршрутів, швидке бронювання паркувальних місць, економічне вуличне освітлення, телематику для громадського транспорту, уникнення аварій та автономне водіння за допомогою датчиків, вбудованих в автомобілі, або мобільних пристроїв і пристроїв, розміщених у місті.

Роль машинного навчання (ML) у розумних транспортних системах.

Типове визначення машинного навчання – це здатність системи робити інтелектуальні рішення без явного програмування. Дані є основою методів ML, і ML навчає комп'ютерні системи виконувати такі завдання, як класифікація, групування, прогнозування, розпізнавання образів та багато інших. Процес передбачає навчання систем для архівування навчання шляхом аналізу вибіркового даних за допомогою різних алгоритмів і статистичних моделей. Він передбачає класифікацію вибіркового даних за кількісно визначеними властивостями, відомими як ознаки, а алгоритм ML намагається визначити зв'язок між ознаками та конкретними вихідними значеннями, відомими як мітки. Потім дані, зібрані під час фази навчання, використовуються для пошуку закономірностей або винесення суджень на основі нових даних.

Роль Big data у розумних транспортних системах.

Аналіз великих даних – це процес, що містить збір даних, перевірку даних та організацію даних для визначення різних зв'язків і шаблонів для пошуку найбільш ефективних рішень.

Великі дані дають нові можливості транспортній інфраструктурі. Великі дані надають користувачам інформацію про рух транспорту в режимі реального часу, спрощують процес оплати послуг за допомогою різних пристроїв і додатків. Транспортні засоби, у свою чергу, надають інформацію операторам для підвищення ефективності транспортування, безпеки та швидкості. Нові технології здатні зменшити пробки в години пік, наприклад, надаючи інформацію, підвищити привабливість громадського транспорту, створити нові послуги, такі як мобільність як послуга. Великі дані створюють переваги для розробки нових транспортних послуг, які відповідають потребам користувачів, і прогнозують наслідки впровадження нових послуг.

## 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА ПОБУДОВИ ПРИВАТНИХ МЕРЕЖ 5G

### 2.1 Приватні мережі 5G

Розвиток бездротового зв'язку п'ятого покоління (5G) прискорюється, приносячи величезний потенціал для трансформації глобальних ланцюжків поставок.

5G – це новий стандарт стільникових мереж і бездротових технологій, а також наступник мереж 4G. Це обіцяє неперевершену швидкість завантаження та вивантаження даних, ширше покриття та стабільніше з'єднання. Після дебюту в 2019 році в США мережі 5G вже запущені в більш ніж 70 країнах.

Технологія 5G забезпечує можливість високошвидкісного з'єднання, величезне зростання даних, потокове передавання, швидкий і безперервний обмін і перегляд для всіх. Програми 5G означають неймовірні можливості для компаній, будинків, споживачів і спільнот, надаючи ключові функціональні драйвери, включаючи наднадійний зв'язок із малою затримкою (URLLC), розширений мобільний широкопasmовий зв'язок (eMBB) і зв'язок масового машинного типу (mMTC) [6]. Мережі 5G стимулюють наступне покоління програм, таких як промисловий Інтернет речей (IIoT), автономні транспортні засоби, ігри з доповненою реальністю (AR) тощо. Він підтримує сценарії використання в широкому діапазоні підприємств, таких як виробництво, комунальні служби, сільське господарство та муніципалітети, допомагаючи організаціям зменшити витрати, підвищити ефективність і покращити взаємодію з клієнтами.

Приватна мережа 5G [7] — це окрема виділена мережа для приватного використання організацією з різними компонентами, як показано на рис. 2.1.

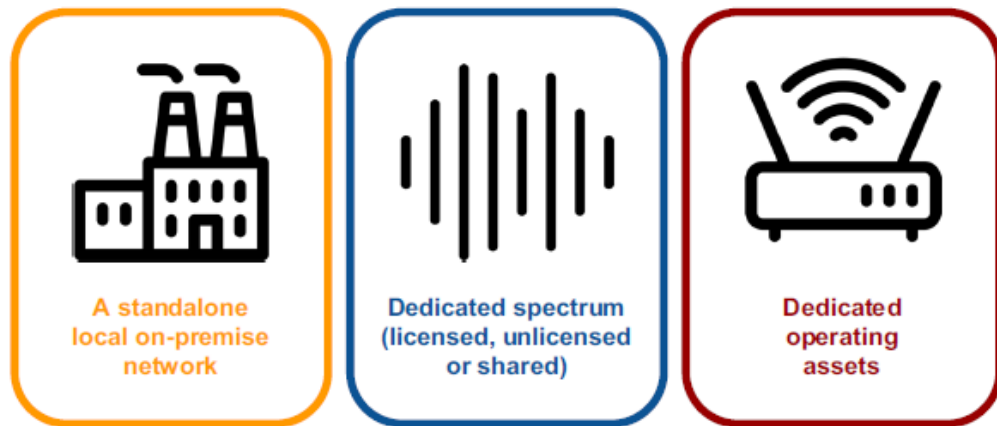


Рис.2.1. Компоненти приватної мережі 5G

Будучи критично важливим компонентом цифрової трансформації, приватна мережа 5G забезпечує ті ж технологічні переваги, що й загальнодоступна мережа 5G, але дає вам більше контроль над вашою мережею, включаючи політики, безпеку, служби та дані. Він також пропонує більшу гнучкість, ніж традиційні мережі 5G, наприклад, кращі варіанти покриття для віддалених додатків, менше технічних проблем для великих внутрішніх приміщень і доступ до більшого спільного спектру.

Приватні мережі 5G (також звані NPN) представляють собою віртуальні або фізичні стільникові системи, встановлені для приватного використання урядами, підприємствами та іншими установами. Вони охоплюють зони покриття будь-якого розміру, від внутрішніх або зовнішніх, малих до широких, шляхом змішування та підбору різних типів радіо. Він підходить для всіх типів корпоративних або бізнес-сайтів і умов трафіку, навіть якщо їхні мережі стають складнішими та масштабуються. Приватні мережі 5G або NPN можуть бути розгорнуті як у повністю приватному режимі (тобто локально), так і в гібридному режимі (тобто інтегровані з мережею MSP), щоб дозволити MSP контролювати свою поточну мережу та активи спектру [8]. Він керує локалізованими невеликими стільниками, мікробаштами та мультидоступом Edge Computing (MEC) для забезпечення покриття мережі 5G і підключення, як зменшена версія загальнодоступної стільникової мережі. Це показано на рис.3.2.



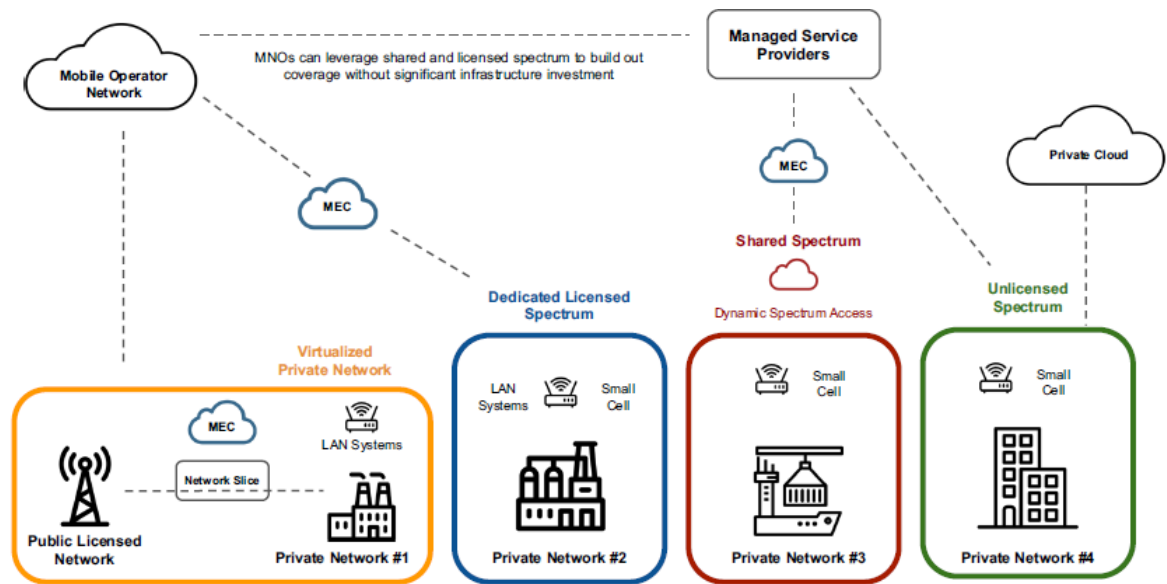


Рис.2.2. Архітектура приватної мережі 5G

Він забезпечує важливий голосовий зв'язок, дані та відеозв'язок у формі Push to Talk (PTT) і Voice over LTE (VoLTE). Рішення для приватної мережі 5G використовує стільникову технологію 5G і 4G LTE і дозволяє MSP розгорнути ексклюзивну підписку на приватну мережу для своїх ринків на основі мережевих функцій і стратегії підприємства. Ключові технічні характеристики мереж 5G, такі як висока доступність мережі, наднизька затримка, агрегація великого обсягу даних і можливості високої щільності пристроїв, плавно зливаються зі зростаючими вимогами Індустрії 4.0.

#### Потенційні вимоги та можливості для приватних мереж 5G

Мережевий і телекомунікаційний гігант Ericsson визначає 5 ключових вимог до приватних мереж 5G. Промисловість цифровізує свої процеси та модернізує свої приватні мережі. Мережі мають бути стійкими, безпечними, високопродуктивними та перспективними для забезпечення критично важливих для бізнесу та місії операцій [9]. Приватна мережа 5G повинна мати повний контроль над покриттям, користувачами, пристроями, якістю обслуговування (QoS), покращеною безпекою,

гнучким розгортанням для будь-яких ситуацій. Основні вимоги до критичних можливостей наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1.

### Вимоги до приватних мереж 5G

Вимоги	Опис
Надійність	Повинен забезпечити наднадійний зв'язок із низькою затримкою (URLLC), пропускну здатність, адекватне покриття мережі та надійну функцію передачі для підвищення надійності передачі трафіку даних з точки зору фіксованої тривалості, обсягу та ймовірності успіху
Висока доступність	Має обіцяти максимальну доступність для кінцевого користувача через надійні рішення. Час простою може бути нульовим за рахунок створення надлишкових критичних елементів і обслуговування системи керування
Безпека	Має забезпечити повну безпеку та конфіденційність інфраструктури, даних і персоналу від загроз.
Мережа/сумісність	Інтеграція з загальнодоступними мережами 5G для забезпечення безперервності обслуговування для критично важливих програм (автономних транспортних засобів), яким може знадобитися перемикання мереж із приватної мережі на загальнодоступну.

Приватні мобільні мережі 5G — це система 5G, персоналізована для конкретних корпоративних або промислових випадків використання, як-от охорона здоров'я, промисловий Інтернет речей (IIoT), де певні вимоги, такі як затримка, безпека, QoS тощо, відіграють важливу роль.

## 2.2 Моделі розгортання

Реалізація виділеної приватної мережі 5G для підприємства може бути виконана за допомогою кількох варіантів. Він може належати самому підприємству або керуватися оператором мобільного зв'язку, і може використовувати ліцензовані та неліцензовані схеми, такі як New Radio Unlicensed (NR-U), Licensed Assisted Access

(LAA) або License-shared, використовуючи схеми, такі як Citizens Broadband Radio Service. (CBRS) та ліцензований спільний доступ (LSA) [10]. Як показано на рис. 2.3. варіанти розгортання можуть варіюватися від повністю автономних, у поєднанні з загальнодоступною мережею оператора мобільного зв'язку, нарізки мережі, специфічної для 5G, до спільного використання RadioAccessNetwork (RAN).

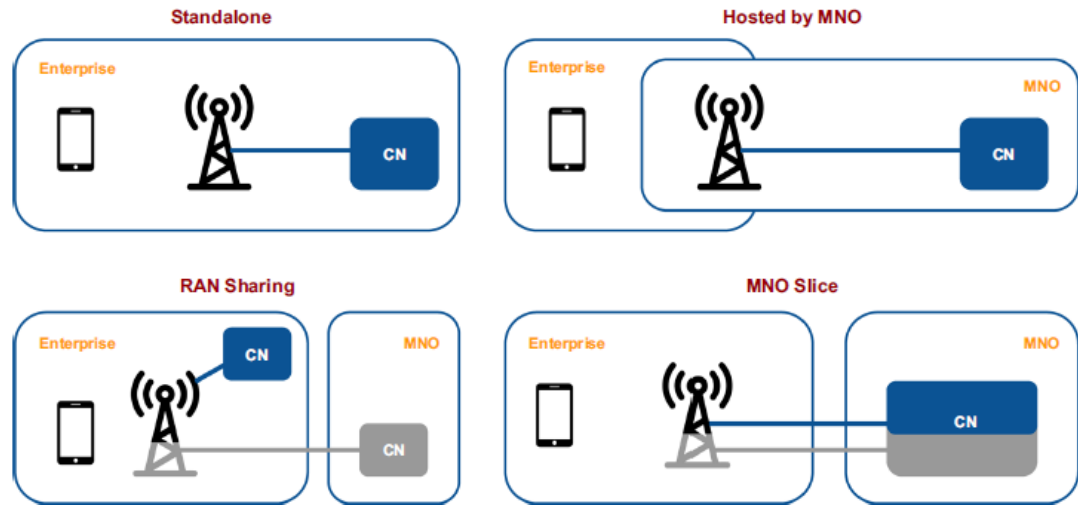


Рис.2.3. Варіанти розгортання приватних мереж 5G

Функції, визначені 3GPP [10] для забезпечення приватних мереж 5G, представлено на рис.2.4. Ці функції дозволяють розглядати приватний 5G як гарну заміну Wi-Fi 6 або дротовим рішенням у приватному/вертикальному секторі. Технологія 5G, визначена 3GPP, масштабована, гнучка та перспективна, з високопродуктивним радіо, доповненим для локальних послуг. Наступні аспекти підходять для приватних мереж 5G.

- Функції безпеки та чітко визначена мобільність, які відповідають конкретним вимогам для певної програми (наприклад, промислова автоматизація).

- Такі функції, як програмне ядро, централізоване керування, розділення площини керування (CP) на площину користувача (UP), віртуалізація, самоорганізуючі мережі (SON), дозволяють виділитися.

- Гнучкість методів доступу до спектру, високі характеристики продуктивності, визначені для класу URLLC.

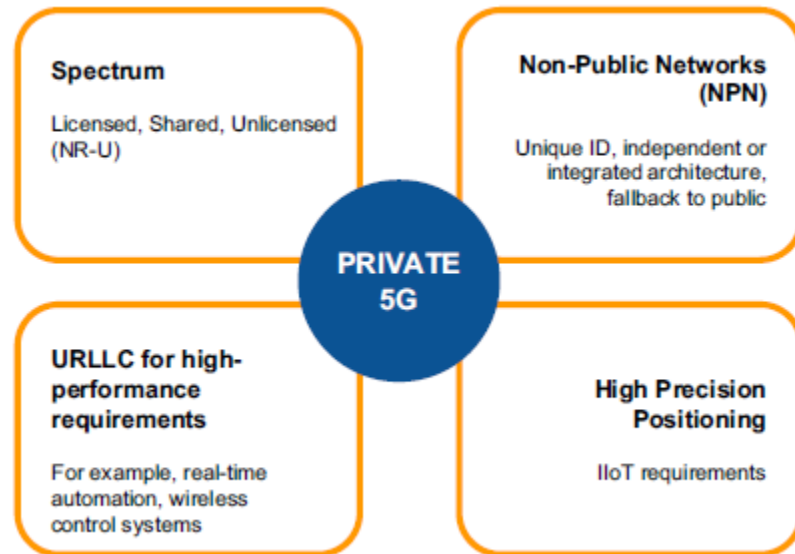


Рис.2.4. Характеристики 3GPP для приватних мереж 5G

Непублічна мережа 5G (NPN).

Технологія 5G надає ще одну функцію під назвою Non-Public Network (NPN), тобто визначену 3GPP назву для приватної мережі 5G. Це дозволяє розгортати виділену мережу 5G для приватного використання. З точки зору 3GPP існує дві версії розгортання NPN, а саме: автономний NPN (SNPN) і інтегрований NPN із загальнодоступною мережею (PNINPN) [11], як показано на рис3.5. Різниця між ними описана в таблиці 2.2.

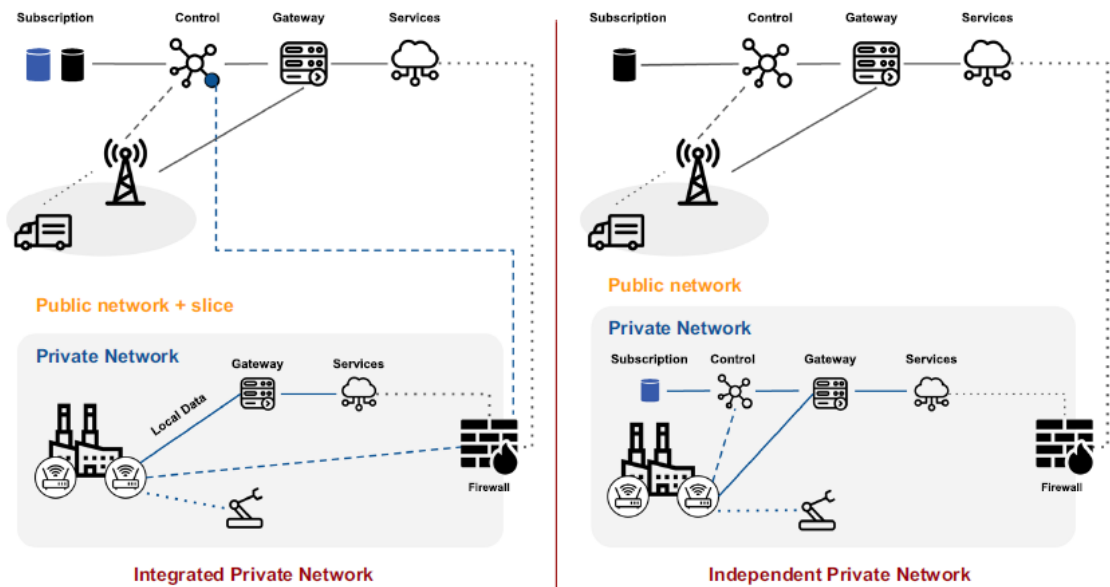


Рис.3.5. Інтегровані та незалежні приватні мережі 5G

Таблиця 2.2

## Автономний NPN проти інтегрованого NPN загальнодоступної мережі

Features	Standalone NPN (SNPN)	Public network integrated NPN (PNI-NPN)
Type	Individual	Integrated
Deployment and operation	Deployed and operated by an NPN operator, hence no interaction with an MNO/SP (service provider).	Deployed with the support of an MNO/SP
Spectrum	Own, unlicensed, shared	MNO spectrum, unlicensed, shared
Devices/SIMs/Subscriptions	Own responsibility (One or more NPN subscriptions per User Equipment (UE))	Different approaches such as RAN sharing, RAN and core sharing (based on dedicated spectrum, network slicing, etc.)
Roaming	No roaming	Standard roaming
Investment	High Capex & Low Opex	Low Capex & High Opex
Security	Own responsibility	End-to-end security provided by MNO

Архітектурні аспекти приватних мереж 5G представлені 3GPP. Як описано вище, приватні мережі 5G можна розгорнути двома способами, а саме:

1. незалежну приватну мережу (SNPN);
2. інтегровану приватну мережу (PNI-NPN).

У першому варіанті фізично ізольована 5G мережа (приватна мережа 5G) розгортається без залучення оператора мережі. Ця мережа 5G може бути побудований самим підприємством або оператором. Останній розгортається шляхом спільного

використання загальнодоступних мереж оператора між підприємствами з використанням таких підходів, як спільне використання RAN, спільне використання RAN і площини керування, спільне використання RAN і ядра, нарізка мережі тощо. У цьому варіанті оператори операторів розбудовуватимуть приватні мережі 5G для підприємств. Різні типи розширених варіантів розгортання перераховані нижче та проілюстровані на рис. 2.6.

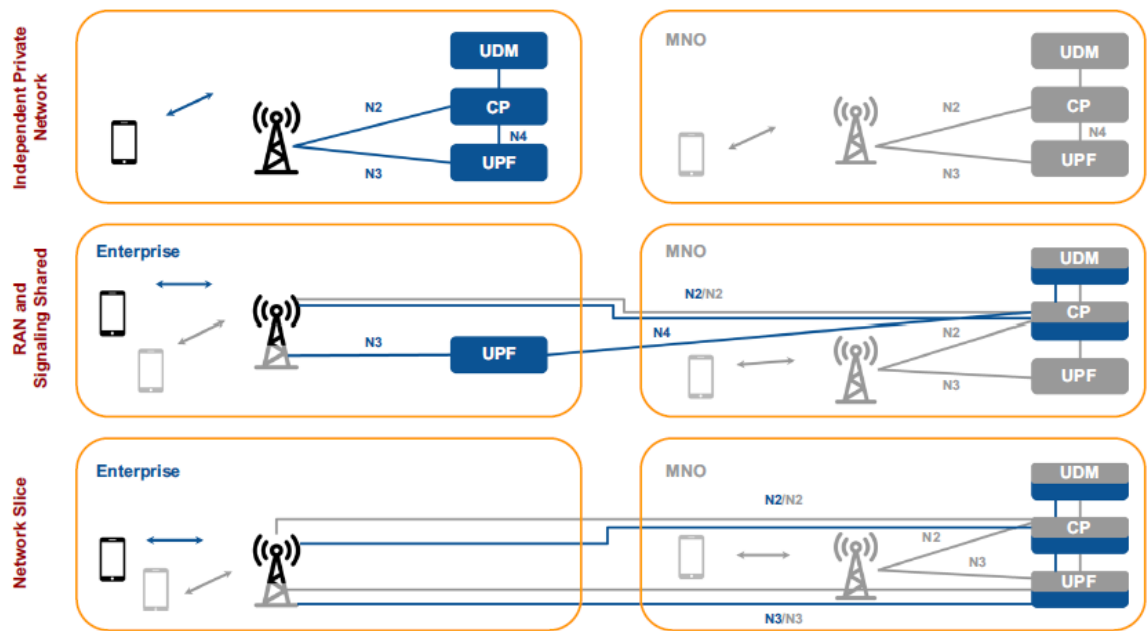


Рис.2.6. Розширені варіанти розгортання для приватних мереж 5G

- Незалежна приватна 5G LAN від підприємства (повністю приватна, локальна частота 5G, без спільного використання).
- Незалежна приватна 5G LAN від MNO (повністю приватна, ліцензована частота, без спільного використання).
- RAN і сигналізація спільна.
- Нарізка мережі (RAN і core sharing).
- RAN і спільне використання площини управління.

Незалежна приватна локальна мережа 5G від підприємства. Приватна мережа, розгорнута підприємством (включаючи UDM, 5G Core CP, UPF, gNB) у його приміщеннях (будівлі) і повністю ізольована від загальнодоступної мережі оператора. Використовувана частота є місцевою частотою 5G, а не ліцензованою частотою оператора оператора.

Підприємства зберігатимуть інформацію про підписку та користувача локально. Підприємство також керує мережею та службами передачі даних, а отже, функціями мережі на виділеному спектрі.

Незалежний приватний 5GLAN від MNO.

Ця архітектура мережі схожа на архітектуру попередньої моделі. Єдина відмінність полягає в тому, що локальна мережа 5G на підприємстві побудована та обслуговується оператором з індивідуальним ліцензованим частотним спектром 5G. RAN і спільна сигналізація. Тут UDM, 5G Core CP і UPF встановлені на підприємстві, і, отже, мережеві послуги обробляються локально. Базові станції наступного покоління 5G (gNB) і спектр спільно використовуються між загальнодоступною та приватною мережами (називається спільним використанням RAN). MNO займатиметься керуванням мережею та користувачами. Приватна мережа (приватний фрагмент) і загальнодоступний мережевий трафік розподіляються відповідно до приватного UPF на підприємстві та UPF у прикордонній хмарі MNO.

Розрізання мережі (RAN і спільне використання ядра) У цьому варіанті UDM, CP і UPF розгортаються в периферійній хмарі MNO, а всередині підприємства реалізується лише gNB. Приватна та публічна мережі спільно використовують «логічно відокремлені 5G Core та RAN» (UDM, UPF, 5GCore CP та gNB). Ця концепція використовується для розуміння віртуальної мережі, оскільки певна програма логічно від'єднана від інших віртуальних мереж, що називається наскрізним (E2E) мережевим нарізанням.

RAN і спільний доступ до площини. Всередині підприємства є вбудовані виділені UPF і gNB. UDM і 5G Core CP, які підтримуються в периферійній хмарі MNO,

спільно використовуються між публічною та приватною мережами. UDM, 5G Core CP і gNB логічно розділені, а UPF – фізично. Приватна мережа (приватний сегмент) і загальнодоступний мережевий трафік доставляються відповідно до приватного UPF на підприємстві та UPF у прикордонній хмарі MNO. Дослідження переваг і недоліків найважливіших варіантів розгортання проілюстровано в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3.

### Параметри приватної мережі 5G

Deployment models	Pros	Cons
Independent Private 5G LAN by enterprise	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Privacy and security: data traffic, subscription and operation information, etc.</li> <li>• Autonomous QoS assurance</li> <li>• Ultra-low latency (all components nearby)</li> <li>• No subscription charges for users</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• High Capex for deployment</li> <li>• Need for skilled operational personnel (Enterprises should own skilled engineers)</li> <li>• High spectrum/licence cost</li> </ul>
RAN and signaling shared	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lower Capex</li> <li>• Privacy and security: data traffic</li> <li>• Ultra-low latency</li> <li>• Licenced spectrum from MNO</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Subscription information stored at MNO</li> <li>• Need for skilled staff (troubleshooting)</li> <li>• Subscription charges for users</li> <li>• Dependency on MNO's network for signalling</li> </ul>
Network Slicing (RAN and Core sharing)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Logical isolation from the public network</li> <li>• Lower Capex</li> <li>• Licenced spectrum from MNO</li> <li>• SLA maintained for network by MNO</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dependency on MNO for QoS and no physical separation</li> <li>• Higher latency</li> <li>• Subscription information stored at MNO</li> <li>• Subscription charges for users</li> </ul>

### Проблеми розгортання приватної мережі 5G

В усьому світі приватні мережі 5G є відносно новою технологією, і їх розгортання в реальному житті існує. Проте проблеми, пов'язані з використанням спектру, вартістю та відсутністю знань, потенційно можуть бути обмежувачими факторами. У цьому розділі обговорюються основні обмеження або проблеми, пов'язані з приватним розгортанням 5G.

Регуляторні проблеми. Більше радіочастотного спектру є важливим для мереж 5G, і це нелегкодоступний ресурс. Більшість із них залежить від «ліцензованого спектру». З винаходом 5G NR-U, неліцензованого спектру, розгортання приватних мереж 5G стане легким для підприємств.



Технічні проблеми. Запровадження вищого діапазону частот (5 ГГц і вище) призводить до вищих швидкостей передачі даних. Ці вищі швидкості передачі даних можуть збільшити загальну затримку мережі до 1 мілісекунди (теоретично) для мереж 5G. Діапазон покриття цих високих частот набагато менший, що є ще однією серйозною проблемою. Збільшення кількості стільникових веж вирішить проблему.

Проблеми інтеграції. Інтеграція між активами спектру, технологічними компонентами, вимогами, сценарієм використання, програмами та номенклатурою є ще однією серйозною проблемою. Приватні інтегратори мобільних мереж 5G потрібні для створення мережі в кожному конкретному випадку.

Відсутність кваліфікованих мережевих спеціалістів. Оперативні оператори мережі планують розгорнути 5G якомога швидше, і, отже, це потребуватиме кваліфікованих мережевих інженерів для впровадження цієї нової технології. Більшість підприємств не мають кваліфікованих фахівців у своїй поточній робочій силі, тому вони шукають талановитий персонал або навчають поточну робочу силу.

Державні нормативні стандарти та політика. Через державні нормативні акти та політику розгортання 5G відбуватиметься різними темпами з певними змішаними та загальними рисами в різних країнах. Це означає, що кожна країна та/або континент мають власний набір регулятивних стандартів і норм, навіть якщо технічні параметри досить загальні. Такий поступовий характер розгортання 5G створює ще одну серйозну проблему розгортання. Оператори мобільних операторів повинні відповідати державним нормативним стандартам, встановленим для надання послуг мобільної мережі 5G клієнтам.

### **2.3 Аналіз особливостей спектру**

Більшість бездротових мережевих систем залежать від радіохвиль, які можуть передавати сигнали між пристроями клієнта та постачальником послуг мобільної мережі. Щоб запуснути ці системи, оператори повинні купити простір у

радіочастотному спектрі. Частота (кількість циклів на секунду) для 5G вимірюється в герцах (Гц) і вказується в кілогерцах (кГц, що дорівнює 1000 Гц), мегагерцах (МГц, 1 мільйон Гц) або гігагерцах (ГГц, 1 мільярд Гц). Радіочастота коливається від 3 кГц до максимум 3000 ГГц. Радіочастотний спектр зазвичай поділяють на три групи:

- високий діапазон (між 24 і 100 ГГц),
- низький діапазон (нижче 1 ГГц)
- середній діапазон (між 1 і 7 ГГц).

Більшість країн розглядають спектр як природний ресурс, і його використання вимірюється відповідними національними органами влади, які розподіляють ресурси відповідно до вимог країни. Традиційно індустрія бездротового зв'язку зосереджувалася на ліцензованому спектрі, але існує три категорії спектру (як показано на рис.3.7., ліцензований спектр, спільний спектр і неліцензований спектр у 5G.

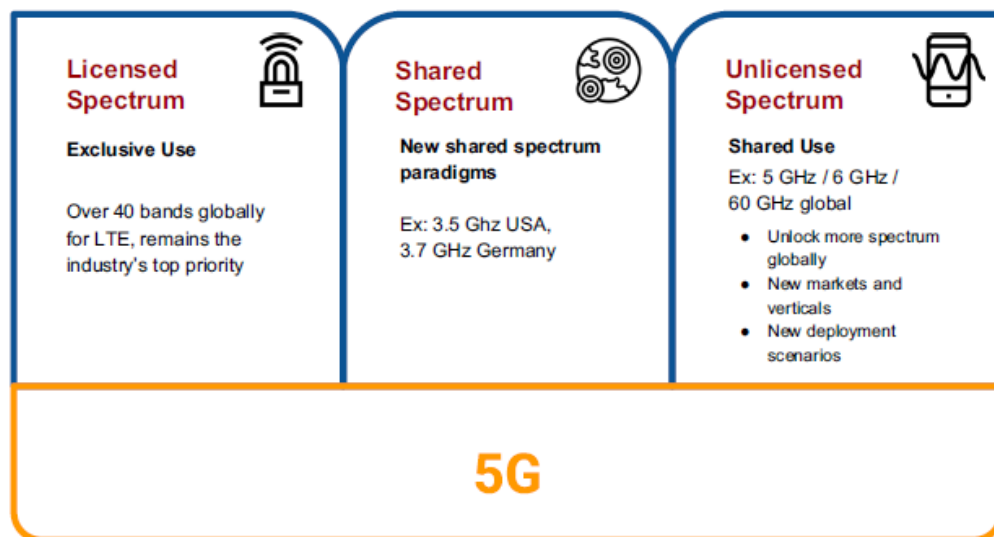


Рис.3.7. Типи спектру 5G

Неліцензований спектр є важливим і він може використовуватися будь-ким і в будь-який час.

## Спільний спектр для мереж 5G

Спектр 5G у всьому світі охоплює широкий діапазон від 410 до 52 600 МГц. Високий діапазон спектру знаходиться в міліметровому діапазоні, що є унікальним для технології 5G. Зазвичай він забезпечує наднизьку затримку та високу пропускну здатність для програм завдяки високій пропускній здатності.

Приватні мережі 5G потребують і використовують спектр у діапазоні частот відповідно до різних умов ліцензії. Підприємства керують своєю мережею в ліцензованому спектрі та вимагають ліцензії від власника ліцензії (зазвичай оператор оператора) або від національного регулятора. Ця модель на основі ліцензованого спектру збережеться в приватних мережах 5G. Проте з'являється масштаб нових варіантів спектру, що швидко сприятиме досягненню рівня реалізації приватної мережі.

5G New Radio Unlicensed (NR-U) — це новий стандарт і головна віха в реалізації його прогнозу щодо високопродуктивної мобільної мережі 5G у неліцензійному спектрі [12] і усуває залежність від ліцензованих операторів мобільного зв'язку. Він може забезпечити вищу швидкість передачі даних, більшу надійність, ультра - низька затримка, підвищена доступність і величезна пропускну здатність мережі. NR-U може допомогти розробити приватні мережі за допомогою потужності 5G і зменшити обмеження спектру, щоб забезпечити високопродуктивний досвід 5G.

У специфікаціях 5G NR Release 16 5G NR-U визначено як основний глобальний стільниковий стандарт із автономним і закріпленим використанням неліцензійного спектру. Ця специфікація дозволяє мобільним пристроям отримувати доступ до 400 МГц (як показано на рис.3.8) неліцензованої смуги пропускання в низхідній лінії зв'язку та 100 МГц неліцензованої смуги пропускання в каналі завантаження.

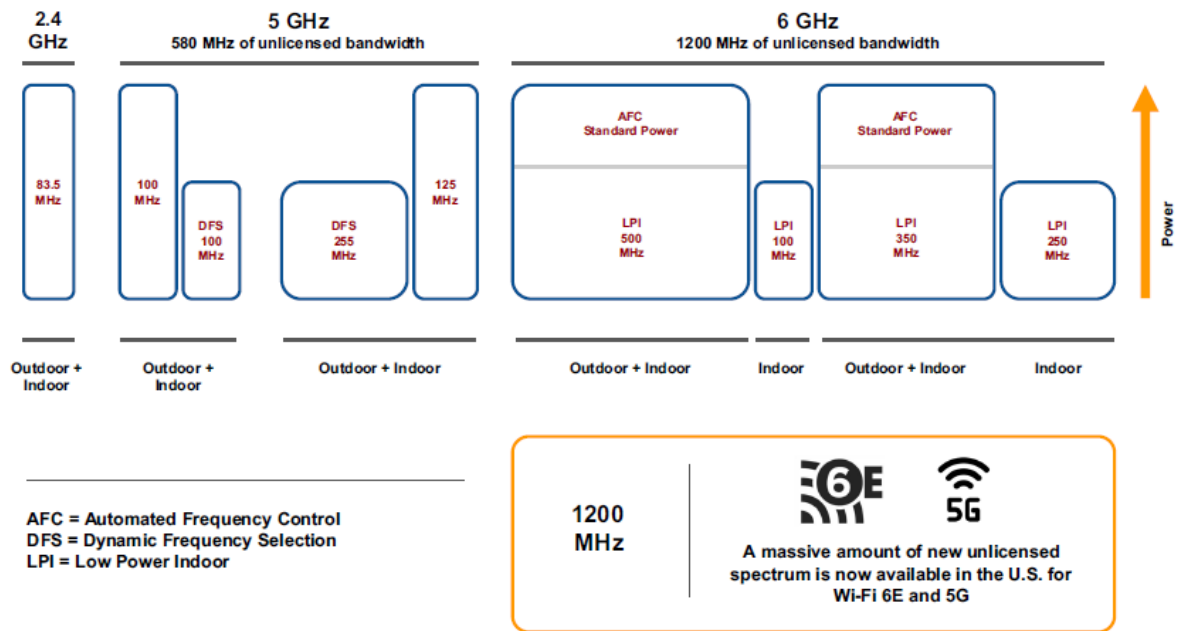


Рис.3.8. Розгляд неліцензованого спектру 5G NR

3GPP Release 16 починається з 5G NR-U у неліцензованому діапазоні 5 ГГц. Стандарт 5G NR-U розвивається, щоб підтримувати новий неліцензований спектр 6 ГГц із нуля, який супроводжується діапазоном спектру міліметрових хвиль 60 ГГц, який розроблено в рамках випуску 17. Неліцензований діапазон спектру 6 ГГц забезпечує нову смугу пропускання для 5G і Wi-Fi. За допомогою автономного NR-U можна легко розгорнути приватні мережі 5G. Цей автономний NR-U був розроблений і призначений для співпраці з іншими неліцензійними технологіями, такими як Wi-Fi, і розширює прості процедури встановлення, які підтримують Wi-Fi. Він забезпечує підтримку розвантаження мобільності та використання нейтральних хост-мереж. Завдяки цим перевагам автономний NR-U включає в себе можливість підключення високопродуктивного 5G до приватних мереж для підприємств без потреби в будь-якому ліцензованому спектрі.

Нарізка мережі та приватний 5G.

Існує три сценарії використання, розроблені Міжнародним союзом телекомунікацій (ITU), які згодом були прийняті Проектом партнерства третього покоління (3GPP) як три стандартизовані сегменти мережі. Приватні мережі 5G створюватимуть набір мережевих фрагментів для кожного з цих сценаріїв використання, як показано на рис.3.9.

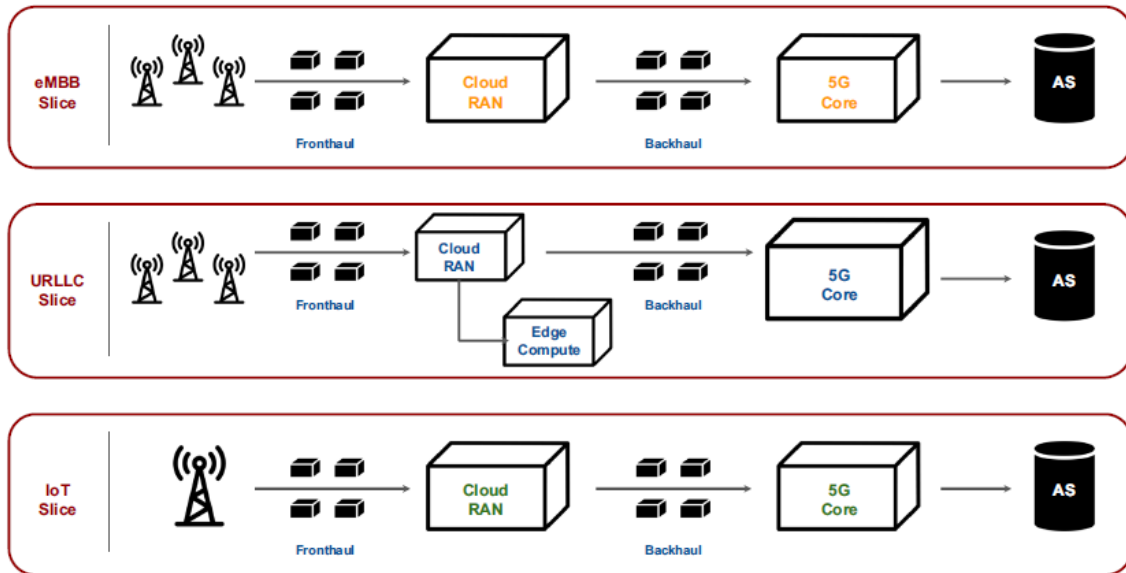


Рис.3.9. Розрізання бездротової мережі 5G для eMBB, URLLC і mMTC

Перший, що називається розширеним мобільним ширококутовим доступом (eMBB), призначений для надання типів послуг, які зазвичай використовують 4G для веб-перегляду, потокове відео, тип трафіку для програм електронної пошти та програм, які часто вимагають дуже високі пікові швидкості передачі даних. Можливо, він не надто чутливий до затримки, але дуже різкий за своєю природою. Друга категорія різних нарізків називається наднадійними комунікаціями з низькою затримкою (URLLC), які включають клас програм, таких як безпілотний автомобіль, віртуальна реальність або доповнена реальність, які мають дуже суворий час затримки в обидві сторони (RTT). працювати ефективно. Деякі з цих програм є критично важливими та потребують високого рівня надійності.

Наступний фрагмент називається Massive Machine Type Communications (mMTC), який включає категорію послуг, таких як Інтернет речей (IoT), де нам потрібно підключити величезну кількість пристроїв. Ці пристрої можуть не вимагати надзвичайно високої швидкості передачі даних або низької затримки. Прикладами таких пристроїв є розумні міста та розумний дім.

Логічний потік наскрізного сегмента мережі для інформаційно-розважальної частини клієнта (скажімо, Honda) проілюстровано на рис. 3.10.

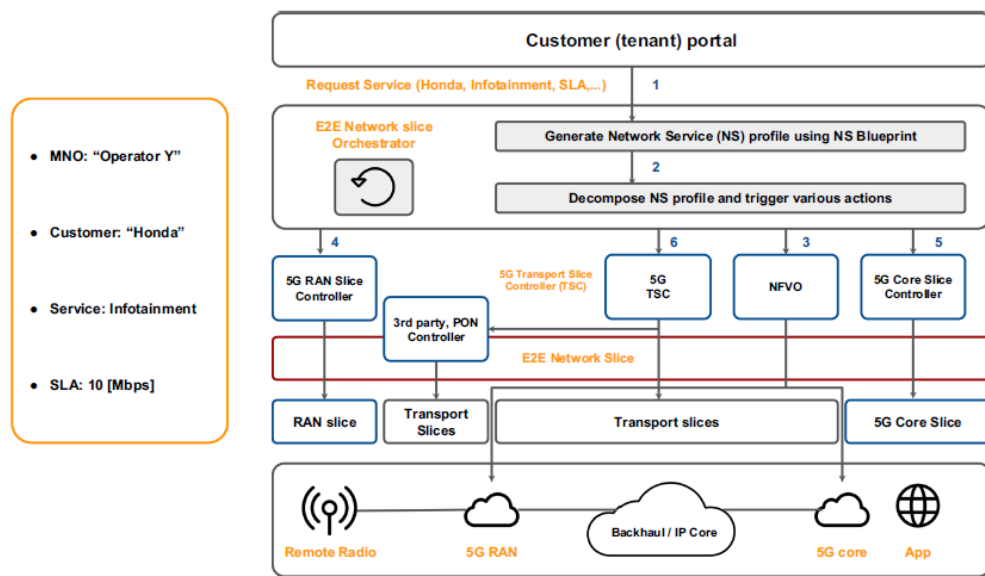


Рис.3.10. Логічний потік наскрізного сегмента мережі

Бюджет для сегмента мережі угоди про рівень обслуговування (SLA) становить 10 Мбіт/с. Портал клієнтів надсилає запит оператору. А оператор використовує свої креслення або шаблони сегментів мережі для створення профілю сегментів мережі.

І після цього він проходить різні декомпозиції, запускаючи різні дії в мережі. Перше, що він робить, це надсилає запит до оркестратора віртуалізації мережевих функцій (NFVO), який створює віртуальну RAN, віртуальне ядро або обидва, якщо це необхідно. Друга частина полягає в тому, що вона надсилає запит до контролера RAN для створення фрагмента RAN і надання персоналізації обладнання RAN. Таким же

чином він надсилає запит до контролера ядра 5G для створення сегмента ядра, який є особистістю в ядрі. Нарешті, він спрямовує запит до контролера транспортного сегмента для створення зв'язку між ним, RAN і ядром. На цьому етапі він з'єднує всі ці фрагменти, створюючи єдиний наскрізний мережевий сегмент для конкретного клієнта, який належить до типу послуги, який пояснювався раніше.

Розрізання мережі може бути використане бізнес-клієнтами для їхніх конкретних потреб, маючи доступ до високоспеціалізованих мереж. SLA можна використовувати для ефективного, рентабельного та своєчасного управління послугами. Такі промислові сектори, як автомобільна промисловість, логістика, охорона здоров'я та оздоровлення, фінанси, розумні міста, промисловість 5.0 тощо, матимуть високий потенціал для застосування нарізки мережі. Однак підприємства віддають перевагу приватним мережам 5G, а не нарізці мережі через потенційні ризики для безпеки, які виникають, коли зрізи закупаються з публічних мереж 5G оператора оператора. Крім того, приватні мережі 5G можуть будуватися та контролюватися підприємствами, використовуючи власний спектр.

Рішення підприємства про те, чи вибрати нарізку мережі чи приватну 5G, значною мірою залежатиме від вартості, зрілості та довіри технології.

Приватна мережа 5G як послуга.

Розробка та розгортання мережевих служб традиційним способом з використанням виділеної інфраструктури є повільним і дорогим, і це все більше не синхронізується з діловим світом, якому потрібна швидкість і гнучкість. Висока вартість підключення та його складне обслуговування завдяки фірмовому рішенню є ключовими проблемами, з якими стикається галузь у своїй цифровій трансформації.

Підприємства можуть керувати своїм наскрізним підключенням за допомогою виділеної інфраструктури, розгорнувши приватну мережу 5G.

Приватна мережа 5G як послуга (5G-NaaS) — це інтерфейс програмування додатків (API) на основі мережевого оркестратора, який дозволяє стороннім клієнтам із відповідними навичками ІТ вимагати певних мережевих послуг, налаштованих

відповідно до їхніх бізнес-потреб. Він розробляє спеціальні шаблони, доступні для бізнес-клієнтів, щоб визначити різні вимоги щодо розташування, тривалості, QoS, додаткових послуг тощо. Модель 5G-NaaS від постачальника може бути «нульовим капіталовкладенням», його підписка може бути ключовим фактором для клієнтів у їхній цифровій трансформації з обмеженим бюджетом. Це комплексне кероване рішення, яке дає операторам мобільних операторів і постачальникам послуг швидко та безпечно надавати підприємствам приватні послуги 5G Network, як показано на рис. 3.11. Воно може звільнити клієнтів від будь-якого типу блокування постачальників, забезпечити більшу гнучкість і конкурентоспроможні ціни, економічно ефективно масштабування та швидші інновації, які можуть значно знизити витрати.

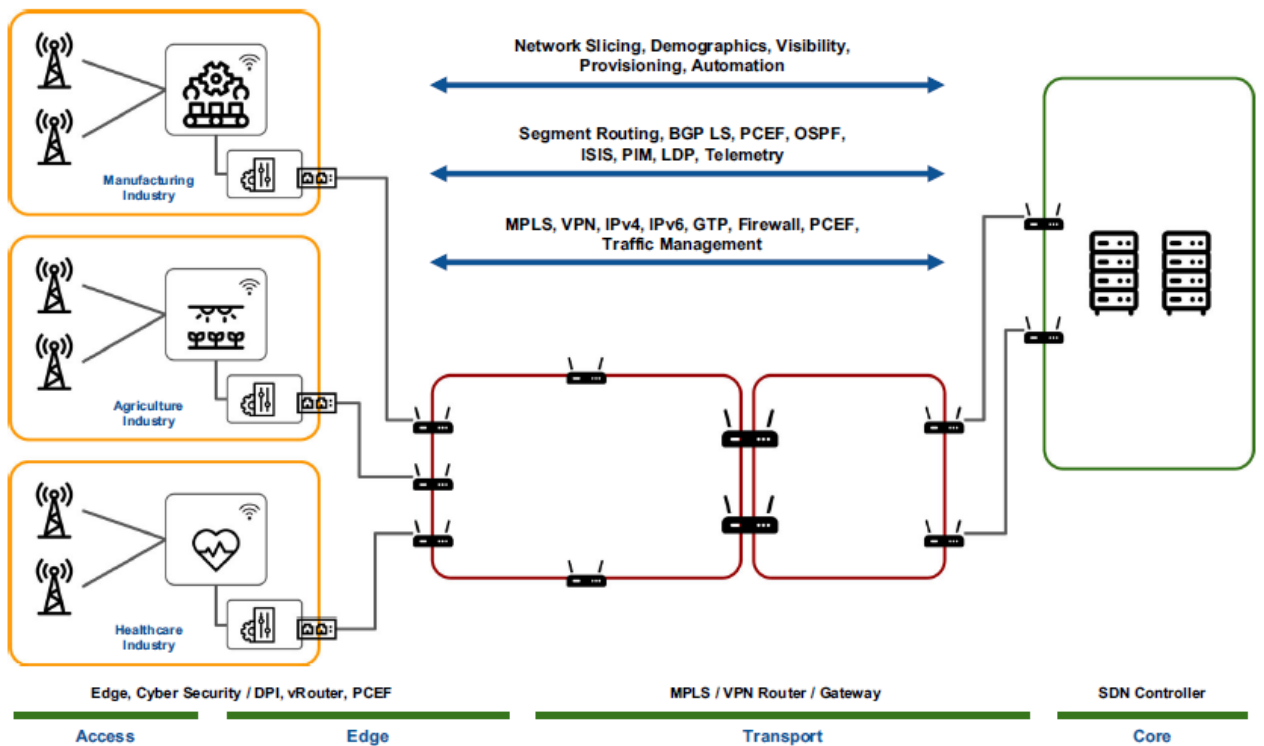


Рис.3.11. Приватна мережа 5G як послуга (5G-NaaS)



Постачальники 5G-NaaS можуть допомогти підприємствам відчуту приватну мережу 5G операторського рівня для роботи своїх критично важливих додатків із низькою затримкою, високою пропускнуою здатністю, наскрізною безпекою та розширеним покриттям. Вони також можуть забезпечити безпечну та швидку мобільність між кількома корпоративними сайтами. Переваги 5G-NaaS для MNO включають:

- Спрощена робота та управління.
- Гнучкі моделі розгортання.
- MNO інтегрована мобільність.
- Глибоке розуміння бізнесу.
- Найнижча вартість входу.
- Потужний, масштабований і гнучкий.
- Конфіденційність даних.

#### **2.4 Перспективи використання приватних мереж 5G в транспортних перевезеннях та логістиці**

Аналізуючи можливості мережі 5G можна зробити висновок, що їх використання в транспортних перевезеннях та логістиці можуть забезпечити:

- У 1 000 разів більше мобільного трафіку.
- У 100 разів більше підключених пристроїв - до 1 мільйона на квадратний кілометр.
- У 100 разів вища швидкість передачі даних користувача, що пов'язано зі швидкістю передачі даних.
- П'ятикратне зменшення наскрізної затримки (час відгуку).

Більш детально, основні переваги, які технології 5G можуть надати транспортній та логістичній галузі, такі:

1. Щільність пристроїв і обсяг даних: технології 5G здатні підключати та підтримувати більше розумних пристроїв (від датчиків моніторингу температури до транспортних засобів), ніж їхні попередники, з величезною кількістю даних, які збираються та передаються через мережу.

2. Низька затримка: затримка означає затримку наскрізного зв'язку. Технології п'ятого покоління мають хороші показники затримки, тому дані збираються в режимі реального часу, що забезпечує найвищу швидкість мобільного з'єднання, навіть якщо кількість об'єктів, підключених до мережі, велика. Завдяки вищим швидкостям і малому розриву в часі інтелектуальні пристрої можуть спілкуватися один з одним швидше, майже в режимі реального часу, сприяючи застосуванню чутливих до часу додатків пристроїв Інтернету речей, актуальних у сфері логістики та транспорту.

3. Розрізання мережі: сегменти мережі — це окремі віртуальні мережі, які працюють на одній фізичній мережевій інфраструктурі для задоволення різних потреб у з'єднанні.

4. Зведення до мінімуму ризиків ланцюга постачань за рахунок покращення видимості: впровадження 5G із підтримкою великої кількості датчиків допоможе забезпечити наскрізний зв'язок і покращить видимість ланцюга поставок, що є одним із найбільших викликів у галузі логістики сьогодні.

5. Швидші та безпечніші портові операції: продуктивність технологій 5G забезпечує швидке та надійне з'єднання, допомагаючи створювати економічні, безпечні та ефективні операції в портах.

6. Покращений зв'язок, ремонт і вирішення проблем за допомогою технологій віртуальної або доповненої реальності.

Глобальна логістика стає дедалі складнішою. Канали фрагментовані, варіацій продуктів більше, ніж будь-коли раніше, а очікування споживачів щодо наявності та доставки продукції високі. Передові технології, такі як обчислення, машинне навчання, Інтернет речей (IoT), штучний інтелект і робототехніка, можуть підвищити

ефективність кожного етапу ланцюжка поставок. 5G може підтримувати технології, покращуючи їх швидкість, точність і надійність. Він пропонує значно кращі можливості підключення. Це підвищує наскрізну видимість і стабільність, дозволяючи приймати передбачувані рішення.

А нещодавнє опитування KPMG виявили, що лише 13% підприємств наразі мають повну видимість свого ланцюжка поставок. Безпрецедентна швидкість завантаження та вивантаження даних, ширше покриття та стабільніше з'єднання означають, що величезні обсяги даних можна передавати майже в режимі реального часу за допомогою 5G у логістиці. Це дає компаніям безпрецедентну видимість, що дозволяє їм ефективніше планувати та оперативно реагувати на збої. Маючи більше інформації про продукти на кожному етапі ланцюжка поставок, бізнес може краще планувати свої потужності та розподіл ресурсів заздалегідь. Вони можуть визначити можливості для оптимізації операцій і більш сталої діяльності. Вони також можуть зменшити ризик і наслідки затримок і збоїв і оперативно реагувати.

Просування цифровізації та стійкості ланцюгів поставок.

5G в логістиці може принести користь на всіх етапах ланцюжка поставок. Наприклад, він має величезний потенціал для управління запасами та інтелектуальних транспортних систем.

На складі 5G може усунути проблему підключення кількох бездротових пристроїв у просторі на сотнях або тисячах квадратних метрів. Це означає, що можна підключити все, від бездротових кранів і навантажувачів до портативних пристроїв, з бонусом у вигляді підвищеної швидкості. 5G також сприяє більш точним системам управління складом, які пропонують більш точне відстеження запасів. Наприклад, він може отримати вигоду від використання «розумних полиць» за допомогою датчиків IoT, які забезпечують видимість у реальному часі. Вони позначають, коли товар закінчується і його потрібно повторно замовити, забезпечуючи постійну доступність без надмірних запасів.

5G також змінює правила гри для автономних транспортних засобів. Датчики, камери та інші взаємопов'язані пристрої обмінюються даними через мережу та передають інструкції автомобілю. Коли ця мережа підтримується 5G, це дозволяє системам автономного водіння бути надійнішими, точнішими та безпечнішими. Це означає, що їх також можна запрограмувати на швидшу роботу. Автономні транспортні засоби в даний час обмежені контрольованими середовищами, такими як склади, але 5G може відкрити двері для автономних вантажівок на дорогах загального користування.

Нові можливості для технологій ланцюга поставок

Окрім швидшої обробки більшої кількості даних, 5G дозволяє розрізати мережу. Інститут інженерів з електротехніки та електроніки (IEEE) визначає це як здатність «розрізати» мережу таким чином, щоб на основі загальної фізичної інфраструктури можна було створити кілька унікальних мереж. Кожна окрема мережа може бути розроблена для виконання конкретної бізнес-мети, що означає, що вона є більш гнучкою та ефективною. Нарізка мережі не є чимось новим, але 5G прискорює її потенціал.

Нарізка мережі може бути застосована для управління автопарком. Наприклад, фрагмент мережі 5G можна налаштувати для послуг «від автомобіля до всього» (V2X). Це зв'язок між транспортним засобом і будь-яким суб'єктом, який може вплинути на транспортний засіб або на нього вплинути. Він включає в себе технології, включаючи датчики, камери та бездротовий зв'язок. Newsweek описує це як «розширення IoT на дорозі». Сегментація мережі дозволить транспортним засобам обмінюватися даними один з одним, з інфраструктурою та будь-якими іншими відповідними організаціями чи організаціями більш безпечним способом.

5G в логістиці може зробити переміщення продукції простішим і точнішим. Крім того, що він дозволяє розумним пристроям обмінюватися даними зі швидкістю, близькою до реального часу, він також може краще підтримувати нові програми, такі як віртуальна реальність і доповнена реальність (AR), які мають великий потенціал

для трансформації ланцюжка поставок. Це розширить можливості для збирання зору, наприклад, коли працівники складу, які збирають замовлення, отримують візуальні підказки через розумні окуляри. Це підвищить точність і підвищить продуктивність.

Існують деякі бар'єри, які необхідно подолати, перш ніж можна буде реалізувати весь потенціал 5G у логістиці. Першим у списку є доступність мереж 5G та пристроїв із підтримкою 5G, для подолання яких логістичні компанії вживають заходів.

У довгостроковій перспективі 5G дає логістичній галузі можливість стати швидшою, надійнішою та безпечнішою. Це може підвищити спритність і стійкість. При правильних інвестиціях і впровадженні 5G в логістиці змінить правила гри.

## **3 ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ ПРИВАТНИХ 5G МЕРЕЖ В ЛОГІСТИЦІ ТА ПРИ ОРГАНІЗАЦІЇ РУХУ ТРАНСПОРТУ**

### **3.1 Застосування приватних 5G мереж в логістиці**

Приватні 5G є ключовою новою технологією в логістиці, пропонуючи більше, ніж просто надійне підключення; це рішення нагальних проблем, з якими стикаються логістичні центри.

Опишемо можливості, які відкриває використання приватних 5G в логістиці.

#### **1. Інтеграція автономної технології**

Одним із важливих факторів є очевидні переваги використання автономних мобільних роботів (AMR) у складських операціях. Ці роботи, здатні оптимізувати процеси та звести до мінімуму ручні завдання, символізують саму суть технологічного прогресу в секторі. Їхній вплив настільки сильний, що переважна більшість працівників тепер розглядає їх не просто як інструменти, а як ключові елементи, що підвищують ефективність їх роботи.

#### **2. Поетапний підхід до автоматизації**

Інтригує те, що хоча впровадження повноцінної автоматизації вже на горизонті, як особи, які приймають рішення, так і партнери демонструють узгоджену точку зору щодо методу переходу. Ідеальним підходом до запровадження автоматизації є спочатку збільшити продуктивність за допомогою допоміжного програмного забезпечення та пристроїв.

#### **3. Підвищення ефективності.**

Оскільки склади прагнуть до кращого підключення та обробки даних у режимі реального часу, приватна мережа 5G має стати стрижнею, забезпечуючи безперебійний зв'язок між машинами та підвищену ефективність роботи.

Його широке застосування варіюється від забезпечення безпеки на робочому місці за допомогою переносних пристроїв до перевизначення швидкості виконання замовлень. Для логістичних центрів впровадження приватної мережі 5G означає не лише вирішення існуючих перешкод; це про планування курсу на майбутнє, яке характеризується неперевершеним зростанням та інноваціями.

Проаналізувавши науково-технічну літературу, було визначено кілька випадків практичного використання приватних 5G в логістиці:

#### 1. Підтримка плавного переходу до цифрових систем:

Перехід польових команд від традиційних ручних методів до цифрових процесів, особливо при інтеграції систем управління складом (WMS), є проблемою. Вагання часто виникають через занепокоєння щодо ненадійного з'єднання, яке може бути значним джерелом розчарування. Якщо мережа виходить з ладу або дає збій, це не тільки порушує робочий процес; це може різко сповільнити весь операційний процес, що призведе до неефективності та затримок.

Стратегічним рішенням є запровадження системи WMS із підтримкою 5G. Така платформа використовує надшвидке та послідовне підключення 5G для відстеження в реальному часі й оновлення товарів під час їхнього руху через ланцюжок поставок. На додаток до цього надзвичайно важливо забезпечити команди на місцях портативними пристроями, оптимізованими для 5G. Ці гаджети забезпечують безперервне введення та пошук даних, надаючи командам впевненість у тому, що система працює в гармонії з їхніми завданнями, підвищуючи продуктивність і зменшуючи ймовірність помилок.

#### 2. Ефективно керуйте запасами

Однією з головних проблем, з якою стикаються підприємства, особливо ті, що мають справу з дорогоцінними предметами, є підтримання кристально чіткого уявлення про свій інвентар. Це не дрібниця; неточності в підрахунку запасів або недоречні товари можуть швидко призвести до значних фінансових втрат. Бездоганна

система управління запасами — це не лише підрахунок товарів, але й оптимізація зберігання, мінімізація втрат і підвищення ефективності роботи.

Найкращим підходом є інтеграція передових інструментів, таких як сканери штрих-кодів 5G, у процес інвентаризації. Ці пристрої, покращені швидкістю та надійністю мереж 5G, забезпечують швидку реєстрацію та точне відстеження кожного продукту, усуваючи припущення. На додаток до традиційного вибору за допомогою сканера штрих-кодів, можливості відстеження в реальному часі пристроїв 5G відіграють цінну роль, особливо в моніторингу переміщення та розташування.

### 3. Доведіть безпечне робоче середовище

Встановлення конкретних стандартів безпеки та здоров'я на робочому місці залишається складним завданням, особливо в умовах швидкого розвитку. Як добробут співробітників, так і довіра залежать від створення безпечного та продуктивного робочого середовища.

Слід використовувати 5G, щоб забезпечити носимі пристрої для працівників. Ці інструменти використовують можливості 5G у режимі реального часу та відстежують життєво важливі показники здоров'я та стан навколишнього середовища, миттєво повідомляючи керівників про порушення чи небезпеки. Щоб запобігти нещасним випадкам, таким як зіткнення працівника з навантажувачем, ці пристрої діють як датчики наближення, надсилаючи попередження під час близької зустрічі. Якщо працівник знаходиться під загрозою, точне відстеження 5G дозволяє групі безпеки негайно знайти його, забезпечуючи швидке втручання.

### 4. Трудові проблеми в інтра-логістиці

Зростаючі витрати, пов'язані з робочою силою, і постійна проблема підбору та утримання досвідченого персоналу створюють зростаючий тиск на логістику та складські операції. Це не тільки впливає на фінансові показники, але й загрожує безперервному потоку та ефективності ланцюжка поставок, оскільки кваліфікована робоча сила стає дедалі дефіцитнішим ресурсом.



Впровадження AGV і AMR, пов'язаних із 5G, є ключовим рішенням. Призначення цим роботам таких завдань, як збір і поповнення запасів, зменшує залежність від ручної праці, протидіючи зростаючим витратам на робочу силу. Це підвищує ефективність роботи, зменшує людські помилки та підвищує продуктивність. Для оптимальної роботи цілодобово та без вихідних ці роботи вимагають бездоганного підключення, яке наразі забезпечує лише приватна мережа 5G.

#### 5. Операційна масштабованість при зростанні онлайн-покупок

З бумом онлайн-покупок різко зросла потреба в складських приміщеннях, виконанні замовлень і доставці в останню милю. Компанії 3PL важко впоратися, особливо в пік сезону, наприклад у свята, коли обсяги замовлень можуть сильно відрізнятись. Швидка, а в багатьох випадках очікування онлайн-клієнтів доставки в той же день, ще більше навантажує систему. Крім того, ефективна обробка повернень (зворотна логістика), оновлення продуктів, поповнення запасів і обробка відшкодувань також вводять додаткові рівні складності в операційну матрицю 3PL.

Розгортання інтегрованої системи керування на базі 5G, спеціально розроблену для 3PL, щоб покращити зв'язок у реальному часі та передачу даних у логістичному центрі. Використання наднадійного підключення 5G забезпечує миттєве оновлення рівня запасів і статусів замовлень. При обробці повернень і відшкодувань ця система з підтримкою 5G прискорює процес, негайно відображаючи повернуті товари в інвентарі та полегшуючи процеси відновлення та поповнення запасів.

#### 6. Звіт про інвентаризацію та роботу в режимі реального часу для клієнтів електронної комерції

Платформи електронної комерції вимагають відстеження в реальному часі та повної інтеграції з системами 3PL. Оновлення застарілих систем, забезпечення сумісності та надання даних у реальному часі може бути технічно та фінансово складним. Оскільки ринкова динаміка зміщується в онлайн, операції необхідно ефективно масштабувати.

Зчитувачі штрих-кодів набагато надійніші при підключенні до мережі 5G, вони не відключаються, працівник може пересуватися по підлозі, зберігаючи зв'язок і незважаючи на велику кількість одночасних підключень. Завдяки цьому операція комплектування та інвентаризація ведуться в режимі реального часу, а помилки зводяться до мінімуму.

#### 7. Задоволення очікувань багатьох клієнтів

Сектор логістики, особливо для 3PL, має відповідати зростаючим очікуванням клієнтів, дотримуючись різноманітних угод про рівень обслуговування (SLA). Ці угоди про рівень обслуговування, які часто обговорюються індивідуально, становлять проблему, особливо коли вони передбачають жорсткі графіки доставки.

Впровадження виділеної приватної мережі 5G у логістичному центрі разом із пристроями та датчиками, що підтримують 5G, вирішать дану проблему. Це забезпечує керування запасами в реальному часі, негайну обробку замовлень і миттєве оновлення статусів зберігання та відправлення. На основі цих надійних даних у реальному часі логістичні операції можуть запускати прогнозу аналітику для оптимізації робочих процесів, ефективного управління ресурсами та передбачення вузьких місць.

#### 8. Управління якістю: забезпечення досконалості внутрішньої логістики

У міру розширення та зрілості компаній зростає потреба дотримуватися стандартів якості. Йдеться не лише про дотримання цих стандартів; компанії також повинні постійно перевіряти, чи вони на правильному шляху, і демонструвати докази цього як своїм клієнтам, так і зацікавленим сторонам. Це може бути складним завданням, особливо коли намагаєтеся поєднувати зростання з підтримкою високоякісних операцій.

Впровадження комплексної системи управління якістю (QMS) із підтримкою 5G у логістичній інфраструктурі, допоможе вирішити дане питання. Ця система, що працює на основі швидкого та надійного підключення 5G, може безперервно контролювати операції в режимі реального часу, гарантуючи, що всі дії відповідають

встановленим стандартам якості. Крім того, QMS може автоматично генерувати детальні звіти через регулярні проміжки часу. Ці звіти можна миттєво надати зацікавленим сторонам і клієнтам, пропонуючи прозору інформацію про дотримання компанією стандартів якості.

#### 9. Ефективне виконання замовлень

Галузь логістики відчуває величезний тиск, щоб вирішити проблему швидкої ефективної обробки великих обсягів замовлень. Затримки або неправильні напрямки в таких ситуаціях можуть призвести до значних операційних невдач і невдоволення клієнтів.

Використання потужності приватного підключення 5G, інтегрованого з розширеними системами керування транспортом, допоможуть вирішити цю проблему. Ця синергія гарантує, що піддони, особливо піддони з великими обсягами замовлень, миттєво й точно розміщуються та направляються до відповідної док-станції чи конвеєрної системи. Точна маршрутизація та розподіл гарантують, що ці піддони постійно підбираються до потрібної вантажівки чи виду транспортування. Такий спрощений процес не тільки скорочує час очікування, але й мінімізує ймовірність помилок, підвищуючи довіру клієнтів.

#### 10. Безпека даних

У сучасну епоху цифрових технологій захист даних як компаній, так і клієнтів став першочерговою проблемою. Порушення даних або несанкціонований доступ можуть призвести до значних фінансових втрат, шкоди репутації бренду та юридичних ускладнень. Забезпечення цілісності та конфіденційності даних є не просто технічною вимогою, а основоположним принципом ведення бізнесу.

Рішенням є користування передовими засобами безпеки, які пропонують приватні мережі 5G. На відміну від загальнодоступних мереж, приватна мережа 5G може похвалитися розширеними методами шифрування та суворими протоколами безпеки, призначеними для захисту конфіденційної інформації. Він пропонує спеціальну інфраструктуру, що дозволяє підприємствам мати детальний контроль над

потоками даних і комунікаціями. Це гарантує, що лише перевірені пристрої та авторизований персонал отримують доступ, тим самим зменшуючи ризик ненавмисного розкриття даних. Внутрішня архітектура безпеки приватного 5G ще більше мінімізує сприйнятливість до зовнішніх загроз, несанкціонованих вторгнень і потенційних порушень, забезпечуючи додатковий рівень гарантії для компаній і їх клієнтів.

Визначивши основні проблеми логістики та можливі їх вирішення за рахунок використання приватних 5G мереж, можна зробити висновок, що світ складського господарства швидко змінюється, і очевидно, що підприємствам потрібно йти в ногу. Все частіше ми бачимо, як роботи та високошвидкісні мережі 5G значно змінюють роботу складів. Це ніби спостерігаєш, як оживає склад, і всі нові технології роблять роботу плавнішою та швидшою.

Роботи допомагають працівникам виконувати більше завдань, а мережі 5G означають, що все постійно підключено, що значно полегшує такі завдання, як відстеження запасів або збереження даних.

### **3.2 Розумні дороги та організація перевезень**

Очікується, що до 2030 року будуть розгорнуті повністю функціональні нові автономні (SA) мережі 5G, що дозволяє використовувати найсучасніші послуги для стільникового зв'язку з низькою затримкою, високою надійністю та високою пропускну здатністю. Європейська комісія вкладає значні кошти щоб прискорити розбудову інфраструктури 5G і розробку передових цифрових послуг із використанням можливостей комунікаційних технологій 5G, зокрема для випадків використання 5G на транспорті, включаючи рішення інтелектуальної транспортної системи (ITS).

Автомобільні перевезення та їх ланцюжок створення вартості пов'язані з майбутніми сценаріями транспортних перевезень, які значною мірою залежатимуть від нових ІТС-технологій, які дозволяють оптимізувати економічно ефективні логістичні процеси. Майбутні транспортні перевезення також будуть ефективнішими, плавнішими та екологічно чистішими.

У випадках використання 5G в автомобільному транспорті транспортні засоби формуватимуть взвод (щільну колону) і рухатимуться в унісон, а збір і використання інформації буде вестися від різних користувачів дорожніх і транспортних рішень. Один із найважливіших чинників для майбутніх ІТС послуги є стільниковий транспортний засобів для всього (C-V2X). Загальна ідея V2X полягає в тому, щоб дозволити обмін інформацією в реальному часі між транспортних засобів, реагувати на зміну руху та дороги, враховувати зміни відповідно до дорожніх датчиків, безпечно співпрацювати з вразливою групою користувачів (VRU), тобто пішоходами і велосипедистами.

C-V2X з низькою затримкою та високою надійністю ідеально підходить для безпеки дорожнього руху, економії палива – особливо для великовагових транспортних засобів.

Огляд визначених 3GPP випадків використання C-V2X представлений нижче та узагальнені в таблиці 3.1. Посилання на різні випадки використання автомобільного транспорту показано на рисунку.

Організація стандартів 3GPP визначила і описав чотири основні випадки використання C-V2X:

1. Організація пересування машин у взводах.
2. Розширені датчики які дозволяють обмінюватися необробленими або обробленими даними, зібрані за допомогою локальних датчики або живого відео з транспортних засобів, пристроїв VRU та застосування V2X серверів.
3. Розширене водіння в довгостроковій перспективі дозволяє напівавтоматичне або повністю автоматизоване водіння.

4. Дистанційне водіння дозволяє віддалений драйвер або додаток V2X для керування автомобілем для тих пасажирів, які не можуть керувати автомобілем самостійно, або дистанційне керування транспортними засобами, що направляються в небезпечні або недоступні місця.

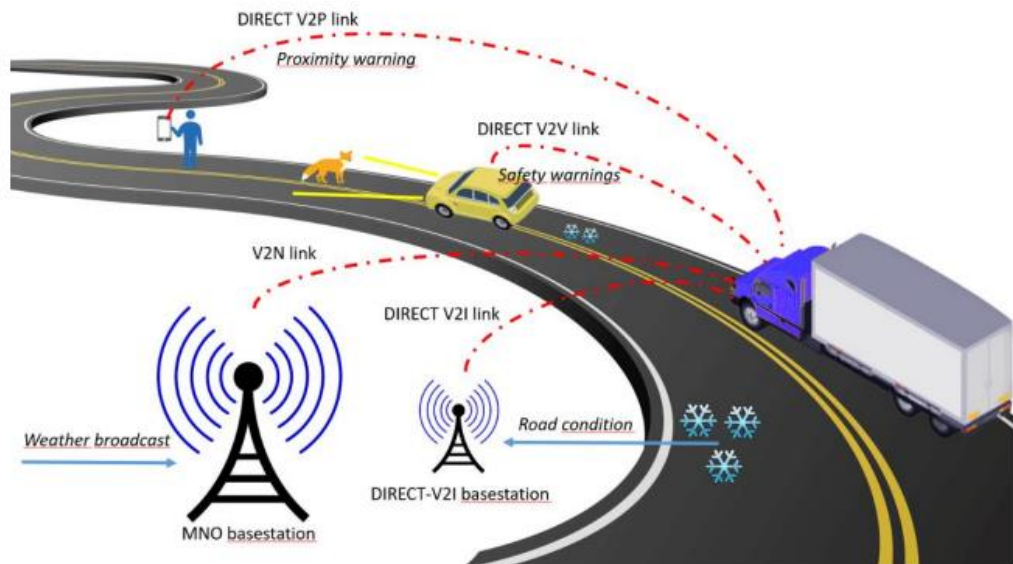


Рис.3.1. Випадки використання

Загалом сценарії використання передбачають, що до 2030 року значну частину займатимуть вантажні перевезення на великих магістралях. Транспортні засоби будуть знаходитися у напівавтоматичному або повністю автоматизованому режимі, та будуть їздити взводом. В даному випадку група транспортних засобів їдуть близько один до одного (відстань до кількох метрів) узгоджено економлять паливо, мають повне усвідомлення рух навколо них і отримують інформацію безпосередньо від учасників дорожнього руху за допомогою зв'язку V2X каналів.

Таблиця 3.1

## Випадки використання транспорту

Випадки використання	Опис	Переваги для транспортного руху
Взвод транспортних засобів	Група транспортних засобів, що скоординовано рухаються близько один до одного. Усі машини у взводі отримують інформацію від головної машини (HV) для керування взводом	Підвищення паливної ефективності, швидкості логістики, безпеки та плавності руху
Допомога при обмеженій видимості	Для безпечного руху автомобіля потрібен вільний огляд. Цей огляд забезпечує камера або інші транспортні засоби чи придорожня інфраструктура. Транспортні засоби можуть покращити сприйняття навколишнього середовища понад те, що можуть виявити їхні власні датчики, і мати	Краща ситуація усвідомлення і моніторинг потенційних загроз

	ширше та цілісніше уявлення про місцеву ситуацію.	
Кооперативна автоматизована (бокова) стоянка	Транспортний засіб співпрацює з сусідніми транспортними засобами та VRU, щоб інформувати їх про маневри паркування на узбіччі.	Швидкий рух та маньоври
Телекероване водіння	Віддалений водій бере на себе керування транспортним засобом і керує ним безперервно. У разі надзвичайних ситуацій або нападів операція рузу може бути взята під контроль людиною. Телекероване водіння. Автономний транспортний засіб тимчасово запитує дистанційне керування, щоб вирішити ситуацію з високою невизначеністю.	У разі надзвичайних ситуацій або нападів вождіння може бути взяте під контроль людини



<p>Напівавтоматичне або повністю автоматизоване водіння</p>	<p>Кожен транспортний засіб і/або придорожній блок (RSU) ділиться власними даними сприйняття, отриманими від своїх локальних датчиків, з транспортними засобами поблизу, що дозволяє транспортним засобам синхронізувати та координувати свої траєкторії або маневри. Кожен транспортний засіб поділяє свій намір маньоврів з транспортними засобами, що знаходяться поблизу.</p>	<p>Підвищена ситуативна обізнаність і безпека</p>
<p>Повідомлення про ДТП</p>	<p>У разі дорожньо-транспортної пригоди звіт, що містить запис даних датчиків транспортного засобу, інформацію про навколишнє середовище та доступні види камер</p>	<p>Швидка відповідь і прийняття рішення щодо ситуації</p>

	автомобіля, надсилається до спеціального центру обробки даних	
--	---	--

Тим не менш, використання технологій 5G пов'язане з ризиками для колони. До 2030 року буде завершено розгортання 5G для випадків використання автомобільного транспорту, розвиток якого буде керуватися комерційними та громадськими потребами. Транспортні перевезення повинні враховувати транспортний ланцюжок вартості, створений приватними цивільними підрядниками. Неправдоподібно, наприклад, що транспортні мережі та інфраструктура 5G будуть створені паралельно з громадськими мережами та інфраструктурами, якими керують працівники мобільних операторів. Іншими словами, базові станції 5G будуть створені для спільного використання всіма, що становить загрозу безпеці, якщо критично важливе обладнання покладається на них.

Слід зазначити, що зменшення ризиків у сценарії розумної дороги концептуально відрізняється від сценарію розумного порту. Порт що працює на 5G, швидше за все, використовує приватні або принаймні мережі 5G із підтримкою нарізки для багатьох варіантів оперативного використання, а військові об'єкти не підключені до портової мережі 5G, що підкреслює витік інформації як основну проблему безпеки.

Під час автомобільних перевезень не можна уникнути взаємодії з публічними мережами 5G, які обслуговують певні послуги ITS. Можливо, транспортний конвой самостійно від'єднається від загальнодоступних служб 5G, щоб мінімізувати ризики кібербезпеки, пов'язані з V2X, але такий підхід, окрім вимкнення корисних функцій, таких як розведення та підвищення ймовірності дорожньо-транспортних пригод, може бути технічно неможливим для цивільних автомобілів, які орендуються.

## Базова технологія

Базовий сценарій використання автомобільного транспорту спиратиметься на технологію C-V2X, що забезпечить подальші послуги ITS. C-V2X поєднує підключення V2N (автомобільний засіб до мережі) – звичайний обмін даними через інфраструктуру стільникової мережі та зв'язок між пристроями (D2D), що забезпечує пряме з'єднання між двома пристроями UE без залучення стільникової інфраструктури під час обміну даними.

Радіоінтерфейс D2D, описаний раніше як ProSe або PC5 link, має вирішальне значення для забезпечення коротких затримок нижче десяти мілісекунд міжавтомобільних повідомлень, встановлення зв'язку між транспортними засобами та VRU та надання суто локальної інформації від придорожніх датчиків і дорожніх знаків.

Послуги V2N розумного автомобільного транспорту покладатимуться на існуючу інфраструктуру публічної стільникової мережі для надання послуг ITS на основі 5G. Через витрати на налаштування було б нереалістично управляти автомобільним транспортом в окремій приватній мережі, тому при перевезенні повинні покладатися на публічні мережі, беручи до уваги відповідні ризики кібербезпеки.

Для сценарію взводу, як основного сценарію використання для вантажного транспорту, допоміжна система базуватиметься на загальнодоступній мережі 5G з повністю або частково ввімкненими службами C-V2X і послугами MEC для локальних мереж і розподілених обчислень. Загальний огляд архітектури системи зображено на рис.3.2. Колона з рухомими вантажами рухається заздалегідь визначеним шляхом із використанням технології C-V2V для підтримки правильного напрямку та оптимальної відстані між транспортними засобами (всередині червоного квадрата на рис.3.2). У колоні транспортних засобів буде водій, закріплений принаймні за першим транспортним засобом. У такому випадку може виникнути ситуація, коли перший транспортний засіб з водієм відокремлюється від основної

колони, а транспортний засіб учасника колони отримує (зловмисні) повідомлення про аварійні умови через канал V2X тощо

Зв'язок D-V2V PC5 використовується між транспортними засобами для підтримки дистанції між транспортними засобами. З точки зору безпеки, слід пам'ятати, що в режимі «за замовчуванням» PC5 працює в ширококомовному режимі, тобто з'єднання встановлюється з усіма сусідніми сторонами. Зв'язок PC5 V2V підтримує вибір режимів, як-от ширококомовний, груповий, одноадресний і може бути відключений через налаштування IMSI (SIM-карти). Контроль режиму зв'язку PC5 допомагає знизити ризики, пов'язані зі зловмисною поведінкою захоплених дорожніх датчиків або підроблених пристроїв VRU. На додаток до зв'язку D-V2V, колона, принаймні головна/транспортні засоби супроводу, також повинна мати можливість спілкуватися через канали C-V2N для отримання централізованої інформації. Для забезпечення доступності система використовує послуги кількох мобільних операторів у мережі загального користування на дорогах.

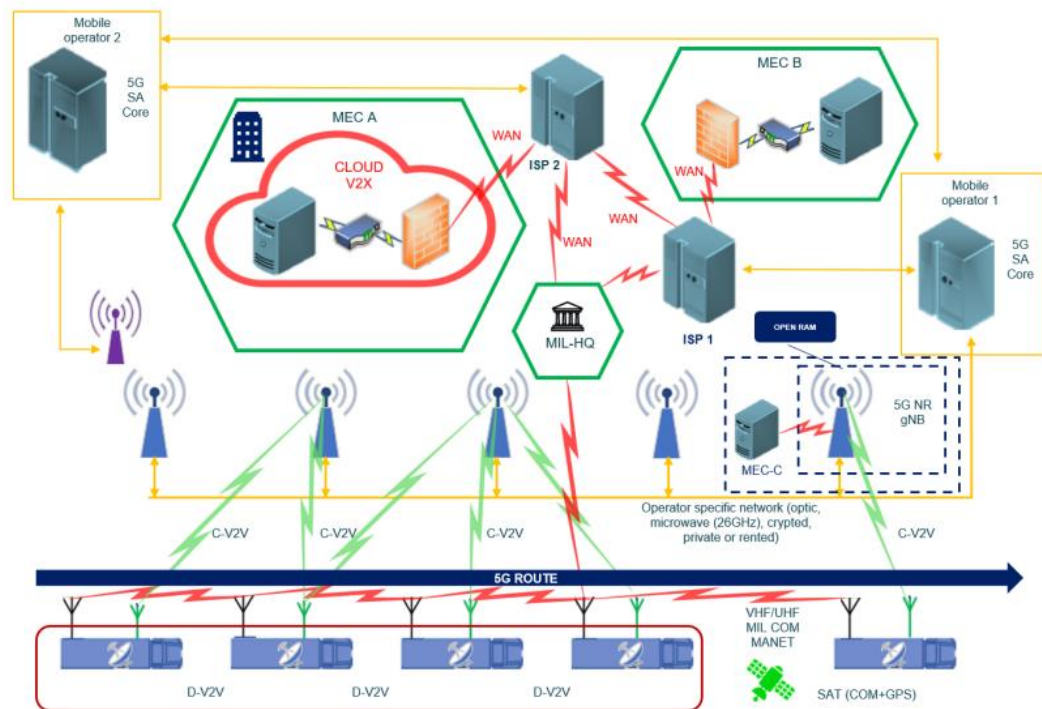


Рис.3.2. Загальна схема організації руху транспорту

Для звичайних, цивільних випадків використання спільних обчислень MEC увімкнено для вимогливих до обчислень і спільних завдань. Рішення периферійних обчислень із множинним доступом (MEC) використовується для роботи та керування системами V2V і V2N. Компоненти системи MEC можуть перебувати в різних місцях архітектури, залежно від поставлених перед ними завдань. При підтримці дистанції між транспортними засобами MEC повинен бути розташований або всередині автомобіля, або інтегрований у базову станцію. Загальне керування конвоєм також може відбуватися в ширшій мережі, оскільки функції реального часу не настільки важливі. Якщо конвой рухається в різних регіонах, можуть існувати так звані регіональні MEC (MEC-B на рис.3.2). Крім того, регіональні MEC можуть бути оркестровані глобальним, загальноєвропейським MEC (MEC-A на рис.3.2). Оскільки оркестрування MEC може відбуватися в різних країнах, залежно від того, де знаходиться конвой, також залучаються різні провайдери Інтернету (провайдери Інтернет-послуг) (ISP1 та ISP2 на рис.3.2).

Розглядаючи аспекти кібербезпеки, враховується наступне: передбачається, що мережі 5G значно безпечніші, ніж поточні сучасні рішення та бездротовий зв'язок 5G. Мережа за своєю конструкцією значно захищена (зелені посилання на рис.3.2). Згідно з проектом мережі, з'єднання між різними операторами мобільних операторів також достатньо безпечні, оскільки це окремі канали даних (жовті посилання на рис.3.2).

Найбільш ймовірно, що кіберзагрози постраждають від MEC у різних місцях. Вони можуть бути зламані через глобальну мережу, у деяких випадках мати невідоме безкоштовне програмне забезпечення або бути атакованими за допомогою атак типу «відмова в обслуговуванні» (DoS) тощо.

З іншого боку, транспортні компанії можуть отримати значні вигоди від комерційного впровадження рішень 5G в автомобільному транспорті. Потенційні переваги використання 5G для автомобільного транспорту та зв'язку включають підвищену ефективність, надійність і безпеку, і ці переваги перетворяться на операційні покращення в сценарії руху.

### 3.3 Техніко-економічний аналіз архітектур непублічних мереж 5G

У цьому розділі представлені різні моделі розгортання 5G NPN, рішення щодо зниження витрат, аналіз чутливості ключових параметрів розгортання та прогнозування глобального проникнення. Формулюванням моделі передують обґрунтування вибору методів і моделі.

Розрахунок вартості виконується для динамічної розрізної мережі у випадку використання на основі нейтрального хоста. Потім результат інтегрується з розрахунками капітальних і експлуатаційних витрат для досягнення аналізу загальної вартості. Після цих розрахунків вартості виконується багатоцільовий аналіз чутливості, який вивчає ключові параметри розгортання, щоб перевірити їх значення для результатів розгортання 5G NPN. Нарешті, надається прогноз впровадження 5G NPN у всьому світі.

Нижче наведено деякі обґрунтування для застосування цієї моделі, основні припущення та методи. Було обрано три архітектури 5G NPN, оскільки їх базові конфігурації повторюють інші варіанти архітектур NPN, як описано у попередньому розділі.

Розрахунки для планування потужності, капітальних і експлуатаційних витрат були вибрані аналітично, враховуючи аналіз подібних наукових досліджень, і передбачають:

- 40% економія енергії від використання NFV;
- Зона радіопокриття 2 км;
- 50% спільного використання для нейтрального хоста;
- 4,4% річний рівень інфляції;

На основі дослідницької літератури було досягнуто 40% економії енергії від NFV. Проаналізовані дослідження припускають, що зниження споживання енергії може становити близько 40 відсотків, якщо розгортається технологія віртуалізації мережевих функцій/програмно визначеної мережі.

Зона покриття 2 км розглядалася на основі радіусу покриття малого стільникового зв'язку 5G, типової зони основних промислових секторів і середовищ на базі кампусів, таких як аеропорти, фабрики, склади, центри логістики і підземні транспортні мережі, які формують основне розгортання. сценарії 5G NPN.

Параметр спільного використання інфраструктури базується на концепції нейтрального хоста. Прийняття нейтрального хосту свідчить про підвищення актуальності в екосистемі індустрії бездротового зв'язку, що розвивається, і прокладає шлях до зменшення власності на фізичну інфраструктуру. Модель Neutral Host пропонує найбільш перспективне рішення з точки зору управління витратами і підходить для розгортання приватних мереж і навіть у віддалених місцях. Крім того, різноманітні корпоративні вимоги потребують індивідуальних рішень для кожного випадку використання, які нейтральний хост може краще підтримувати.

Річний рівень інфляції було встановлено на рівні 4,4% на основі переважаючого показника для ЄС станом на 23 рік. Валюта розрахунку – Євро, оскільки беремо середньостатистичне для ЄС.

Вартість ремонту була змодельована на основі ймовірності відмови. Було застосовано розподіл Вейбулла, який використовується для аналізу відмов у розробці надійності. Це ґрунтується на прийнятній точності прогнозу невдач за невеликих вибірок. У прогнозуванні впровадження 5G NPN використовувалася модель дифузії Bass. Завдяки значенням параметрів модель генерує S-криву життєвого циклу. Значення параметрів апроксимуються з історії проникнення бездротової мережі попередніх поколінь у вибраних країнах. Обґрунтування цього наближення ґрунтується на тому, що прийняття непублічних мереж п'ятого покоління як продукту чи послуги можна вважати аналогічним до бездротових мереж попередніх поколінь. Подібність обох продуктів помітна в їх поведінці.

Традиційний факторний метод для розрахунку капітальних і експлуатаційних витрат, загальної вартості володіння не підходить для розрізненої мережі. Факторний метод просто наближає вартість шляхом застосування вартості одиниці до загального

розміру. Це обмеження, оскільки ключові показники ефективності (KPI) можуть відрізнятися, оскільки вони залежать від різних мережевих ресурсів, які можуть бути спільними у вигляді фрагментів. Такі варіації призводять до коливань у розрахунках витрат і, таким чином, роблять традиційні

Підходи Carex та Orx до оцінки витрат невідповідні для розділених мереж. Щоб подолати це, у дослідженні застосовувалися ті самі попередньо визначені KPI для зрізів різних мережевих ресурсів у вибраних сценаріях NPN для розрахунку вартості. Ключові показники ефективності включають доступність, пропускну здатність, надійність, потужність, ефективність і затримку, які визначені в SLA.

Багато дослідницьких публікацій, у тому числі деякі цитовані раніше, досліджували загальні прибутки від використання NFV або Neutral Host. Це дослідження розширює попередні висновки шляхом вивчення впливу комбінації NFV і NH на окремі елементи капітальних і експлуатаційних витрат. Ця розбивка поглиблює розуміння NFV і NH та їх наслідків для компонентів Carex і Orx.

Модель вартості.

Обчислення мережі на основі фрагментів враховували нарізку кінцевої мережі від RAN до транспорту та Базові мережі. У різних сегментах мережі зріз може позначати різні інтерпретації. У розділі RAN частоти підканалів можна класифікувати як зрізи, тоді як функції віртуальної мережі (VNF) і мережеві функції відображаються як зрізи в базовій мережі, а специфікації пропускну здатності визначаються як зрізи в транспортній частині мережі. На основі заданого SLA можна створити VNF, щоб відповідати вимогам набору показників ефективності, виражених у вигляді:

$$K = [K_1, K_2, K_3, K_4 \dots K_m] \quad (3.1)$$

Після цього ємність мережевих ресурсів, таких як спектр, пропускну здатність, потужність, час або інші обчислювальні ресурси, може бути спроектована з VNF V і розміру сегмента S, який є розміром клієнтських програм, які працюють у кожному сегменті. Де n – кількість типів ресурсів, необхідний обсяг у векторі виражається як:



$$\mathbf{r} = [r_1, r_2, r_3, r_4 \dots r_n] \quad (3.2)$$

Вартість кожного ресурсу можна виразити як:

$$\text{Cost} = \text{Cost}(r), \text{ for } \mathbf{r} = r(k, S, V) \quad (3.3)$$

Потім вартість кожного типу ресурсу призначається необхідному зрізу. Вартість сегментів RAN і Transport оцінюється порівняно з вартістю пропускної здатності, прогнозованої на дві частини мережі. Вартість зрізу виходить наступним чином:

$$C_{\text{slice}} = C_{\text{Thp}} + \sum_{i=1}^k C_{\text{VNF}(i)} + \sum_{j=1}^l C_{\text{phNF}(j)} \quad (3.4)$$

Де  $C_{\text{slice}}$  позначає вартість зрізу,  $C_{\text{Thp}}$  представляє вартість пропускної здатності зрізу,  $C_{\text{VNF}(i)}$  – вартість VNF,  $C_{\text{phNF}(j)}$  – вартість функцій фізичної мережі,  $k$  – кількість VNF в зрізі, а  $l$  це кількість фізичних мережевих функцій у зрізі.

Модель вартості для Capex, Opex та Tco

Після інтегрованої моделі витрат 5G NPN на наступному етапі виконуються розрахунки капітальних витрат, операційних витрат і загальної вартості володіння.

$$\begin{aligned} TCO_{5GNPN} &= \sum_{i=1}^{N_c} Capex_{5GNPN(i)} \\ &+ \left( \sum_{i=1}^{N_o} Opex_{5GNPN(i)} \right) N_{yrs} \end{aligned} \quad (3.5)$$

Де:  $TCO_{5GNPN}$  позначає загальну вартість розгортання 5G NPN,  $Capex_{5GNPN(i)}$  – суму капітальних витрат,  $Opex_{5GNPN(i)}$  – суму операційних витрат плюс інфляція,  $N_c$  – кількість кабінетів,  $N_o$  – кількість офісів. і  $N_{yrs}$  позначає кількість років, які використовуються для розрахунку операційних витрат.

Капітальні витрати представляють капітальні витрати. Це одноразові витрати на придбання або модернізацію основних засобів. Розрахунки виходять із

підсумовування всіх елементів витрат на капітальні витрати – обладнання, інфраструктура, вартість встановлення та плата за ліцензію.

$$\begin{aligned}
 Capex = & \sum_{i=1}^{N_{Eq}} Cost_{Eq(i)} + \sum_{i=1}^{N_{Infra}} Cost_{Infra(i)} \\
 & + \sum_{i=1}^{N_{Insta}} Cost_{Insta(i)} + \sum_{i=1}^{N_L} Cost_{Lfee(i)}
 \end{aligned} \tag{3.6}$$

Де  $C_{ostEq}$ ,  $C_{ostInfra}$ ,  $C_{ostInsta}$  та  $C_{ostLfee}$  позначає вартість обладнання, інфраструктури, встановлення та плату за ліцензію на Spectrum відповідно. Підсумовування йде від  $i = 1$  до кількості ( $N$ ) відповідних компонентів капітальних витрат. Операційні витрати характеризують операційні витрати. Це стосується всіх поточних елементів витрат, необхідних для підтримки роботи послуги. Ключовими компонентами операційних витрат є споживання енергії, технічне обслуговування та управління несправностями або витрати на ремонт, як описано в.

$$\begin{aligned}
 Opex = & 365 \left[ \sum_{i=1}^N (24P_h \cdot C_E) \cdot N_{C(i)} \right] + \\
 & \sum_{i=1}^{N_m} C_M \cdot C_{F(i)} + \sum_{i=1}^{S_n} C_{slice(i)}
 \end{aligned} \tag{3.7}$$

Де  $P_h$ ,  $C_E$ ,  $N_C$ ,  $C_M$ ,  $S_n$  і  $C_F$  означають електроенергію, необхідну за годину, вартість енергії за кВт/год, кількість шаф у центральному офісі, стільникових станціях або на вулиці, витрати на технічне обслуговування, кількість зрізів та управління несправностями відповідно.

Вартість споживання енергії за один рік розраховано за формулою.

$$Cost_{En} = 365 \left( \sum_{i=1}^N 24P_h \cdot C_E \cdot N_{C(i)} \right) \tag{3.8}$$

Детальні формулювання для інших елементів витрат, таких як обладнання, інфраструктура, технічне обслуговування та усунення несправностей, наведені у таблиці 3.2, яка пропонує оцінені витрати, використані для розрахунків.

Табл.3.2

### Параметри витрат

Components / Parameters	Price (Euros)
OLT core shell	5000
OLT cross connect	8000
OLT service shell	5000
ONT	150
Technician salary (hour)	52
Small / large microwave antenna	200 / 2000
Power splitter (1:16 / 1:32)	170 / 340
Fiber (km)	80
Trenching (km)	45000
Microwave link	400
Yearly cell site rent	8000
Microwave hub	800
Electricity cost	0.2 per kWh
Energy consumption per hour	1.4 kW

Ми розглядаємо концепцію нейтрального хоста та технологія NFV для визначення капітальних витрат, операційних витрат і загальної вартості володіння. Результати цих розрахунків порівнювали з результатами мережі 5G Legacy з подібними розмірами. Розрахунок TCO для мережі 5G Legacy виконується для розгортання без нейтрального хоста та NFV. У контрактах технологія NFV була розгорнута в усіх сценаріях 5G NPN, але нейтральний хост розглядався лише у випадках PNI-NPN, а не в розрахунках SNPН.

Рис. 3.4 показано будівельний блок для моделі витрат. Він інтегрує динамічну модель витрат для розрізнених мереж у сценарій використання на основі нейтрального хоста на додаток до традиційного розрахунку TCO.

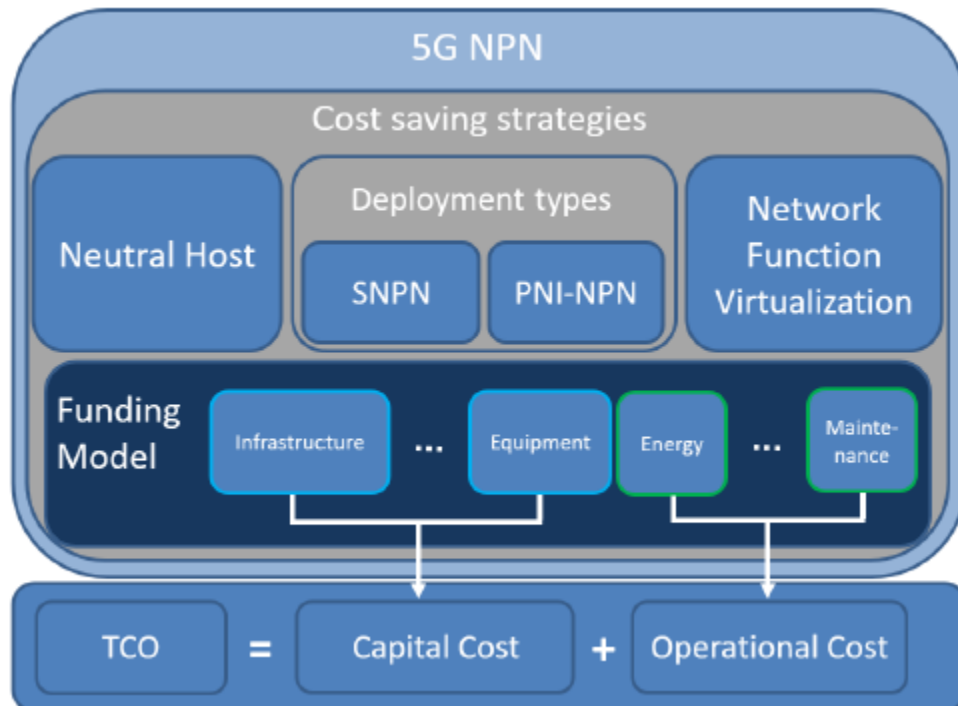


Рис. 3.3. Інтегрований будівельний блок моделі 5G NPN Cost

Аналіз чутливості представлено, щоб зрозуміти, як варіації ключових параметрів моделі можуть вплинути на результат розгортання мережі. Він показує реакцію моделей на коливання ваг вхідних параметрів.

Після аналізу визначено та ранжовано найбільш важливі параметри для моделі розгортання 5G NPN. Оскільки існують різні конкуруючі бізнес-інтереси та цілі, єдина мета в цьому випадку нереальна. Багатоцільовий аналіз допомагає визначати рівні пріоритетів для бізнес-інтересів, наприклад, самого підприємства, мобільних операторів і навіть сторонніх зацікавлених сторін. Оцінка розглядала три цілі, які впливають із вхідних параметрів, які можна оптимізувати для економічно ефективного розгортання 5G NPN.

Розрахунки для рецептури вирішували за допомогою програмного забезпечення IBM ILOG CPLEX v.11.0.

#### 1) Розгортання 5G NPN: визначення проблеми

Мета полягає в тому, щоб знайти оптимальне рішення, яке реалізує найбільш захищений 5G NPN, з найменшими витратами на розгортання та найбільшою економією енергії. Ці параметри формують ключові вимоги до розгортання для користувачів 5G NPN.

Наступні параметри визначаються як цілі:

- Тип розгортання
- Модель фінансування і
- Стратегія економії коштів

У рамках багатоцільової системи вони приймають відповідні цільові значення  $d(x)$ ,  $f(x)$  та  $e(x)$ . Цілі реалізуються відповідно до призначених показників ефективності, які утворюють набір попередньо визначених обмежень. Три варіанти розгортання — SNPN, NPN Shared RAN і NPN Shared RAN + Control Plane — складають змінні першої цілі. Рівні пріоритету встановлені на високий, середній і низький. Ми проаналізували компроміс між цілями  $d(x)$ ,  $f(x)$  і  $e(x)$ , розширивши багатоцільові моделі оптимізації, як змішане цілочисельне лінійне програмування (MILP), за допомогою IBM ILOG.

2) Математична формулювання для цілей розгортання 5G NPN Використовуючи підхід зваженої суми, ми присвоїли вагу кожній меті, як це було узагальнено в рівнянні:

$$f_{sum}(\cdot) = \sum_{n=1}^N a_n g_n(x) \quad (3.9)$$

де  $a_1, \dots, a_N$  – ваги в додатних значеннях, які вказують на пріоритети, призначені кожній меті. Сума всіх ваг дорівнює одиниці. Цільове значення представлено в рівнянні як  $g(x)$ .

Перша мета  $k_1(x)$  спрямована на максимізацію безпеки мережі в рамках різних варіантів розгортання. Друга ціль  $k_2(x)$  намагається мінімізувати фінансові витрати на

основі моделі фінансування, а третя ціль  $k_3(x)$  максимізує енергозбереження на основі застосованих стратегій економії.

Ці цілі формулюються так:

$$\begin{aligned} k_1(x) &= \sum_{n=1}^N a_n d_n(x) \\ k_2(x) &= \sum_{n=1}^N a_n f_n(x) \end{aligned} \quad (3.10)$$

і

$$k_3(x) = \sum_{n=1}^N a_n e_n(x) \quad (3.11)$$

На основі моделі 1-ша, 2-ша та 3-тя цільові функції позначаються  $k_1$ ,  $k_2$  та  $k_3$ . Вони перенормуються після призначення ваг через результуючі варіації їх масштабу. Масштабні коефіцієнти  $\Delta_1$ ,  $\Delta_2$  та  $\Delta_3$  для відповідних цільових функцій можна виразити наступним чином:

$$\Delta_i = \frac{\max_{j=1,2,3} Range_j}{Range_i} \quad (3.12)$$

Щоб встановити оптимальний діапазон відповідної цільової функції, кожне цільове формулювання в рівняннях обчислюється, а рішення представлені як  $s_1$ ,  $s_2$  і  $s_3$ . Тоді їх оптимальний діапазон можна розрахувати як:

$$Range = \max_{j=1,2,3} k_i(s_j) - \min_{j=1,2,3} k_i(s_j) \quad (3.13)$$

де  $i = 1, 2, 3$

Відповідні  $k_1$ ,  $k_2$  і  $k_3$  множаться на приписані їм ваги де

$$\delta_1, \delta_2, \delta_3 \geq 0$$

і

$$\begin{aligned} \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 &= 1.0 \\ \max \left\{ \begin{array}{l} +\delta_1 \Delta_1 k_1(x) \\ -\delta_2 \Delta_2 k_2(x) \\ +\delta_3 \Delta_3 k_3(x) \end{array} \right. & \end{aligned} \quad (3.14)$$

Обмеження визначаються обмеженнями, накладеними стратегіями економії витрат. Цей підхід не відповідає традиційній оптимізації, яка розглядає одну з цілей як виключну, а інші стають обмеженнями. Замість цього була прийнята концепція, яка визнає реальність кількох і конкуруючих цілей.

Тип розгортання, модель фінансування та економія коштів становлять ключові параметри моделі та разом формують будівельні блоки моделі. Тип розгортання визначається будь-яким із розглянутих варіантів розгортання – SNPN, спільна RAN NPN і спільна RAN NPN + контрольна площа.

Модель фінансування визначає відсоток спільного використання інфраструктури, коли вона застосована, тоді як параметр економії коштів виходить із 40% скорочення енергії, пов'язаного з впровадженням NFV.

Модель прогнозу вихідності 5G NPN

У той час як аналіз архітектури 5G NPN і її розгортання допомагає підприємствам зробити кращий вибір розгортання, оцінка додатково посилюється наданням прогнозу глобального проникнення. Графік впровадження забезпечує основу та підтверджує, що підприємства можуть приймати обґрунтовані бізнес-рішення щодо впровадження 5G NPN.

Щоб досягти цього, у дослідженні використовувалася модель дифузії низьких частот для прогнозування проникнення 5G NPN на десятирічний період у семи країнах. Країни є незначними представниками різноманітних бездротових ринків у всьому світі.

Концепція дифузії намагається описати, як, чому та з якою швидкістю поширюються нові технології. У поточній літературі про NPN відсутні обговорення глобальних тенденцій поширення 5G NPN. Це дослідження усуває цю прогалину, моделюючи перспективи поширення 5G NPN у різних частинах світу. Це допоможе запуснути дослідницькі розмови навколо цієї теми. Це також розширить перспективи того, як глобальні тенденції проникнення пов'язані з економічними міркуваннями та стратегіями розгортання галузевих вертикалей.

#### 1) Пояснення моделі дифузії низьких частот

Це моделює впровадження нових продуктів або технологій даною популяцією  $m$ . Він дотримується моделі бінарної дифузії, яка була класифікована на два типи адоптерів:

- Новатори  $p$  – ті, хто має тенденцію до найпершого впровадження;
- Імітатори  $q$  – ті, хто має тенденцію спостерігати за новим продуктом перед тим, як прийняти його.

Рівняння моделі Басса можна виразити так:

$$y(t) = m(1 - e^{-(p+q)t}) / (1 + (q/p)e^{-(p+q)t}) \quad (3.15)$$

$y(t)$ : рівень проникнення (прийняття) в момент часу  $t$ ,  $m$ : кумулятивний ринковий потенціал за весь життєвий цикл продукту,  $p$ : коефіцієнт інновацій, що характеризується зовнішнім впливом, і  $q$ : коефіцієнт імітації, що характеризується внутрішнім впливом.

Успішні продукти слідують тенденції щодо значень параметрів  $p$  і  $q$ , які взаємозалежні. Внутрішній вплив перевищує зовнішній, як показано нижче:



$$q > p; \text{---} > t > 0 \quad (3.16)$$

Модель Басса призначена для надання прогнозних пояснень питанням про те, як і якою швидкістю впроваджуються нові технології.

Модель Басса була застосована для прогнозування темпів впровадження 5G NPN у семи вибраних країнах. Рівень економічного, демографічного та технологічного розвитку країн є репрезентативним для різних регіонів світу.

## 2) Розрахунок рівня впровадження для 5G NPN

5G NPN тут розглядається як новий технологічний продукт.

Ринкові сегменти різних країн, які, швидше за все, приймуть NPN першими, є новаторами  $p$ , тоді як імітатори  $q$  будуть пізніми впровадженнями.

Швидкість впровадження бездротових технологій була використана в розрахунку моделі Басса для визначення коефіцієнтів  $p$  і  $q$  для вибраних країн.

Значення  $m$  було прийнято як розмір ринку бездротового зв'язку у відповідних країнах. Вибрані країни представляють значні ринки бездротового зв'язку, чії окремі параметри  $p$  і  $q$  вважаються відображенням країн із подібною економічною класифікацією в тому самому регіоні. Згідно зі звітом Організації Об'єднаних Націй про світову економічну ситуацію та перспективи (WESP) за 2020 рік, цей вибір стосується національних економік на різних етапах розвитку. Те, як економічна класифікація та розмір ринку впливають на рівень впровадження, є корисним для порівняльного аналізу для прогнозування глобальних 5G NPN. швидкість проникнення.

Таблиця 3.3 показує значення параметрів  $p$  і  $q$  для вибраних країн. Бразилія та Південна Африка мають ідентичні цінності.

Значення їх параметра вказують на високу уникнення невизначеності та пізні впровадження бездротового зв'язку. Австралія, Сполучене Королівство та Сполучені Штати мають спільні значення параметрів, які показують раннє впровадження.

Цінності Швеції відображають перших користувачів, у той час як Китай демонструє впровадження попереду тих, хто в подібній економічній класифікації.

Таб.3.3.

Коефіцієнти інноваційності та наслідування для окремих країн

Country	*Classification	<i>p</i>	<i>q</i>
Australia	Developed	0.00072	0.64
Brazil	Developing	0.00097	0.77
China	Developing	0.00060	0.53
South Africa	Developing	0.00097	0.77
Sweden	Developed	0.00018	0.45
United Kingdom	Developed	0.00072	0.64
United States	Developed	0.00072	0.64

Результати моделі витрат

Було проаналізовано результати чотирьох сценаріїв розгортання, щоб визначити їх життєздатність щодо вимог підприємства.

Отже, з'явилося краще розуміння різних параметрів розгортання. Результати порівнюють різні види витрат у компонентах капітальних і експлуатаційних витрат. Розбивка двох компонентів визначає елементи витрат з найбільшим ефектом зниження витрат від стратегій економії витрат моделі. Різні витрати представлені в трьох формах. Це вихідна вартість у грошовій одиниці – євро, коефіцієнт масштабування та відсоток.

1) Результати розрахунку капітальних витрат

Інфраструктура залишається домінуючим елементом капіталовкладень у всіх сценаріях розгортання, як показано на рис.3.4.

Результат свідчить про більшу економію коштів на інших елементах капітальних витрат (обладнання та інсталяція) при впровадженні нейтрального хоста та NFV. Розбивка результатів показує, що найбільше заощаджує кошти обладнання — до 68% для спільної RAN NPN + контрольної площини та 33% для спільної RAN NPN.

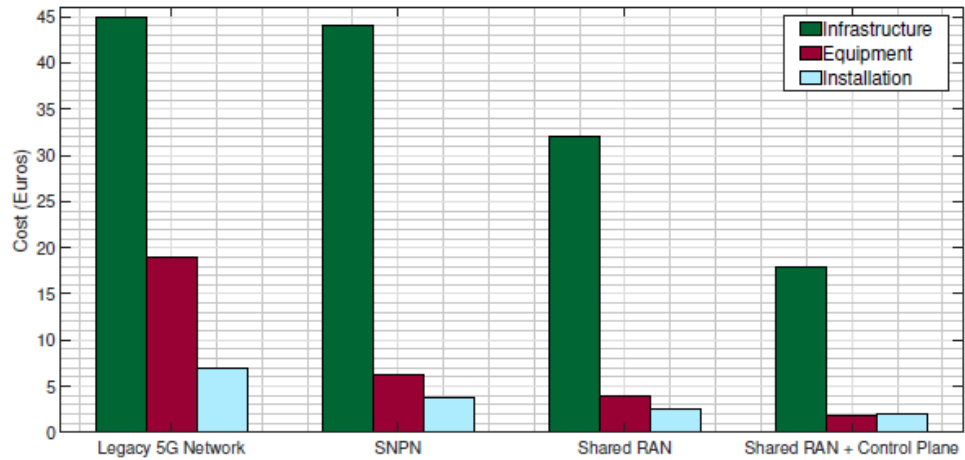


Рис.3.4. Розрахунок розподілу капітальних витрат.

Далі в такому порядку йдуть елементи витрат на встановлення та інфраструктуру. Однак зниження витрат масштабується коефіцієнт (ступінь зменшення) змінюється для типів розгортання та елементів капітальних витрат, як показано на рис. 3.5.

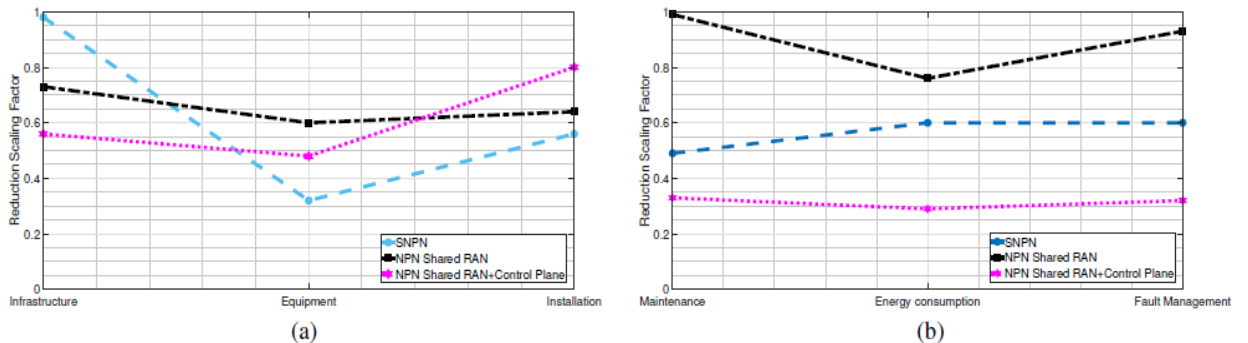


Рис. 3.5. Коефіцієнт масштабування зменшення капітальних витрат. (b)

Коефіцієнт масштабування зменшення операційних витрат.

Найбільш зменшений коефіцієнт масштабування для інфраструктури в NPN Shared RAN + Control Plane. Це означає, що найбільше зниження витрат на інфраструктуру буде відбуватися в NPN Shared RAN + Control Plane, а найменше – у SNPN. І навпаки, найменше зниження вартості встановлення відбувається на NPN

Shared RAN + Control Plane, тоді як найвище зниження вартості встановлення відбувається на SNPN. У всіх сценаріях Обладнання має найкращий масштабний коефіцієнт зменшення – 0,32 проти 0,56 для Інфраструктури та Інсталяції відповідно. Це демонструє потенціал зниження вартості різних елементів капітальних витрат порівняно з типами розгортання. Повчально, що SNPN має найкращий масштабний коефіцієнт зменшення для обладнання та встановлення. Це пояснюється тим, що SNPN порівнювали з мережею Legacy 5G, яка є базовою для порівняння. Це розуміння важливо для мережевих операторів підприємств, яким необхідно визначити елементи витрат, які мають потенціал для найбільшої економії, і зрозуміти, як відбувається зниження витрат завдяки глибшій інтеграції мережі.

## 2) Результати розрахунку операційних витрат

Використовуючи масштабний коефіцієнт зменшення, на рис.3.5.б показано, що найкращі варіанти зниження витрат – це споживання енергії та розгортання спільної RAN + контрольної площини NPN. Розрахунок оперативних витрат показує, що споживання енергії має найбільше заощаджень за елементами оперативних витрат, як показано на рис.3.6.

Результати показують зниження витрат до 22% для спільної RAN NPN і 77% для спільної RAN NPN + площина керування. Висновки щодо енергозбереження значною мірою збігаються з попередніми роботами щодо розрахунків операційних витрат мереж 5G у випадках, коли враховувався NFV. Таким чином, використання NFV забезпечує це підтвердження в економії споживання енергії. Однією вражаючою особливістю результату є значне зниження витрат на всі елементи Opex у NPN Shared RAN + Control

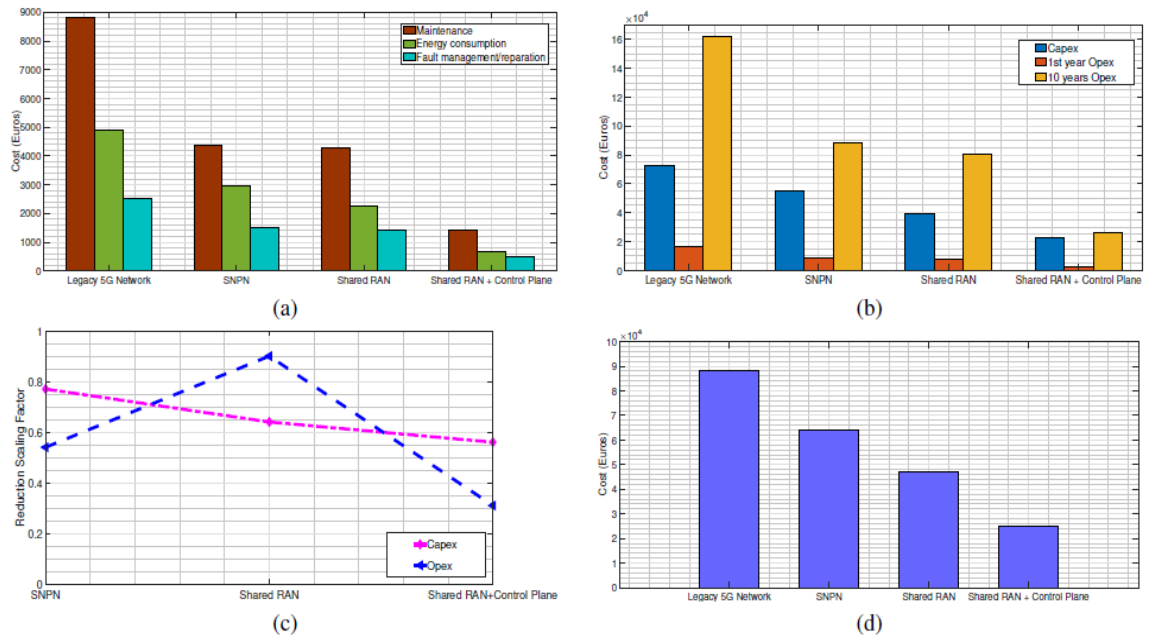


Рис.3.6. (a) Розрахунки розбивки операційних витрат. (b) Порівняння капітальних і експлуатаційних витрат. (c) Коефіцієнти масштабування зменшення TCO для капітальних і експлуатаційних витрат і для всіх типів розгортання NPN. (d) Загальна вартість володіння 5G NPN.

### 3) Порівняння капітальних і експлуатаційних витрат

На рис.3.6 (b) представлено порівняння капітальних і експлуатаційних витрат. Він пропонує розбивку того, як спільне використання або оренда інфраструктури через нейтральний хост впливає на окремі витрати на капітальні та експлуатаційні витрати в різних розгортаннях. Нейтральний хост починає з того, що заощаджує більше капітальних витрат, ніж операційних. Ця економія, отримана від капітальних і експлуатаційних витрат, пропонує значні стимули для потенційних нових клієнтів прийняти 5G NPN, щоб віддати перевагу застарілій мережі 5G.

Як правило, коефіцієнти масштабування зниження витрат мають тенденцію до зменшення зі збільшенням інтеграції мережі. Це зображено на рис.3.6 (c). Однак у довгостроковій перспективі економія операційних витрат стає помітною, коли приватна мережа дозволяє глибше інтегруватись із загальнодоступною мережею. Винятком є експлуатаційні витрати спільної RAN NPN. Підвищення масштабного

коефіцієнта зменшення для спільної RAN NPN пояснюється граничною різницею вартості між розгортанням SNPN і спільної RAN NPN.

#### 4) Результати розрахунку TCO

Результати загальної вартості володіння підтверджують більшу економію коштів завдяки впровадженню NFV та NH. На рис.3.7 (d) підтверджено переваги стратегій економії NFV і NH для розгортання 5G NPN. TCO для окремих сценаріїв зменшується зі збільшенням інтеграції мережі.

На рис. 3.8 показано відсоткове зниження загальної вартості володіння за трьома досліджуваними сценаріями розгортання NPN. Це показує, що NPN Shared RAN + Control Plane забезпечує найбільше зниження витрат на 53% після розгортання.

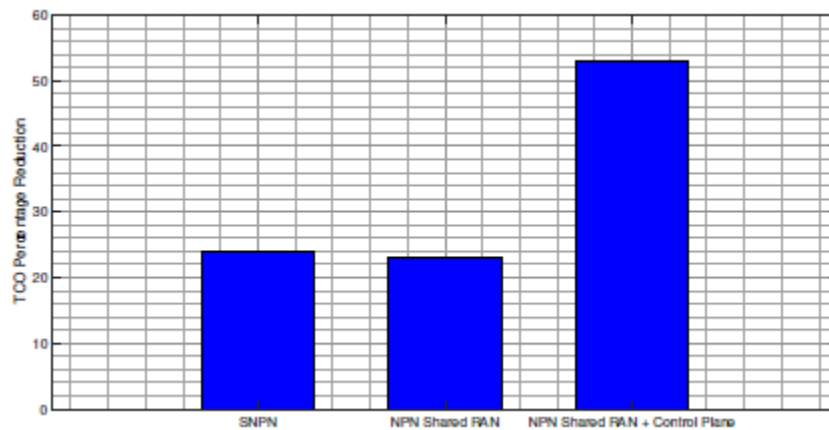


Рис.3. 8. Відсоткове зниження загальної вартості володіння для різних типів розгортання NPN

## ВИСНОВКИ

Приватні мережі 5G мають потенціал для трансформації сектору логістики та транспортних перевезень. Завдяки розгортанню приватної 5G організації можуть залишатися конкурентоспроможними на ринку, що постійно розвивається, і забезпечувати вищий рівень задоволеності клієнтів.

В кваліфікаційній роботі мною проаналізовано базові дослідження приватних мереж 5G, а саме розглянуто концепцію та архітектуру приватних мереж 5G, а також виділено переваги впровадження даних мереж саме для логістики та організації транспортних перевезень. Детально виконано опис різних варіантів побудови приватної мережі 5G, та зроблено аналіз доцільності вибора кожного з варіантів в залежності від специфіки діяльності.

Визначено основні проблеми, з якими стикаються сучасні логістичні системи та проведено аналітичне порівняння можливостей рішення даних проблем, за рахунок розгортання приватних мереж 5G.

Проведено техніко-економічний аналіз розгортання різних архітектур приватних 5G мереж за рядом параметрів.

Також, в практичній частині розглянуто принцип організації транспортних перевезень з використанням мереж 5G для координації їх руху та дистанційного управління пересуванням колони автотранспорту. Визначено можливості, які надає використання технології 5G при транспортних перевезеннях, а саме, організація автономного руху транспорту, визначення перешкод, дистанційне управління транспортним засобом.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Sarkar, S.; Chatterjee, S.; Misra, S. Assessment of the Suitability of Fog Computing in the Context of Internet of Things. *IEEE Trans. Cloud Comput.* 2015, 6, 46–59.
2. Lin, J.; Yu, W.; Yang, X.; Zhao, P.; Zhang, H.; Zhao, W. An edge computing based public vehicle system for smart transportation. *IEEE Trans. Veh. Technol.* 2020, 69, 12635–12651
3. Arthurs, P.; Gillam, L.; Krause, P.; Wang, N.; Halder, K.; Mouzakitis, A. A taxonomy and survey of edge cloud computing for intelligent transportation systems and connected vehicles. *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.* 2021, 23, 6206–6221
4. Gohar, A.; Nencioni, G. The role of 5G technologies in a smart city: The case for intelligent transportation system. *Sustainability* 2021, 13, 5188
5. Aamir, M.; Masroor, S.; Ali, Z.A.; Ting, B.T. Sustainable framework for smart transportation system: A case study of karachi. *Wirel. Pers. Commun.* 2019, 106, 27–40
6. Ondrusova, S. (2019). The 5G guide: A reference for operators GSMA. Retrieved April 12, 2021,
7. Lee, P., Casey, M. & Wigginton, C. (2020). Private 5G networks: Enterprise untethered. Deloitte insights. Retrieved December 10, 2020
8. Harrison J. Son (2019). 7 Deployment scenarios of private 5G networks. *Network Manias*. Retrieved December 26, 2020.
9. Larmo, A., Butovitsch, P. V., Millos, P. C. & Berg, P. (2019). Whitepaper on critical capabilities for private 5G networks. Ericsson. Retrieved December 26, 2020
10. Casetti, C. (2021). 5G consolidates deployment by targeting new bands [mobile radio]. *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 16(4), 6–11.
11. An, X. (2020). 5G Industry campus network deployment guideline version 1.0.GSMA. Retrieved August 17, 2020.
12. Global update on spectrum for 4G & 5G. (2020). Qualcomm Inc. Retrieved March 29, 2021.



13. White paper on 5G spectrum. (2020). Huawei. Retrieved January 5, 2021
14. 5G Alliance for Connected Industries and Automation, “5G non-public networks for industrial scenarios, white paper,” Jul. 2019.
15. A. Rostami, “Private 5G networks for vertical industries: Deployment and operation models,” in Proc. 2019 IEEE 2nd 5G World Forum (5GWF), Dresden, Germany, Sep. 2019, pp. 433–439.
16. Kabir, M.H.; Hoque, M.R.; Seo, H.; Yang, S.-H. Machine learning based adaptive context-aware system for smart home environment. *Int. J. Smart Home* 2015, 9, 55–62.
17. Lee, S.; Choi, D.-H. Reinforcement learning-based energy management of smart home with rooftop solar photovoltaic system, energy storage system, and home appliances. *Sensors* 2019, 19, 3937.
18. Li, T.; Hong, Z.; Yu, L. Machine learning-based intrusion detection for iot devices in smart home. In Proceedings of the 2020 IEEE 16th International Conference on Control & Automation (ICCA), Sapporo, Japan, 9–11 October 2020; pp. 277–282.
19. Kasaraneni, P.P.; Venkata Pavan Kumar, Y.; Moganti, G.L.K.; Kannan, R. Machine Learning-Based Ensemble Classifiers for Anomaly Handling in Smart Home Energy Consumption Data. *Sensors* 2022, 22, 9323.
20. Popa, D.; Pop, F.; Serbanescu, C.; Castiglione, A. Deep learning model for home automation and energy reduction in a smart home environment platform. *Neural Comput. Appl.* 2019, 31, 1317–1337.
21. Dey, N.; Fong, S.; Song, W.; Cho, K. Forecasting energy consumption from smart home sensor network by deep learning. In Proceedings of the Smart Trends in Information Technology and Computer Communications: Second International Conference, SmartCom 2017, Pune, India, 18–19 August 2017; Revised Selected Papers 2. pp. 255–265.

## **ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ (Презентація)**

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ  
ПРИВАТНИХ 5G МЕРЕЖ В ТРАНСПОРТНИХ  
ПЕРЕВЕЗЕННЯХ ТА ЛОГІСТИЦІ

Студент:  
Олександр ДЕМІДЮК  
Керівник:  
К.т.н., доцент Ольга ПОЛОНЕВИЧ

Київ 2023

МЕТА РОБОТИ

2

**Мета роботи** – підвищення ефективності організації транспортних перевезень та логістики за рахунок використання приватних 5G мереж.

**Об'єкт дослідження** – транспортні перевезення та логістика.

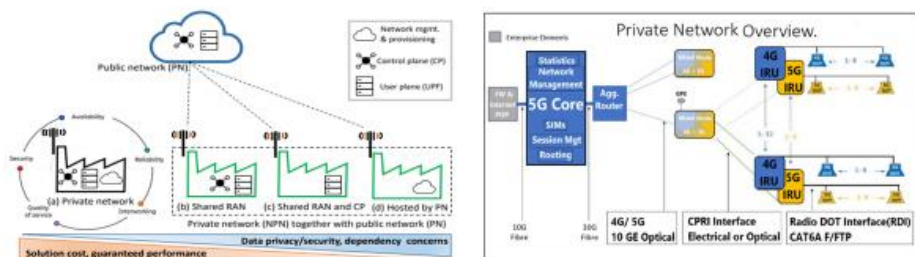
**Завдання:**

- дослідження особливостей побудови приватних 5G мереж;
- аналіз переваг розгортання приватних 5G мереж для логістичних операцій;
- аналіз ефективності розгортання приватних 5G мереж;
- реалізація транспортних перевезень при використанні мереж 5G для зв'язку між транспортними засобами.

СТРУКТУРА ПРИВАТНОЇ МЕРЕЖІ 5G

3

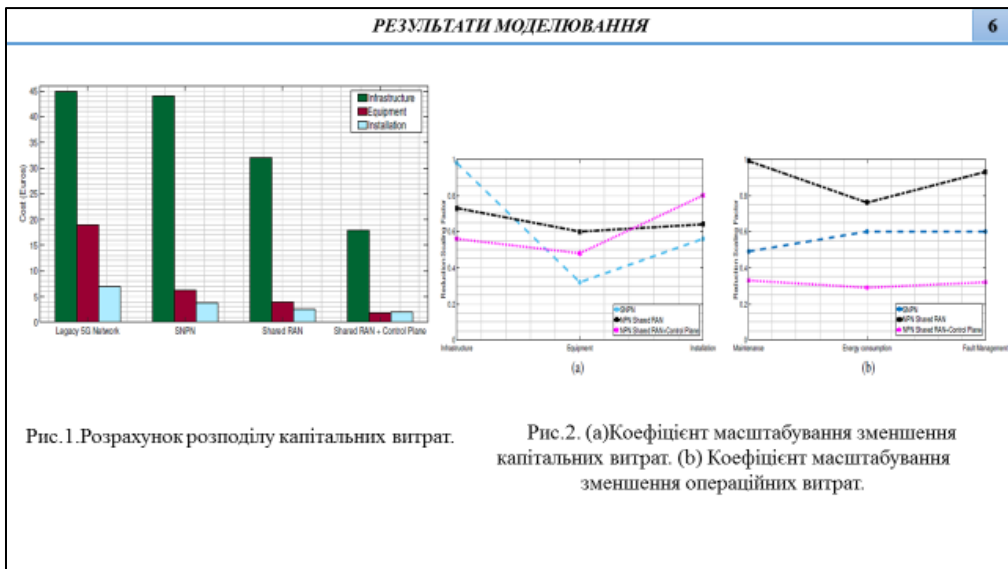
Private 5G — це технологія бездротової мережі наступного покоління, яка забезпечує безпечне та надійне високошвидкісне підключення для важливих логістичних операцій. Він обіцяє революціонізувати логістичні операції, забезпечивши відстеження та моніторинг у реальному часі, покращивши безпеку та зменшивши витрати.





### ПРОБЛЕМИ ЛОГІСТИКИ ТА МОЖЛИВОСТІ ЇХ РІШЕННЯ

ПРОБЛЕМА	МОЖЛИВОСТІ, ЯКІ НАДАЄ ПРИВАТНА МЕРЕЖА 5G
Необхідність переходу до цифрових систем в управлінні складами	Запровадження системи управління складом на базі 5G, яка забезпечить постійне підключення для відстеження в режимі реального часу.
Неефективна система управління запасами.	Інтеграція передових інструментів, таких як сканери штрих-кодів 5G, у процес інвентаризації. Це забезпечить швидку реєстрацію та точне відстеження кожного продукту, усуваючи припущення
Трудні проблеми в інтра-логістиці	Впровадження автономних мобільних роботів та автоматизованого керування транспортними засобами на базі приватної 5G є ключовим рішенням. Роботи будуть виконувати завдання збору і поповнення запасів, зменшуючи залежність від ручної праці та зменшуючи витрати на робочу силу. Це підвищує ефективність роботи, зменшує людські помилки та підвищує продуктивність.
Операційна масштабованість при зростаючій онлайн-покупці	Розгортання інтегрованої системи керування на базі 5G, спеціально розроблену для 3PL, щоб покращити зв'язок у реальному часі та передачу даних у логістичному центрі. Використання надійного підключення 5G забезпечує миттєве оновлення рівня запасів і статусів замовлень. При обробці повернень і відшкодувань ця система з підтримкою 5G прискорює процес, негайно відображаючи повернуті товари в інвентарі та полегшуючи процеси відновлення та поповнення запасів.
Звіт про інвентаризацію та роботу в режимі реального часу/даних клієнтів електронної комерції	Зчитувачі штрих-кодів найвищої надійності при підключенні до приватної мережі 5G, вони не відключаються, працівник може пересуватися по підприємству зберігаючи зв'язок незважаючи на велику кількість одночасних підключень. Завдяки цьому операції комплектування та інвентаризації ведуться в режимі реального часу, а помилки зводяться до мінімуму.
Задоволення очікувань багатьох клієнтів	Впровадження виділеної приватної мережі 5G у логістичному центрі разом із пристроями та датчиками, що підтримують 5G, вирішить дану проблему. Це забезпечує керування запасами в реальному часі, негайну обробку замовлень і миттєве оновлення статусів зберігання та відправлення. На основі цих надійних даних у реальному часі логістичні операції можуть запускати прогнози аналітики для оптимізації робочих процесів, ефективного управління ресурсами та передбачення вузьких місць.
Управління якістю: забезпечення досконалості внутрішньої логістики	Впровадження комплексної системи управління якістю (QMS) із підтримкою 5G у логістичній інфраструктурі.



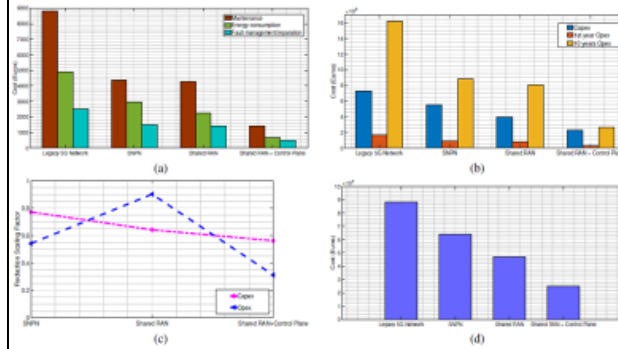
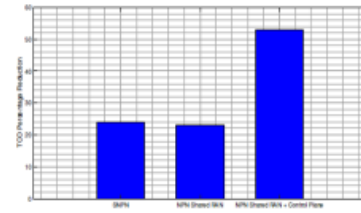


Рис.1.

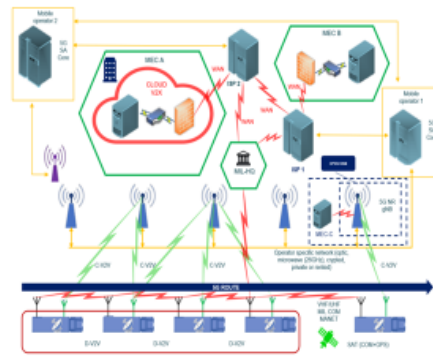
- (a) Розрахунки розбивки операційних витрат.  
 (b) Порівняння капітальних і експлуатаційних витрат.  
 (c) Коефіцієнти масштабування зменшення TCO для капітальних і експлуатаційних витрат і для всіх типів розгортання NPN.  
 (d) Загальна вартість володіння 5G NPN.

Рис.2. Відсоткове зниження загальної вартості володіння для різних типів розгортання NPN



## ЗАГАЛЬНА СХЕМА ОРГАНІЗАЦІЇ РУХУ ТРАНСПОРТУ

8



## Взвод транспортних засобів

- Є головна машина, інші рухаються за нею взводом. Це забезпечує підвищення паливної ефективності, швидкості логістики, безпеки та плавності руху.

## Допомога при обмеженій видимості

- На кожній машині будуть встановлені датчики, які фіксують показники простору навколо, що дасть змогу всім машинам взводу отримувати максимально реалістичне уявлення про ситуацію на дорозі. Також, така організація допоможе моніторити загрози на дорозі.

## Кооперативна автоматизована (бокова) стоянка

- Транспортні засоби будуть сповіщати інші авто про маневри паркування на узбіччі. Це забезпечить маневреніший рух взводу.

## Телекероване водіння

- Є віддалений водій, який у разі надзвичайної ситуації приймає управління транспортним засобом.

## Напівавтоматичне або повністю автоматизоване водіння

- Кожен транспортний засіб і/або придорожній блок (RSU) ділиться власними даними сприйняття, отриманими від своїх локальних датчиків, з транспортними засобами поблизу, що дозволяє транспортним засобам синхронізувати та координувати свої траєкторії або маневри.

## ЗАГАЛЬНА СХЕМА ОРГАНІЗАЦІЇ РУХУ ТРАНСПОРТУ

8

Виконуючи поставлені завдання, у магістерській роботі, було:

- Проведено дослідження архітектур побудови приватних 5G мереж.
- Виділено основні проблеми логістичних операцій та запропоновано шляхи їх вирішення за рахунок розгортання приватних 5G мереж.
- Проведено економічний аналіз розгортання та експлуатації різних типів приватних 5G мереж за рядом параметрів.
- Представлено модель реалізації руху грузового транспорту з автоматизацією та дистанційним керуванням.

*Апробація результатів магістерської роботи.* Основні положення і результати магістерської роботи доповідались і обговорювались на I Всеукраїнській науково-технічній конференції «Технологічні горизонти: дослідження та застосування інформаційних технологій для технологічного прогресу України і світу» «Застосування приватних 5G мереж в транспортних перевезеннях та логістичі»