

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІНФОРМАЦІЙНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ

КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «ПОБУДОВА ЦИФРОВОЇ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ  
КЕРУВАННЯ, РЕГУЛЮВАННЯ ТА МОНІТОРИНГУ СКЛАДНИХ  
ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ БУДІВЛІ НА ОСНОВІ ІОТ»

на здобуття освітнього ступеня магістр

за спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія

*(код, найменування спеціальності)*

освітньо-професійної програми Комп'ютерні системи та мережі

*(назва)*

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

Вадим МИКОЛАЙЧУК

*(підпис)*

*(ім'я, ПРІЗВИЩЕ здобувача)*

Виконав: здобувач вищої освіти гр.КСДМ-61

Вадим МИКОЛАЙЧУК

*(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

Керівник:

*к.т.н, доцент,*

В'ячеслав ЧЕРЕВИК

*(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

Рецензент:

*(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

Київ 2023

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**Навчально-науковий інститут інформаційних технологій**

Кафедра Комп'ютерної інженерії

Ступінь вищої освіти «Магістр»

Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія

Освітньо-професійна програма Комп'ютерні системи та мережі

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри Комп'ютерної інженерії

Наталія ЛАЦЕВСЬКА

*(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

“      ”        2023 року

**З А В Д А Н Н Я  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Миколайчуку Вадиму Олександровичу

*(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)*

1. Тема кваліфікаційної роботи: Побудова цифрової інтелектуальної системи керування, регулювання та моніторингу складних технічних систем будівлі на основі IoT

керівник роботи В'ячеслав ЧЕРЕВИК к.т.н., доцент

*(ім'я, ПРІЗВИЩЕ, науковий ступінь, вчене звання)*

затверджені наказом Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій від “19” 10 2023 р. №145

2. Строк подання кваліфікаційної роботи 28.12.2023р.

3. Вихідні дані кваліфікаційної роботи:

3.1. Енергоменеджмент.

3.2. Інтелектуальні ситеми керування.

3.3. Інтернет речей.

3.4. Науково-технічна література по темі магістрської роботи

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

4.1. Аналіз системи енергоменеджменту розумних будівель.

4.2. Дослідження реалізації багаторівневої системи управління енергією в розумних будівлях.

4.3. Проектування та перевірка системи адаптивного освітлення в розумній будівлі.

5. Перелік ілюстраційного матеріалу: *презентація*

6. Дата видачі завдання “19” жовтня 2023р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Підбір технічної літератури	20.10.23р. 02.11.23р.	Виконано
2.	Дослідження системи енергозбереження розумних будівель	02.11.23р. 13.11.23р.	Виконано
3.	Реалізація багаторівневої системи управління енергією в розумних будівлях	13.11.23р. 25.11.23р.	Виконано
4.	Висновки по роботі	25.11.23р. 03.12.23р.	Виконано
5.	Оформлення роботи	03.12.23р. 10.12.23р.	Виконано
6.	Розробка демонстраційних матеріалів, доповіді.	10.12.23р. 17.12.23р.	Виконано

Здобувач вищої освіти \_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник кваліфікаційної роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

Вадим МИКОЛАЙЧУК  
(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

В'ячеслав ЧЕРЕВИК  
(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)





## РЕФЕРАТ

Текстова частина кваліфікаційної роботи на здобуття ступня магістр: 70 стор., 41 рис., 11 табл., 30 джерел.

*Мета роботи* - дослідження принципів реалізація інтелектуальної системи управління енергією та контролю розумної будівлі.

*Об'єкт дослідження* - процес управління електроенергією в розумних будівлях.

*Предмет дослідження* – системи енергозбереження розумних будівель.

*Короткий зміст роботи:* У першому розділі розглянуто інфраструктури та архітектури систем енергоменеджменту розумних будівель.

Представлена багаторівнева система управління розумною будівлею, заснована на датчиках і різних технологіях, спрямована на точне самоусвідомлення навколишнього середовища та внутрішнього стану будівлі.

Проведено аналіз особливостей інтеграції системи освітлення в архітектуру системи енергозбереження розумних будівель та наведено приклад реалізації досліджуваної багаторівневої архітектури з її технічними складовими.

У практичній частині досліджено особливості проектування, впровадження та перевірки системи адаптивного освітлення в п'ятиповерховій будівлі.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ, АРХІТЕКТУРА, ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТ, ІОТ, РОЗУМНИЙ БУДИНОК, SBEMS, СИСТЕМА ОСВІТЛЕННЯ, МОНІТОРИНГ, СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ, МОНІТОРИНГ.

## ABSTRACT

The text part of the qualification work for obtaining a master's degree: 70 pages, 41 figures, 11 tables, 30 sources.

The purpose of the work is to study the principles of implementing an intelligent system of energy management and control of a smart building.

The object of research is the process of power management in smart buildings.

The subject of research is energy saving systems of smart buildings.

Summary of the work: In the first chapter, infrastructures and architectures of energy management systems of smart buildings are considered.

A multi-level smart building management system based on sensors and various technologies is presented, aimed at accurate self-awareness of the environment and the internal state of the building.

An analysis of the features of the integration of the lighting system into the architecture of the energy saving system of smart buildings is carried out, and an example of the implementation of the studied multi-level architecture with its technical components is given.

In the practical part, the specifics of designing, implementing and checking the adaptive lighting system in a five-story building are investigated.

**KEY WORDS:** CONTROL SYSTEM, ARCHITECTURE, ENERGY MANAGEMENT, IOT, SMART HOUSE, SBEMS, LIGHTING SYSTEM, MONITORING, CONTROL SYSTEMS, MONITORING.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СИСТЕМИ ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ РОЗУМНИХ БУДІВЕЛЬ.....	12
1.1 Огляд систем енергоменеджменту розумних будівель.....	12
1.2 Аналіз архітектури систем енергозбереження будівель.....	17
1.3 Аналіз систем розумного освітлення.....	28
РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ РЕАЛІЗАЦІЇ БАГАТОРІВНЕВОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГІЄЮ В РОЗУМНИХ БУДІВЛЯХ.....	35
2.1 Багаторівневий архітектурний дизайну будівлі.....	35
2.2 Приклад реалізації досліджуваної багаторівневої архітектури.....	38
2.2.1 Реалізація фізичного рівня.....	39
2.2.2 Реалізація агентського рівня.....	42
2.2.3 Реалізація рівня контролю.....	42
2.2.4. Реалізація рівня нагляду.....	44
2.3 Засоби керування, регулювання та моніторингу складних технічних систем будівлі.....	46
РОЗДІЛ 3 ПРОЕКТУВАННЯ ТА ПЕРЕВІРКА СИСТЕМИ АДАПТИВНОГО ОСВІТЛЕННЯ В РОЗУМНІЙ БУДІВЛІ.....	54
3.1 Аналіз технології системи освітлення із застосуванням архітектури SBEMS.....	54
3.2 Методика проектування архітектури розміщення елементів Освітлення.....	56
3.3 Моделювання дизайну розміщення освітлювальних елементів.....	61
3.4 Перевірка отриманих результатів та їх оцінка.....	68
3.4.1 Перевірка симуляції.....	68
3.4.2 Результати та оцінка досліджуваної системи освітлення в будівлі.....	72
ВИСНОВКИ.....	77



ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	79
ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ (Презентація).....	82

## ВСТУП

*Актуальність теми.* В останні роки важливість енергозбереження зростає і стає однією з найпопулярніших тем у світі. На перший погляд, це лише додаткова тема для інженерів і дослідників. Однак поступово це стає загальною темою для всіх типів споживачів. З одного боку, попит на енергію з боку споживачів зростає, тому енергетичні компанії повинні постійно збільшувати свою продукцію, а з іншого боку, факт обмеженості ресурсів є незаперечним.

Ідея побудови систем енергоменеджменту для комерційних і житлових будівель отримала великий розвиток в останні десятиліття. З одного боку, дослідники та інженери творчо вдосконалюють архітектури та методи реалізації SBEMS роками, а з іншого боку, постійний технологічний прогрес породжує інноваційні ідеї та рішення.

Слід зазначити, що гнучкість у розробці програмного та апаратного забезпечення системи енергоменеджменту розумних будівель (SBEMS) також є цінною характеристикою. Здатність уникнути зайвих витрат енергії є привабливою, тому дослідники в цій галузі постійно шукають нові тенденції споживання енергії та сучасні способи проектування SBEMS.

*Мета роботи* – дослідження принципів реалізації інтелектуальної системи управління енергією та контролю розумної будівлі.

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

- аналіз системи енергоменеджменту розумних будівель;
- дослідження реалізації багаторівневої системи управління енергією в розумних будівлях;
- проектування та перевірка системи адаптивного освітлення в розумній будівлі.

*Об'єкт дослідження* – процес управління електроенергією в розумних будівлях.

*Предмет дослідження* – системи енергоменеджменту розумних будівель.

*Методи дослідження.* У магістерській роботі використовувалися методи теорії інформації, методи штучного інтелекту, математичні методи системного аналізу, методам розподіленого управління.

Джерела дослідження.

- <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/33885>;
- <https://www.education.ua/blog/48050/>;
- <https://hashdork.com/uk/>
- <https://er.dduvs.in.ua/bitstream/123456789/2459/1/6.pdf>;
- [http://4ua.co.ua/sociology/qb3ad69a4d43b88521306d37\\_0.html](http://4ua.co.ua/sociology/qb3ad69a4d43b88521306d37_0.html).

*Наукова новизна одержаних результатів.* У магістерській роботі систематизовано відомості по архітектурі енергоефективних систем розумної будівлі, та зроблено практичні рекомендації її побудови.

Враховуючи недоліки існуючих систем освітлення, зазначені в дослідженнях, дизайн архітектури розміщення освітлювальних елементів з технологією DALI, може покрити більшість проблем, пов'язаних із системами освітлення.

*Практична значущість одержаних результатів.* Отримані результати можуть бути використані при реалізації систем енергозбереження приватних розумних будівель.

*Апробація результатів магістерської роботи.* Основні положення і результати магістерської роботи доповідались і обговорювались на двох науково-практичних конференціях.

*Публікації.* За матеріалами роботи опубліковано одну статтю у науковому журналі.

## РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СИСТЕМИ ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ РОЗУМНИХ БУДІВЕЛЬ

### 1.1 Огляд технологій енергозбереження

Що стосується проектування привабливої архітектури для системи енергоменеджменту розумних будівель (SBEMS), існує багато підходів. Однією з перших і найважливіших характеристик SBEMS є потужна система моніторингу та самосвідомість щодо навколишнього середовища. Дослідження показують, що моніторинг і самосвідомість системи орієнтовані на зниження споживання енергії. Автори в [1] відзначають, що енергетичний моніторинг, збір даних і аналіз відіграють вирішальну роль у підтримці проектування та експлуатації будівель з низьким енергоспоживанням. Кілька досліджень, у тому числі звіт Національного інституту стандартів і технологій (NIST), показують, що пристрої зворотного зв'язку за енергією можуть забезпечувати реальну економію енергії, мотивуючи мешканців будівлі змінити свою поведінку.

У роботі [2] автори представляють розумний дім, який може зменшити побутові витрати енергії на основі сенсорних технологій і адаптації до звичок і рутинних процедур користувачів. На думку авторів, секції системи кондиціонування та освітлення можна вважати одними з найбільш енергоємних частин. Через високу потребу в енергії це може вплинути на загальне споживання енергії. Свої роботи вони поділяють на три основні секції: система освітлення, кондиціонування та побутова техніка.

Автори цього дослідження пропонують прикладне дослідження, яке містить шість різних кімнат із шістьма різними цілями використання (кухня, їдальня, ванна кімната, спальня, вітальня, хол). У кожному приміщенні вони використовують кілька датчиків присутності. По-перше, датчик присутності використовується для виявлення тепла від рухів користувача та керування світлом, а по-друге, датчик присутності використовується для регулювання температури та системи освітлення з метою економії енергії.

Автори вважають, що використання датчиків присутності має переваги перед детекторами руху. Наприклад, існує ймовірність, що людина працює за столом, і через її невеликі рухи датчик руху не може її виявити, оскільки він просто чутливий до рухомих об'єктів. Автори згадують кілька сценаріїв управління, які можна реалізувати на основі віку мешканця та його соціального статусу, здібностей, обмежених можливостей, якщо вони особи, які виїжджають вранці та повертаються вдень тощо. Це дозволяє користувачам визначати набір правила поведінки. У цій роботі вони зосереджуються на сценарії дружини та чоловіка, які виходять із дому вранці та повертаються після обіду. Сценарій для цієї пари складається з 16 кроків їх поведінки та рутин. Це починається з того моменту, коли вони повертаються додому, приймають душ у ванній кімнаті, поки не готують їжу на кухні, вечеряють в їдальні, лягають спати і, нарешті, коли вони виходять з дому вранці. Слід зазначити, що сценарій вивчався на основі трьох різних припущень.

У дослідженнях SWEET HOME 3D використовується для моделювання квартири, а програмне забезпечення DIALux для проектування системи освітлення. Зрештою, виявляється, що одне з припущень може заощадити до 620 кВт-год на місяць або 39,95%. Враховуючи, що згідно зі статистичними даними 2020 року, як приклад, в Єгипті проживає близько 17 мільйонів сімей, загальна економія енергії може становити близько 3000 МВт. Ця кількість еквівалентна 3 електростанціям, кожна з яких складається з 3 блоків, а потужність кожного блоку становитиме 300 МВт.

Перше, що нагадує про цю роботу, це гнучкість системи. Це дослідження базується на трьох різних припущеннях і на конкретних сценаріях користувачів, які виходять вранці та повертаються вдень. Пропонована система має бути негнучкою для різних користувачів з різною поведінкою. Робота заснована на досить простих щоденних звітах користувача. Приклад є досить спрощеним, а система не гнучкою. Управління пристроями відповідно до попередньо визначеного сценарію не є надійним, оскільки звички користувачів динамічні та мінливі.

Інтелектуальна система енергозбереження запропонована в роботі [3]. Вони називають це smartenergy.com. Основна мета роботи – поінформувати людей про

їх споживання та допомогти їм економити енергію. Їх система може стежити за рівнем енергоспоживання електроприладу. Він також контролює параметри навколишнього середовища, такі як яскравість і рівень температури, а також виявлення руху. Вони розробляють три різні блоки для своїх систем: перший блок містить кілька сенсорних технологій для виявлення руху та вимірювання температури; Цей підрозділ відповідає за збір даних. Другий блок називається блоками обробки і включає сервер керування. Третій блок може візуалізувати та отримувати дані за допомогою смартфона. Для здійснення зв'язку між різними частинами систем використовувалися технологія Zigbee [4], Ethernet [5] і Wi-Fi [6].

У цьому дослідженні за допомогою датчиків навколишнього середовища та датчиків потужності виявляється діяльність поточного користувача, і вона вивчається за допомогою підходів машинного навчання. На основі системи моніторингу та виявлення активності користувача система може виявляти електричні пристрої, які працюють і не мають відношення до поточної діяльності користувача. Таким чином, користувач буде знати про стан за допомогою структури під назвою «EnergyAdvisor» і може змінити дію. Автори вважають, що при впровадженні такої системи потенціал енергозбереження становить понад 50%.

Робота [3] здається досить цікавою, однак вона базується на одному користувачі діяльності та потребує підвищення рівня до більш складної поведінки. Енергозбереження в цій роботі сильно залежить від рішень користувача, і система працює як енергетичний радник. Це дослідження можна розглядати просто як систему самосвідомості у випадку енергозбереження. Що стосується систем керування освітленням, системами опалення, а також електроприладами, на яких зосереджено увагу авторів, воно потребує більшого вдосконалення.

У роботі [2] використовується заздалегідь визначений сценарій. Цей підхід ненадійний і не може бути адаптований до різних ситуацій або до зміни параметрів середовища. Ще одне зауваження щодо комунікаційних технологій. Табл. 1.1. показує відмінності між деякими комунікаційними технологіями.

Таблиця 1.1 - Порівняння різних комунікаційних технологій

	EnOcean	Z-wave or KNX-RF	Zigbee (802.15.4)	Zigbee (802.15.4)	Bluetooth (802.15.1)	WLAN (802.11)
Частота (МГц)	868	868	868	2400	2400	2400
Швидкість передачі даних кбіт/с	125	9.6/20	20	250	720	11.000 - 54000
Мінімальна довжина телеграми (мс)	0.6	20	30	4	0.7	-
Необхідна енергія	Надзвичайно низький	Низький	Низький	Низький	Середній	Високий
Базовий рівень навантаження смуги частот	Низький	Низький	Низький	Високий	Високий	Високий
Ризик зіткнення даних	Дуже низький	Середній	Середній	Низький	Дуже низький	Високий
Без-батарейний радіо-передавач	Так	Ні	Ні	Ні	Ні	Ні
Витрати життєвого циклу	Дуже добре	Добре	Добре	Добре	Добре	Погане
Оптимальне рішення для наступних цілей	Бездротова сенсорна система, що не потребує обслуговування	Бездротові сенсорні системи з живленням від батарейок	Бездротові сенсорні системи з живленням від батарейок	Бездротові сенсорні системи з живленням від батарейок	Комп'ютерна мережа з принтерами та КПК	Мережеві комп'ютери

У роботі [3] пропонують бездротову сенсорну мережу, яка може контролювати присутність користувача та фізичне середовище, наприклад температуру та освітлення, у кожній кімнаті будинку. Однак у цьому дослідженні відповідно до отримання даних мережею бездротових датчиків і моніторингу різних частин системи створюється профіль користувача. Автор зазначає, що використання бездротової сенсорної мережі є найбільш гнучкою та недорогою системою для розгортання сенсорних мереж. Вони пропонують ієрархічну архітектуру гібридної мережі, що складається з різних острівців сенсорних вузлів,

які з'єднані між собою через шлюзи. Щоб керувати запропонованою сенсорною мережею та зменшити її складність для користувача, вони пропонують проміжне програмне забезпечення, яке називається *mobWS*.

Запропонована система енергоменеджменту побудована відповідно до профілю користувача. Автори зазначили, що створили профіль користувача двома способами: автономний режим, режим реального часу.

В автономному режимі створено три різні профілі: профіль присутності; профіль освітлення; нагрівальний профіль

Профіль присутності створюється датчиком, який може виявляти присутність і відсутність користувача. Що стосується профілів опалення та освітлення, вони будують профіль шляхом збору даних від відповідних датчиків температури та світла. Збір даних проводився одночасно для створення цих трьох профілів. Що стосується освітлення та температури, під час збору даних користувач міг регулювати освітлення та температуру вручну, а пізніше це з'являлося в його профілі.

У режимі реального часу датчики збирали дані про фізичні параметри в реальному часі, і відповідно система енергоменеджменту автоматично налаштовує різні частини системи. Наприклад, налаштування освітлення відповідно до природного освітлення, що надходить з вікон, або встановлення температури відповідно до профілів користувачів тощо.

Запропонована система [7] є своєрідною самоадаптивною системою, і її можна розглядати з двох точок зору. З першої точки зору система здається зручною для користувача, як ми бачимо, користувач може легко взаємодіяти з системою. Однак для створення профілів він сильно залежить від дій користувача та розглядає цю дію як профіль. Дійсно, система схожа на платформу для вивчення поведінки користувача та керування системою на основі бажань користувача. Застосування цього підходу принесе користувачам комфорт, хоча, з іншого погляду, існує висока ймовірність того, що рішення користувача є невідповідним. Запропонована система не керує системою відповідно до попередньо визначеного стандарту і не дає жодних пропозицій користувачеві з метою регулювання споживання енергії.



Спільна точка між [7] та [3] полягає в тому, що вони обидва орієнтовані на користувача. Один працює на основі профілювання користувача та передбачає фактичні переваги користувача на основі попередньо спостережуваної поведінки, інший працює шляхом розпізнавання поточного статусу активності користувача та працює як енергетичний радник.

Автори в роботі [8] представляють інтелектуальну будівлю під назвою Greenbuilding. Вони зосереджені на одночасному забезпеченні комфорту користувача та енергоефективності. Вони використовують систему на основі датчиків для моніторингу системи та автоматичного контролю поведінки системи. Свій експеримент вони реалізували на реальному побутовому сценарії. Архітектура запропонованої системи складається з двох основних підсистем: підсистеми моніторингу та підсистеми контролю.

## **1.2 Аналіз архітектури систем енергозбереження будівель**

Система моніторингу на кожному поверсі має декілька датчиків навколишнього середовища та детекторів присутності. Вони спілкуються через бездротову мережу з базовою станцією. Дані, зібрані датчиками та детекторами, будуть передаватися на центральний сервер. Зв'язок між центральним сервером і базовими станціями здійснюється через дротову локальну мережу. Сервер періодично обробляє дані та розраховує споживання енергії та надає це у вигляді звіту користувачеві.

Підсистема управління керує системою згідно з правилами енергозбереження, заданими користувачем. На кожному електроприладі є привід для керування ними за допомогою відповідних контролерів. Контролер також підключений до центрального сервера за допомогою дротової локальної мережі. Саме сервер дає команди на ввімкнення або вимкнення приладу через відповідний контролер. Для керування поведінкою системи вони представляють стратегію енергозбереження. Стратегія енергозбереження була розроблена на основі різних стратегій. Перша стратегія — обізнаність користувачів. Система може періодично

надсилати звіт або повідомлення про стан кожного пристрою, а також споживання енергії. Щоб зменшити споживання, він може запропонувати можливі дії для економії енергії. Друга стратегія – зменшення споживання в режимі очікування. На цьому кроці Greenbuilding дозволяє користувачеві вказати відповідне управління енергією, щоб зменшити марну витрату енергії в режимі очікування. Наприклад, якщо прилад перейшов у режим очікування і через певний час залишився в режимі очікування, він може автоматично вимкнути пристрій через попередньо визначений проміжок часу.

Третя стратегія - планування гнучких завдань. Вартість електроенергії в різний час доби різна. Відповідно до цього факту Greenbuilding дозволяє користувачеві запланувати різні завдання для різних пристроїв, щоб зменшити витрати на електроенергію.

Остання стратегія, яка розглядається для Greenbuilding, це адаптивне управління електроприладами. Автор вважає, що значні витрати енергії відбуваються через непотрібно активні прилади. У Greenbuilding за допомогою кількох датчиків система може контролювати навколишнє середовище, і, отже, на основі правил, які визначає користувач, система може адаптуватися.

Архітектура програмного забезпечення Greenbuilding проілюстрована на рис.1.1.

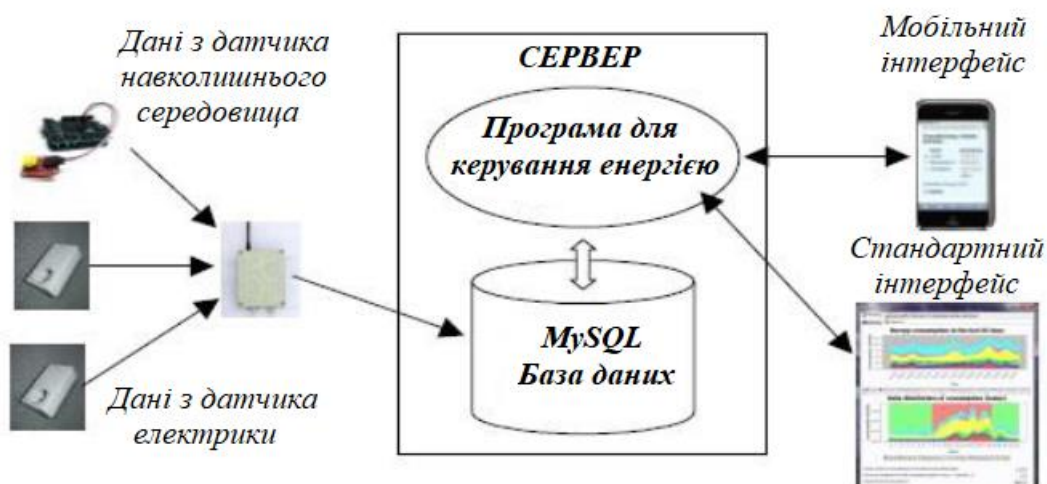


Рисунок 1.1 - Приклад архітектури SBEMS

Дані, записані датчиками, зберігаються в базі даних MySQL, яка знаходиться на сервері. Сервер MySQL підключений і взаємодіє з додатком енергоменеджера. Програма енергоменеджера написана на java і відповідає за кілька аспектів:

1. Обробка даних щодо споживання електроенергії приладами, вимірної датчиками електроенергії.
2. Надання відповідних звітів користувачу.
3. Обробка даних, отриманих датчиками навколишнього середовища.
4. Прийняття параметрів конфігурації та правил управління енергією від користувача.
5. Надсилання відповідних команд приладам.

Користувачі можуть спілкуватися з системою через віддалений інтерфейс. Стандартний інтерфейс знаходиться на сервері комп'ютера. У цій роботі, щоб перевірити цю структуру, вони впровадили її в маленькій квартирі з двома користувачами, які були студентами, і спостерігали за споживанням енергії протягом 15 днів, а також перевіряли ефект вищезазначених стратегій.

Користувач може контролювати своє споживання та змінювати свою поведінку на основі різних тарифів на електроенергію. Згідно з їхніми звітами, у разі резервних відходів це економить споживання енергії до 26 відсотків, а у випадку адаптивного керування в секції освітлення, оскільки користувач визначив свої потреби в інтенсивності світла на 50%. Вони дозволяють економити близько 79% енергії, споживаної лампою, не знижуючи при цьому рівень комфорту користувача.

Запропонований авторами [3] Greenbuilding може економити енергію в багатьох випадках, як вони висловили, однак ця система сильно залежить від рішення користувача в частині керування. Гнучкість і адаптація такої системи низькі, і користувачеві потрібно весь час взаємодіяти з системою, щоб мати комфортне середовище. У роботі [8] система самоадаптації охоплює більшість властивостей, які в роботі [2] запропонували: повідомляти користувача про стан пристроїв і дозволяти користувачеві встановлювати різні сценарії відповідно до кількох параметрів, таких як вартість електроенергії в різний час доби.

Автори роботи [9], пропонують платформу Інтернету речей із трьома рівнями. Вони пропонують це дослідження з метою оптимізації енергоспоживання будівель. Він складається з фізичного рівня, комунікаційного рівня та прикладного рівня. На фізичному рівні є багато датчиків і приводів. На рівні зв'язку існує кілька протоколів зв'язку. Прикладний рівень відповідає за злиття та обробку даних для відображення. Ядром системи є Raspberry Pi. Запропонована система енергоменеджменту будівлі [9] має зручний інтерфейс. Це дозволяє користувачеві легко керувати пристроями. З метою енергозбереження вони пропонують кілька попередньо визначених шаблонів. Користувачі можуть контролювати систему на основі шаблонів і відповідно до своїх потреб активувати автоматичні правила або вручну керувати пристроями. У ньому є 7 різних шаблонів: візуалізація змінних середовища на інформаційній панелі, графічне зображення змінної середовища в часовому вікні, індикатори енергії, діаграми споживання енергії, пристрої та змінні, якими керує користувач, детальне використання кожного пристрою та таблиця глобального порівняння. Кожен із цих шаблонів надає користувачеві різні дані. Дані, надані системою відповідно до вищезазначених шаблонів, дозволяють зрозуміти всі можливі дії збереження, щоб визначити правильні стратегії автоматизації.

Дослідження [9], як згадувалося раніше, подібне до [3]. Це залежить від дій користувача. Однак, у разі надання даних для моніторингу системи користувачеві, це демонструє переваги в порівнянні з роботою [2], оскільки користувач може контролювати систему через декілька шаблонів. Є багато творів, схожих на два вищезгаданих. Дослідження [10] є ще одним прикладом того, що платформа Інтернету речей збирає дані та після аналізу даних користувач може знати та приймати рішення щодо керування пристроями.

Робота [11] із таким же підходом запровадила платформу Інтернету речей у більшому масштабі в університетському кампусі, щоб аналізувати дані для цілей розвитку свого розумного кампусу.

Одним із важливих завдань проектування системи управління будівлею є інтеграція різних технологій і пристроїв, які використовуються в кожній секції.

Через широке поширення технологій і пристроїв, а також через різні підходи до управління ними, їх важко легко інтегрувати. У [12] дослідники пропонують систему, яка містить три різні моделі для подолання цієї проблеми. Ці три моделі: Intelligence Awareness Target як послуга (IAT), Intelligence Energy Efficiency as a service (IE<sup>2</sup>) і служба розвідки TAS (IST). TAS є технологічною компанією, що надає рішення для автоматизації обробки інформації.

IAT відповідає за запис даних і повідомляє про різні ситуації. Він розділений на три різні частини: датчик IAT, смартфон IAT і розумний пристрій IAT, і в кожній частині різні датчики збиратимуть дані. Датчик IAT збирає прості дані датчика, такі як звук, рух і обертання. Ці датчики призначені для збору даних і визначення ситуації всередині кожного приміщення. IAT смартфона надає дані, необхідні для аналізу статусу користувача. Це дозволяє знайти деталі, що стосуються позиції користувача, його руху тощо. Потім дані передаються на сервер і додаються як частина даних навчання. Нарешті, Smart appliance IAT збирає дані з розумних пристроїв, щоб знайти шаблони використання користувачами, а також інформацію про навколишнє середовище. Дійсно, Smart appliance IAT виконує дві ролі: збирати дані з розумних пристроїв і надавати послуги на рівні сервісу.

IE<sup>2</sup>S є платформою IoT і виконує роль сервера. З одного боку він взаємодіє з IAT, а з іншого – з IST. Дані, зібрані IAT, передаються в IE<sup>2</sup>, і в цей момент за допомогою алгоритму навчання нейронної мережі дані будуть постійно аналізуватися. IE<sup>2</sup> через навчання розпізнає дві речі: ситуацію користувача та модель споживання користувача. IST відповідає за надання відповідних послуг. Він використовує навчальні дані з IE<sup>2</sup> і відповідає вимогам користувача. На рис.1.2. показана архітектура системи.

Автори роботи [12], запропонувавши три моделі, IAT, IE<sup>2</sup> та IST, спробували інтегрувати кілька технологій IoT і паралельно, використовуючи методи штучного інтелекту, слідували своєму підходу, щоб подолати проблему використання різних типів цих технологій. що може призвести до неефективної роботи систем і марної витрати енергії. Запропонована архітектура системи є гнучкою. Вона успішно інтегрує кілька розділів у SBEMS.

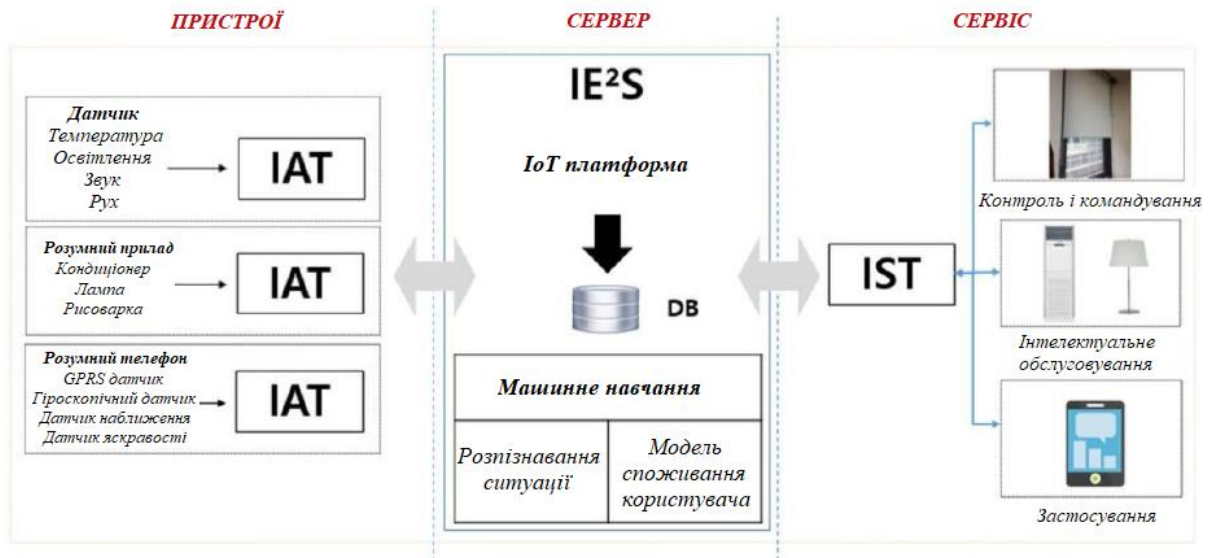


Рисунок 1.2 - Приклад архітектури SBEMS

Зручність для користувача враховується в навчанні шаблонів користувача, запропонованому алгоритмом машинного навчання. З одного боку, це перевага через забезпечення комфорту користувача, а з іншого – недолік. Система весь час навчається у користувача, і контрольна частина системи реагує відповідно. Швидше за все, вивчення шаблону користувача не є відповідним шляхом для управління енергією.

Дослідники роботи [13] представляють багатоагентну систему управління для системи управління будівлею, яка може контролювати різні підсистеми. Вони пропонують агента, який називається «центральный агент» (СА). Це комп'ютерний сервер, який працює на основі алгоритму управління та бази даних. Це головний агент у системі, який може спілкуватися з іншими агентами та контролювати їх через мережевий зв'язок Wi-Fi. Команди користувача надсилатимуться відповідному агенту через інтерфейс користувача після обробки в СА. У цій багатоагентній системі є локальні агенти, призначені кожному електричному обладнанню. Вони здатні зчитувати дані з датчиків і відповідно керувати обладнанням залежно від ситуації. Вони також можуть взаємодіяти через інтерфейс користувача та керувати обладнанням, дотримуючись інструкцій користувача.

Центральний агент спілкується з іншими агентами. Це показано на малюнку 3. Агенти вентилятора, світла, пожежі та агенти контролю доступу в критичних

ситуаціях, як-от пожежа, безпосередньо спілкуватимуться з іншими агентами, щоб покращити реакцію системи. Як видно на рис.1.3., кілька агентів взаємодіють один з одним. Контроль за роботою кондиціонера відповідає агент з кондиціонера.



Рисунок 1.3 - Приклад архітектури багатоагентної системи

Він посилає керуючий сигнал від центрального агента. Цей агент взаємодіє з декількома сигналами щодо керування кондиціонером: сигнал датчика диму, сигнал датчика температури, команда оператора (користувач подає команду через інтерфейс користувача), сигнал ручного/автоматичного режиму (сигнал, який дає оновлення агенту незалежно від того, взаємодіє користувач з інтерфейсом користувача чи ні.)

Світловий агент відповідає за керування освітленням у різних ситуаціях. Наприклад, коли виникла пожежа й датчик диму виявив сигнал, освітлювальний агент може показати аварійний шлях або за нормальних умов він взаємодіє з інтерфейсом користувача, щоб увімкнути або вимкнути світло. Агенти вентиляторів керують вентиляторами за командою користувача або автоматично.

Він запрограмований на роботу як інтегрована система в аварійному стані відповідно до певної заздалегідь визначеної логіки. Агент для вентиляторів має мікропроцесор, Wi-Fi модуль і блок живлення, реле. У цьому BMS веб-сервер є

центральним агентом. Він контролює та контролює всю систему. На основі отримання команд через інтерфейс користувача він здатний обмінюватися даними з локальними агентами, обробляти базу даних і керувати системою. Усі локальні агенти можуть бути розпізнані за унікальною адресою Інтернет-протоколу (IP-адресою).

У роботі [13], дослідники, використовуючи різні підсистеми, намагаються створити гнучку систему, в якій різні частини можуть легко взаємодіяти з іншими частинами. Основна ідея щодо архітектури системи цікава, однак вони не уточнили, як саме контролювати різні частини. У деяких частинах, здається, вони використовують прості стратегії керування, наприклад, в освітлювальних агентах вони просто керують освітлювальними елементами відповідно до стратегії увімкнення/вимкнення. На завершення, запропонована архітектура має хорошу інфраструктуру в області розумних будівель. Існує хороший потенціал для розвитку контрольних частин системи.

Стосовно вдосконаленої політики контролю, у роботі [7], дослідники запроваджують багатоагентну систему для оптимізації енергоспоживання будівлі. Автор прагне розробити BEMS, яка є гнучкою, зручною та легкою. Подібно до попередніх робіт, автор пропонує систему, яка залежить від дій і поведінки користувача. Насправді система повинна відстежувати та контролювати поведінку користувачів і вчитися на цьому. У [5], дослідники поділяють свої роботи на дві основні частини: енергетичні системи та стратегії управління.

Енергетичні системи поділяються на різні підсистеми, такі як тепла підсистема, підсистема охолодження, електрична підсистема або підсистема вимірювання. Теплова підсистема відповідає за перетворення енергії, а вимірювальна підсистема повинна контролювати та збирати дані про чистий потік енергії. Частина охолодження та обігріву приміщення згадується як найбільш енерговитратна частина. Вони споживають близько 50% від загального споживання енергії. Решта стосується системи освітлення та інших приладів у будівлі. На думку автора, для управління різними частинами будівлі можна використовувати кілька стратегій управління, наприклад нечіткі контролери або



модельне прогнозне управління, однак вони віддали перевагу методам розподіленого управління. На їхню думку, розподілене керування багатоагентною системою може вирішувати складні проблеми.

Багатоагентна система в цій роботі розділена на сім різних агентів: агент локальної зони, адміністратор локального агента, агент зони, агент генерації на місці, агент побудови, агент побудови управління та агент посередника каталогу.

Кожен агент виконує спеціальні обов'язки. Один для запису даних, один відповідає за моніторинг зайнятості, інший відповідає за обчислення споживання енергії та контроль тощо. Усі ці агенти взаємодіють один з одним, створюючи гнучке середовище, яке може відповідним чином реагувати на вимоги користувачів.

Остання SBEMS, яку було розглянуто, розділена на три різні рівні: апаратний рівень, комунікаційний рівень і прикладний рівень. Агенти знаходяться на рівні програмного забезпечення. Комунікаційний рівень відповідає за передачу даних між рівнями, а на апаратному рівні є виконавчі механізми та датчики. Що стосується контролю різних зон, система призначає різні пріоритети або вагові функції відповідно до користувачів або простору (якщо це вітальня чи приватна кімната тощо). Архітектура SBEMS підходить і має хороший потенціал для розвитку. Що стосується цього потенціалу, то стратегії контролю кожної зони потребують значного вдосконалення.

Контекстно-залежна структура для алгоритмів спільного навчання (CAFCLA) запропонована в [14] для розробки системи рекомендацій домашнього користувача. Вони вважають, що це покращує енергоефективність будівель. CAFCLA об'єднує бездротову сенсорну мережу з системою локалізації в реальному часі. Він розділений на кілька рівнів: фізичний рівень, комунікаційний рівень, контекстно-залежний рівень, рівень керування, рівень додатків. На фізичному рівні є багато датчиків (датчик температури, освітлення, вилка споживання електроенергії тощо). Кілька маячків і тегів для ідентифікації кожного користувача окремо з метою локалізації. Смартфони та планшети також включені в цей рівень: вони дозволяють надсилати користувачеві поради щодо

рекомендацій. Рівень зв'язку складається з кількох протоколів, таких як Zigbee, Wi-Fi, GPRS/3G/4G, для надсилання та отримання даних із сервера. На контекстно-залежному рівні CAFCLA інтегрується з n-core платформою. Він складається з кількох пристроїв і програмних засобів, які обмінюються інформацією за допомогою протоколів Zigbee (мережа mesh). Вони збирають дані з датчиків, тегів і маяків, щоб подати систему рекомендацій. Система управління відповідає за соціальні, логічні та інтелектуальні аспекти структури. Він використовує переваги соціальної машини, щоб надати системі інтелектуальні дані (соціальна машина — це створення соціальних комп'ютерів), щоб налаштувати датчики та визначити зону інтересу (наприклад, ліжка, щоб визначити, чи сплять користувачі). Нейронна мережа вивчає та ідентифікує активність користувачів. Нарешті, вони прийшли до висновку, що за допомогою інтелектуального управління цією інформацією можна визначити ситуацію, яка створює потенціал енергозбереження, і надіслати рекомендовані дії користувачеві. Пропонована робота має складну архітектуру та велику кількість датчиків, які працюють під егідою бездротової мережі. За словами авторів, запропонована система дозволяє економити більше енергії. Однак висока точність, яку забезпечує система (велика кількість технологій і датчиків), призводить до величезних витрат на впровадження. Про це стверджують і автори.

Усі вищезазначені дослідження запропонували кілька систем енергоменеджменту будівель з підвищенням енергоефективності. Усі вони об'єднують архітектуру систем із мережею зв'язку (переважно бездротовою). Щоб керувати різними підсистемами BEMS, обов'язки кожної частини системи були розподілені між кількома секціями (рівнями та агентами). Те, що є незаперечним і що можна підкреслити, так це роль фізичних рівнів. Насправді цей рівень відіграє важливу роль, оскільки він безпосередньо відповідає за збір даних і моніторинг. Дані, зібрані на цьому рівні, надаються серверу для моніторингу або певного процесу, щоб надавати користувачеві належне обслуговування через відповідних агентів. Дійсно, якість і тип даних, що використовуються в кожній підсистемі, і їх обробка на сервері можуть впливати на продуктивність системи. Робота [14] є двома прикладами того, що продуктивність системи на рівні збору даних висока

через велику кількість засобів, які вони використовують для збору даних. Однак неможливо уникнути того, що висока якість і кількість даних у цій частині (фізичному рівні) призведе до величезних витрат.

Запропонована багатоагентна архітектура [13] є хорошим прикладом архітектури в BEMS. Агенти в цій архітектурі спілкуються один з одним, а також із сервером. Кожна підсистема в цій архітектурі здатна діяти як окрема підсистема в екстрених випадках. Незалежність підсистем і водночас інтеграція між ними є чудовою частиною між усіма вищезгаданими архітектурами SBEMS.

**Результати огляду архітектури SBEMS.** Стосовно вищезазначених досліджень слід враховувати наступні недоліки існуючої архітектури SBEMS, що є керівництвом для розробки SBEMS у цій дисертації:

1. Невідповідні вибрані технології: існує широкий спектр технологій, які можна отримати для обслуговування в SBEMS, які розглядаються як відправна точка проектування архітектури SBEMS. Хоча вибір відповідних технологій і пристроїв відіграє вирішальну роль в архітектурному проектуванні SBEMS, він також забезпечує розробку наступного покоління SBEMS. Насправді більшість пристроїв і обраних технологій у поточній SBEMS вибрано неналежним чином і короткозоро. Як згадувалося раніше, SBEMS містить кілька підсистем, таких як системи освітлення, системи опалення тощо. Ці підсистеми використовують різні протоколи зв'язку та стандарти, які впливають на інтеграцію та розвиток системи. Вибір невідповідних технологій призводить до кількох проблем щодо «інтеграції технологій» та розвитку SBEMS у майбутньому.

2. Функціональність, орієнтована на користувача: сьогодні більшість функцій SBEMS сильно залежать від прийняття рішень користувачем. Наприклад, у попередньому аналізі деякі роботи страждають від відсутності спеціальних автоматизованих функцій для контролю різних параметрів SBEMS у середовищі. Вони просто повідомляють користувачеві про навколишнє середовище, і саме користувач має вирішити, як реагувати. У найкращому випадку деякі з вищезгаданих SBEMS пропонують користувачеві правильну інструкцію для керування підсистемами SBEMS. Навпаки, інші роботи намагаються покрити

вищезазначені недоліки. Вони покращують функціональність SBEMS шляхом профілювання поведінки користувачів. Однак в обох випадках дія користувача має ґрунтуватися на неправильній звичці, яка впливає на функціональність SBEMS і, як наслідок, призводить до неефективної системи. Через те, що в більшості досліджень комфорт користувача має головний пріоритет. Цілком зрозуміло, що першочерговою метою є задоволення користувача, однак оптимізація між комфортом користувача та споживанням енергії є більш перспективною. Крім того, проблема, орієнтована на користувача, також може мати відношення до першої проблеми (невідповідні вибрані технології), де обмеження в розробці та інтеграції технологій призводять до спрощених стратегій контролю.

Беручи до уваги дві вищезазначені проблеми, вибір відповідних технологій із тонким дизайном архітектури SBEMS є перспективним для вирішення відповідних проблем. Як наслідок, це веде до високої потужності технологічної інтеграції, розробки програмного та апаратного забезпечення та, нарешті, належних функціональних можливостей для моніторингу, обізнаності користувачів та реалізації стратегій керування в підсистемах SBEMS.

### **1.3 Аналіз систем розумного освітлення**

Більшість із небагатьох досліджень, у даному розділі, зосереджено на дизайні освітлення та оптимізації розташування світильників для зниження споживання енергії. У [7] автори досліджують конструкції системи для визначення відповідної кількості світильників, що призводить до підвищення енергоефективності поточної системи освітлення. Дослідження поділяється на дві основні частини: визначення необхідної кількості ламп і заміна лампи. Частина запропонованого рішення стосується заміни світильників (заміна ламп) без зміни поточної системи освітлення. Хоча запропонована система певним чином покращила споживання енергії (порівняно з попереднім станом відповідної будівлі), але вона пропускає гнучкість щодо еволюції технологій освітлювальних пристроїв, а також щодо змін умов навколишнього середовища. Насправді запропоноване рішення не враховує

зміни яскравості середовища, працюючи в одному режимі незалежно від навколишніх умов яскравості. Крім того, єдиний спосіб стежити за розвитком технології освітлення за допомогою запропонованого рішення - це постійно замінювати всі освітлювальні прилади будівлі на новіші та ефективніші, що є дорогим рішенням.

Деякі з цих досліджень стосуються складних схем, спрямованих на розумні або інтелектуальні системи керування освітленням. Зосереджуючись на розважальних програмах і налаштуваннях складних сцен, автори [15] пропонують те, що вони назвали «інтелектуальною системою керування освітленням» для керування якістю освітлення. Критикуючи низку доступних на ринку протоколів, таких як DALI (цифровий адресний інтерфейс освітлення), згадуючи про їхню нестачу, пов'язану з урахуванням властивостей перетворення кольору світла, автори пропонують вбудовану систему з подвійним процесором і CIE (Міжнародна комісія з освітлення) гама стандарт, що забезпечує високу якість освітлення. Пропонована система розділена на два шари: верхній і нижній. На верхньому рівні використовується протокол TCP/IP, який включає головний контролер і контролер мережевого вузла. Нижній рівень складається з контролера мережевого вузла та індикаторів. Він передає дані за протоколом DMX512. Розглядаючи контролер вузла мережі, він розділений на два модулі: головний контролер і обробка даних. Головний контролер реалізує функції. Частина обробки даних відповідає за оновлення даних у порту керування. У головному контролері є мікроконтролер ARM9, а в частині обробки даних — Atmega8515.

Автори стверджують, що запропонована система підійде для розважальних закладів, готелів, залів засідань, офісів і складних ландшафтів. Перший і найбільш критичний момент запропонованої системи пов'язаний з тим, що вона була розроблена для виключного контролю якості освітлення без урахування питань споживання енергії. Так, наприклад, стосовно готелів, ця система представляла б досить дороге рішення щодо конкуренції цін у відповідному секторі діяльності. Насправді такі протоколи, як DALI, виявляються більш придатними для готелів, метою яких є досягнення конкурентоспроможних цін на номери. Стосовно інших

заявлених прикладних можливостей, окрім дуже специфічних розважальних місць, більшість із тих, про які цитують автори, не потребують такої складної та дорогої системи для повсякденної діяльності, якою вони займаються. З технічної точки зору запропонована система, здається, має обмеження, якщо метою є великомасштабні проекти, оскільки в них використовуються мікроконтролери для реалізації частин мережевого контролера. У роботі [9] автори мають справу з різними технологіями (як стандарт KNX, також відомий як Connex), щоб забезпечити більш ефективну систему освітлення. Представлена робота базується на двох стратегіях:

1. Ефективність: впровадження нового обладнання та організація практики проектування освітлення.

2. Ефективність: адаптація автоматичного керування освітленням.

Автори зосередилися на розробці інтегрованої стратегії керування освітленням для робочих кімнат, враховуючи доступне денне світло та присутність людей у цих кімнатах. Пропоновані стратегії інтелектуального керування освітленням базуються на: зонування; планування; денне світло; заповненість; контроль яскравості; дистанційне спілкування; інтеграція; моніторинг.

Кожен простір розділений на кілька зон, і відповідно до ситуації в кожній зоні, яка контролюється датчиками присутності та освітленості, будуть вжиті відповідні дії. Робота, про яку повідомляється, має привабливі характеристики, враховуючи поточні (доступні) умови освітлення та присутність людей, однак, схоже, що описана система пропускає очевидний вплив елементів освітлення в робочому просторі порівняно з очікуваним підвищенням ефективності. Автор оголосив, що запропонована система освітлення не залежить від центрального контролера, такого як ПК або програмований логічний контролер і він зазначив, що це перевага, оскільки система може працювати індивідуально, навіть якщо трапиться збій, однак, вона може бути розглянута з іншої точки зору. Якщо мета роботи полягала в тому, щоб запропонувати просто інтелектуальне керування освітленням, то заява автора була розумною, однак повна незалежність системи

освітлення від SBEMS може вплинути на цілісність SBEMS і призвести до ускладнень у разі моніторингу та взаємодії з користувачем.

Загальним для всіх робіт є питання енергоспоживання, але складною частиною є те, що зменшення енергоспоживання не повинно впливати на ефективність роботи. Крім того, це має підвищити зручність користувача. Система дозволяє користувачеві вибрати шість різних функцій для зменшення споживання енергії:

1. Контроль зайнятості: це автоматичне керування освітленням. Ліхтарі вмикатимуться чи вимикатимуться відповідно до виявлення мешканців датчиками.

2. Планування часу: освітлення можна запрограмувати на вмикання або вимикання за попередньо визначеним розкладом.

3. Контроль денного світла: Розбиваючи кімнату (простір) на кілька зон, автори встановлюють баланс освітлення між зонами, розташованими ближче до вікон, і зонами, розташованими далеко від вікон (що потребують більшої освітленості в порівнянні з тими, що ближче до вікон кімнати).

4. Керування завданнями: ця функція шляхом поділу кімнати на різні секції вмикає або вимикає світло відповідно до присутності мешканця у відповідній секції.

5. Персональне керування: користувачі можуть керувати освітленням безпосередньо через комп'ютер.

6. Планування змінної потужності: Ця функція обчислює максимальну необхідну потужність будівлі, і якщо загальне споживання досягає максимуму, система може сповістити користувача за допомогою тривоги. В результаті користувач може вимкнути непотрібні світильники.

Робота розглядається на основі кількох тематичних досліджень і на основі вищезгаданих функцій. Табл. 1.2. ілюструє приклади та реалізовані функції для кожного з них.

Виходячи з отриманих результатів, автори оголосили світлодіодні лампи більш ефективними, ніж люмінесцентні. У випадку 1 лише за допомогою світлодіодів вони заощадили 68% щоденного споживання енергії. Крім того,

порівняння між випадками 5 і 7 показує, що керування затемненням має переваги перед керуванням перемиканням, і, як наслідок, випадок 7 може економити енергію на 12% більше порівняно з випадком 5. Найбільше енергозбереження досягається у випадку 7, де всі функції використовуються паралельно за допомогою світлодіодних ламп і регулятора затемнення.

Таблиця 1.2 - Функція, яка використовується в кожному прикладі інтелектуальної системи освітлення

Випадок	Функція						Зауваження
	1	2	3	4	5	6	
1							Люмінесцентні та світлодіодні лампи (контроль перемикання)
2	+						
3		+					
4			+				
5	+	+	+	+	+	+	
6			+				Світлодіодні лампи (контроль затемнення)
7	+	+	+	+	+	+	

Для управління запропонованою системою автори використовують мікроконтролер і пристрій Raspberry Pi. Хоча розробка архітектури освітлення та різних функціональних можливостей запропонованої системи є позитивним моментом вищезазначеної роботи, однак поширення запропонованого рішення на великомасштабні будівлі залишається під питанням. Крім того, як і в попередній роботі, автори опускають вплив розміщення елементів освітлення на топологію розглянутого робочого простору.

У роботі [17] представлена реалізація інтелектуальної світлодіодної системи освітлення. Запропонована система спрямована на зниження споживання енергії на 60-70% у порівнянні зі звичайною системою освітлення, задовольнивши візуальний комфорт користувачів. Пропонована система може працювати в трьох різних режимах: ручному режимі, автоматичному режимі та гібридному режимі. У ручному режимі користувачі можуть взаємодіяти з системою освітлення для керування освітленням, а в автоматичному режимі освітлення вмикається відповідно до керування на основі моделі або даних, щоб принести задоволення користувачам. Система освітлення працює в автоматичному режимі і, якщо



користувач не задоволений, може взаємодіяти з системою. На рис.1.4. показана блок-схема інтелектуальної системи освітлення.

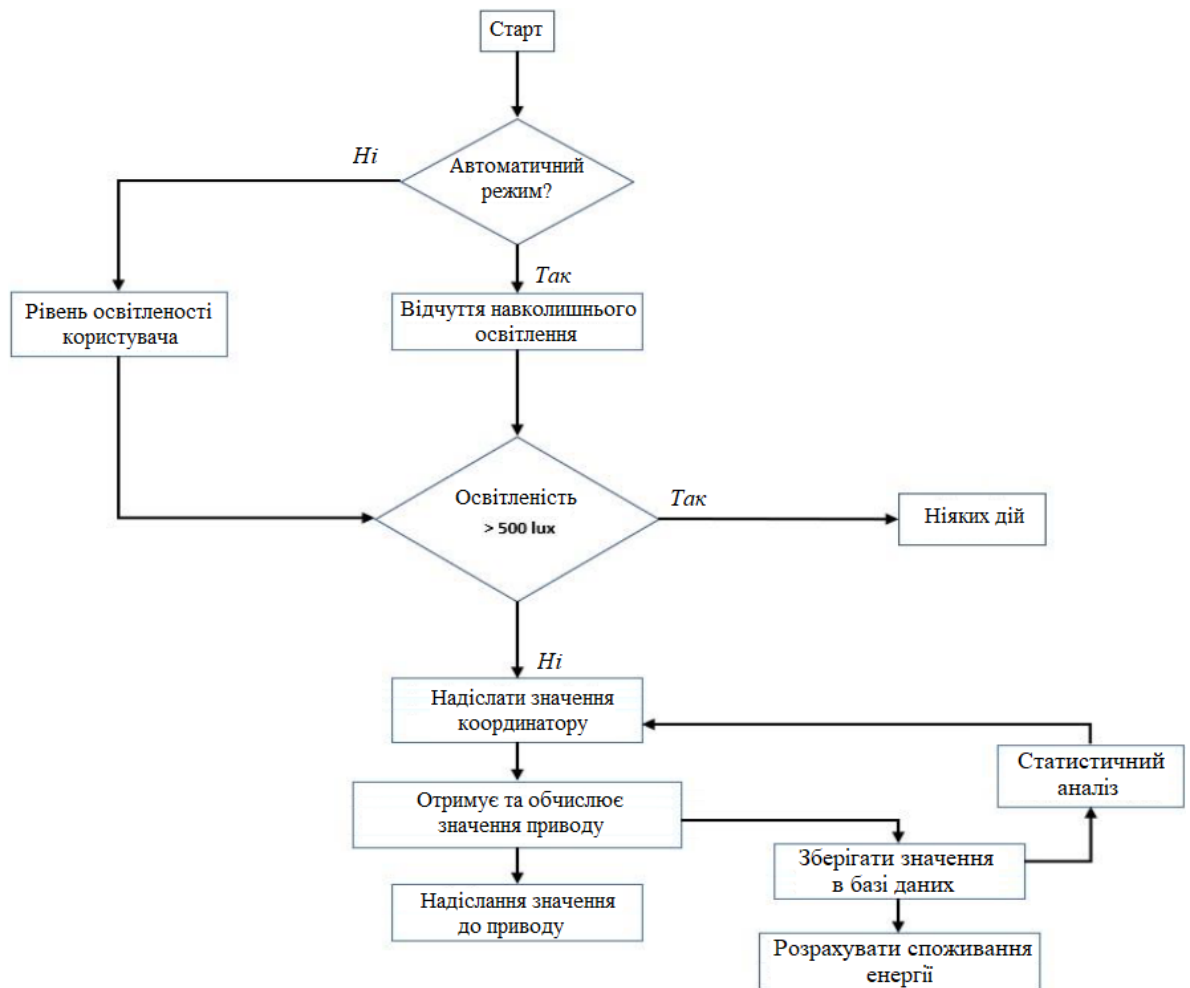


Рисунок 1.4 - Блок-схема інтелектуальної системи освітлення

Запропонована інтелектуальна система освітлення [16] використовує бездротову мережу датчиків-приводів (WSAN). Автори стверджують, що WSAN використовується для аналізу фізичних і екологічних параметрів. WSAN складається з кількох вузлів. Кожен вузол є автономною сутністю в мережі. WSAN передає дані, записані сенсорним вузлом, до координатора. Існує шлюзовий вузол, який полегшує зв'язок WSAN з іншими вузлами, а вузли активації реагують на основі інструкцій координатора. Дані в запропонованій системі збираються датчиками в системі керування будівлею та зберігаються в базі даних. Координатор у цій системі є головним агентом для збору всіх даних від датчиків і приводів, а

також персональних агентів через ZigBee та запис мережі Wi-Fi, що пов'язує дані зі значеннями налаштувань користувача.

**Результати огляду системи освітлення.** Системи освітлення в будівлях раніше були менш предметом уваги дослідників. Як показав аналіз, дослідники пропонують багато інноваційних рішень. Хоча для вдосконалення систем освітлення потрібно пройти довгий шлях. Деякі основні загальні обмеження характеризують усі вищезгадані концепції:

1. Гнучкість системи освітлення в різноманітному середовищі: перший основний недолік пов'язує витік гнучкості системи освітлення щодо різноманітності внутрішньої конструкції будівлі та масштабу (розміру), який потрібно встановити. Крім того, деякі роботи страждають від гнучкості системи освітлення до динамічних умов середовища простору (присутності та відсутності користувача, зовнішнього освітлення, мети використання простору тощо).

2. Інший головний недолік пов'язаний зі специфікою обраних технологій у вищезазначених роботах і робить їх рішення важко розширюваними. Фактично, через ексклюзивний дизайн систем освітлення для вищезазначених приміщень, залишається сумнівним, чи запропоновані дослідження та реалізації застосовні до інших приміщень чи ні.

3. Майже в усіх роботах упущено важливість розміщення освітлювальних елементів у просторі. Розробка елементів освітлення не менш важлива для вибору правильної технології освітлення. Гарний баланс між двома приведе до ефективної системи освітлення.

Наведені вище зауваження вказують щодо усунення недоліків сучасних систем освітлення. У цій дипломній роботі мною виконується пошук підходу, який задовольнятиме всі вимоги до ефективної системи освітлення: вибір відповідної технології, щоб впоратися з різними розмірами простору та умовами навколишнього середовища, а також проектування розміщення освітлювальних елементів.

## РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ БАГАТОРІВНЕВОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГІЄЮ В РОЗУМНИХ БУДІВЛЯХ

### 2.1 Багаторівневий архітектурний дизайну будівлі

Багаторівнева архітектура пропонує гнучке середовище для керування системою. Програмне забезпечення розроблено таким чином, щоб функції обробки, керування даними та презентації були фізично та логічно розділені. Загальною моделлю багаторівневої архітектурної системи є поєднання трьох рівнів. Система розділена на три частини: інтерфейс користувача, бізнес-логіка, доступ до даних.



Рисунок 2.1 - Багаторівнева архітектура системи (три рівні)

Верхньою частиною багаторівневої системи є інтерфейс користувача. У цій частині деякі функції перетворюють результат і завдання на щось, що читається користувачем. Частина бізнес-логіки координує, логічне рішення, обчислення та командний процес і з'єднує інтерфейс користувача з доступом до даних. Останній рівень — доступ до даних. Цей рівень відповідає за надання даних верхнім рівням за допомогою датчиків, приводів тощо.

Багатошарові системи мають ряд переваг, які роблять їх дуже привабливими, ось деякі з їхніх переваг:

1. Безпека: порівняно з іншими системами вони більш безпечні, оскільки можуть використовувати різні безпечні методи для кожного рівня окремо.
2. Легко керувати: такі системи дають можливість керувати кожним рівнем окремо, не впливаючи на інші рівні.
3. Гнучкий: він може розширювати кожен шар у будь-який спосіб, не впливаючи на інші шари.

Операційна архітектура, яку пропоную в роботі, організована в багаторівневу структуру, що включає чотири ключові рівні. Кожен рівень може включати апаратне забезпечення, а також програмне забезпечення або віртуальні компоненти (чи модулі). На рис.2.2. зображено блок-схему системи. Як видно з цього рисунку, система включає «Рівень контролю» (SL), «Рівень контролю» (CL), «Рівень агентів» (AL) і «Фізичний рівень» (PL). На основі багаторівневої архітектури, зображеної на рис.2.2., рівень нагляду є рівнем інтерфейсу користувача, рівні керування та агента є рівнем бізнес-логіки, а фізичний рівень є рівнем доступу до даних.



Рисунок 2.2 - Архітектура багаторівневої системи

SL — це верхній рівень архітектури, який включає головним чином сервер, а саме комп'ютер, який відповідає за налаштування параметрів системи (тобто модифікацію), моніторинг системи та збір даних у режимі реального часу. SL складається з набору програмованих логічних контролерів (PLC), які підключаються з одного боку до сервера (тобто SL), а з іншого боку до AL (тобто зв'язуються з агентами). Цей рівень відповідає за оперативний контроль датчиків і пристроїв через відповідних агентів в AL.

Наступний шар – це AL. присвячена різним агентам. Він відповідає за конкретні завдання, пов'язані з роботою датчика (тобто отримання даних), а також завдання, пов'язані з виконавчим приводом різних пристроїв. Відповідальністю цього рівня є виконання відповідних дій кожного підключеного пристрою. Незважаючи на те, що AL може інтегрувати будь-який тип агента, він містить низку основних агентів, таких як:

- комунікаційні агенти: керування комунікаціями та відповідними протоколами;
- агенти введення/виведення: обробка різноманітних залучених входів і виходів компонентів системи;
- агенти пристроїв: відповідають за коректну роботу та протоколи підключеного пристрою;
- агенти датчиків: контроль правильного процесу підключених датчиків і збору відповідних даних;
- агенти вимірювання: відповідають за правильне перетворення та представлення виміряних параметрів.

Нарешті, PL включає датчики, за допомогою яких збираються різні дані, і пристрої, що діють для точного контролю продуктивності будівлі.

Багаторівнева організація цієї архітектури забезпечує видану SBEMS незалежність, а також різні технологічні можливості, пов'язані з ефективним впровадженням системи. Фактично, для реалізації SBEMS можна використовувати різні типи апаратних і програмних технологій з різними протоколами.

## 2.2 Приклад реалізації досліджуваної багаторівневої архітектури

Впровадження досліджуваної системи SBEMS було виконано в п'ятиповерховій будівлі, забезпечуючи реальну експериментальну платформу для перевірки, оцінки та подальших досліджень, пов'язаних із темами розумного будівництва. Основні категорії робочих приміщень можна перерахувати наступним чином: офісні кімнати (зайняті від одного до чотирьох співробітників на офіс), класні кімнати (місткістю від 24 до 28 користувачів), практичні кабінети програмування та навчання, обладнані в основному комп'ютерами та принтерами (спроектовані для розміщення від 12 до 18 користувачів) і робочі кімнати машин, обладнані важкими установками або більш легкими апаратами (розраховані на розміщення від 12 до 16 користувачів). Нарешті, ряд коридорів, що забезпечують зв'язок (доступ) між робочими приміщеннями, характеризують кожен поверх будівлі. На рис.2.3. показана блок-схема реалізації досліджуваної системи з ідентифікацією описаних раніше рівнів.

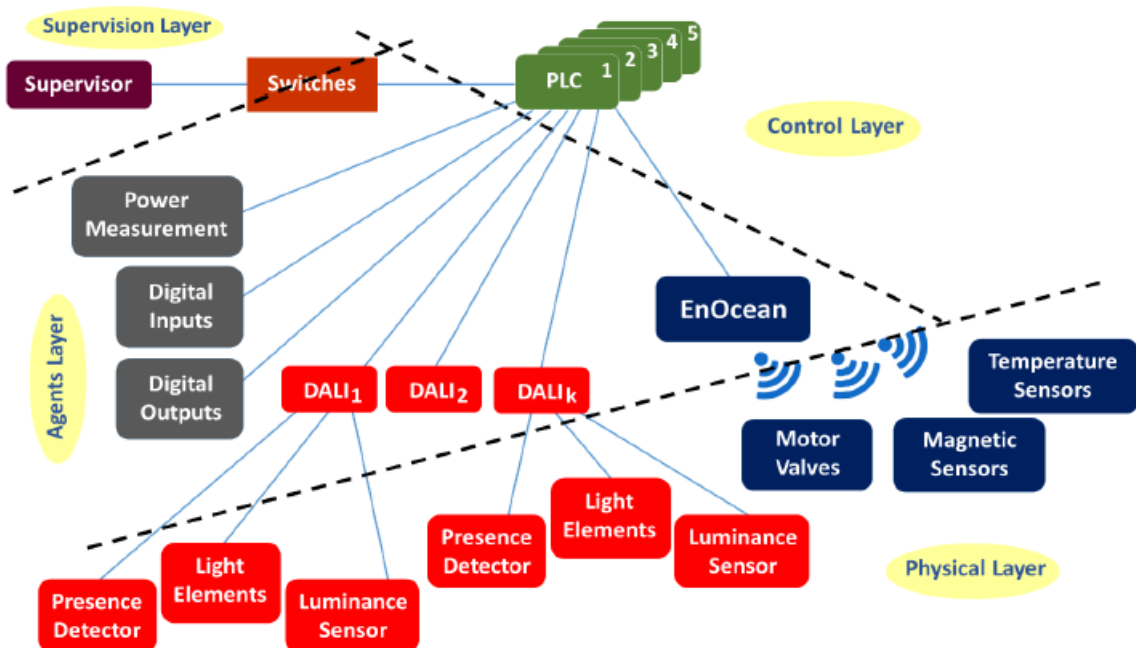


Рисунок 2.3 - Блок-схема впровадження, що показує різні рівні та їх КОМПОНЕНТИ

### 2.2.1 Реалізація фізичного рівня

Для кожного робочого простору (включно з коридорами) кожного поверху було застосовано чотири типи датчиків: «датчики температури» (TS), «магнітні датчики» (MS), «датчики присутності» (PD) і «датчики освітленості» (LS).

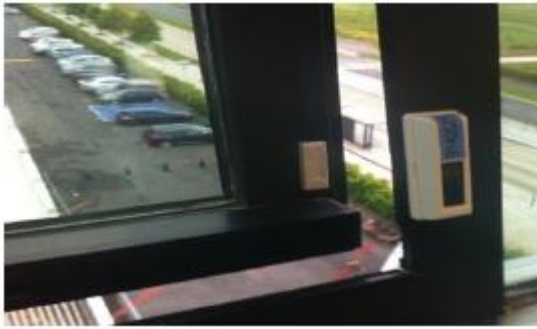


Рисунок 2.4 - Магнітний датчик



Рисунок 2.5 - Датчик температури



Рисунок 2.6 - Датчик яскравості та присутності

Основними підключеними пристроями, розгорнутими у вищезазначеній експериментальній будівлі, є: «Клапани двигуна» (MV), що керують обігрівачами (тобто радіатори, що живляться від центральної водяної системи опалення), підключені «Освітлювальні елементи» (LE), що обладнують кожне робоче місце будівлі та 16-канальних релейних інтерфейсів на кожному поверсі, щоб уникнути втрат енергії в режимі очікування. Слід зазначити, що будівля обладнана склопакетами, а вентиляція здійснюється через вікна. Локалізація щодо розміщення різних датчиків і детекторів відповідає стандарту, який пропонує виробник датчиків.





Рисунок 2.7 - Моторний клапан      Рисунок 2.8- Освітлювальний елемент



Рисунок 2.9 - 16-канальні інтерфейси реле

TS, MS і MV використовують технологію «EnOcean», бездротову технологію збору енергії, надану EnOcean [17]. Модулі на основі технології EnOcean поєднують перетворювачі мікроенергії з електронікою з наднизьким енергоспоживанням і надійним бездротовим зв'язком, що дозволяє створювати бездротові сенсори або виконавчі механізми з автономним живленням для систем управління енергією в будівлях і промислових додатках. Датчики TS і MS використовують сонячну енергію для роботи, і вони підтримуються акумулятором у разі відсутності денного світла. MV працює від акумуляторів. Основними привабливими особливостями технології EnOcean є: її можна легко інтегрувати з різним комунікаційним програмним забезпеченням, перетворювачами енергії, керування енергією та радіомодулями; ця технологія не працює без батареї, тому не потребує монтажу джерела живлення; його зовнішній діапазон передачі 300 метрів і внутрішнє поле дифузії 30 метрів охоплюють усі робочі та/або житлові приміщення будівлі; технологія забезпечує надійне підключення кількох сотень підключених датчиків і пристроїв, сумісних з EnOcean; нарешті, зв'язуючись із



ПЛК через послідовний інтерфейс (протокол STC65-RS485 Modbus), пристрої EnOcean сумісні з більшістю доступних на ринку ПЛК.

Що стосується PD, LS і LE, вони використовують іншу технологію, відому як DALI (інтерфейс цифрового адресного освітлення). DALI — це протокол для стандартизації керування електронними баластами в системах освітлення. Різні складні сценарії освітлення (і конфігурації) можуть бути визначені та функціональні в середовищі DALI. Наприклад, головний модуль DALI/DSI в ПЛК WAGO-I/O-SYSTEM дозволяє поєднувати освітлення всієї будівлі з іншими службами будівлі. DALI підтримує 64 індивідуальні адреси, 16 різних групових адрес і 16 різних сценаріїв.

Залежно від розмірів робочих просторів, LE, LS і PD розгорнуті в кожному робочому просторі. Менші робочі приміщення (наприклад, офісні кімнати) включають один LS і один PD. У той час як інші робочі простори включають два або більше кожного з вищезгаданих модулів. Корисно зауважити, що кожен PD і LS керують групою LE (2 LE для менших просторів і до 5 LE для великих робочих просторів). Визначаючи присутність (через PD) ПЛК встановлює потужність освітлювальних елементів через мережу DALI. Таким же чином, яскравість, виміряна LS, дозволяє ПЛК налаштувати групу LE відповідно до стратегії керування освітленням, реалізованої в ПЛК. Що стосується інших модулів, MS розгортається для того, щоб інформувати систему про стан вікна (тобто відкрите чи закрите). Якщо він виявить, що вікна відкриті, функція відключення на ПЛК спрацює безпосередньо та закриє радіаторний клапан. Тому кожне вікно будівлі обладнано MC. TS облаштовує кожне робоче місце, а також ряд зовнішніх точок будівлі. Нарешті, у всіх робочих приміщеннях (або коридорах) кожен опалювальний блок контролюється пристроєм середнього напруги.

На кожному поверсі є 16-канальний релейний інтерфейс. Він підключений до модуля введення-виведення wago на ПЛК. Ця функція використовується для того, щоб уникнути марної витрати енергії, коли система перебуває в режимі очікування. Оскільки будівля концерну є комерційною будівлею, у нічний час з 20:00 до 6:00 в будівлі не відбувається жодної діяльності, а SBEMS працює в режимі очікування.

Режим очікування в такому стані, коли протягом тривалого часу немає активності, вважається марною витратою енергії. З огляду на це, вказане реле в ці години відключило електроенергію.

### **2.2.2 Реалізація агентського рівня**

Рівень агентів містить різні агенти (програмні або апаратні агенти). Цифрові входи та виходи обробляють різні входи та виходи залучених компонентів, які складають різні рівні. Power Measurement Agent обробляє дані та протоколи, пов'язані з проблемами споживання енергії. Як можна побачити на рис.2.3., реалізований AL включає дві групи додаткових агентів, позначених як агенти «DALI» та «EnOcean». Кожна група вищезазначених агентів інтегрує свої специфічні агенти зв'язку, датчиків і пристроїв. З цієї причини «агенти зв'язку», «агенти пристроїв» і «агенти датчиків» на цьому малюнку не повідомляються.

### **2.2.3 Реалізація рівня контролю**

CL було реалізовано за допомогою ПЛК «WAGO-I/O-SYSTEM»: сімейства програмованих контролерів Fieldbus ETHERNET, які розповсюджуються WAGO. Цей PLC(програмований логічний контролер) може підтримувати цифрові та аналогові модулі. PLC підтримує як MODBUS/TCP, так і широкий спектр стандартних протоколів Ethernet/IP для легкої інтеграції в IT-середовище. Цей контролер можна використовувати для додатків, пов'язаних з керуванням машинами та установками, керуванням промисловими процесами та будівельними технологіями. Інтегрований веб-сервер також надає користувачеві параметри конфігурації та інформацію про стан від контролера. Цікаво відзначити, що PLC має слот для знімної карти пам'яті, що дозволяє передавати параметри пристрою або файли з одного контролера на інший. Доступ до карти пам'яті можна отримати через FTP і використовувати як додатковий накопичувач.

У цьому контексті було розгорнуто п'ять PLC WAGO-I/O-SYSTEM (тобто по одному PLC на кожному поверсі будівлі) з метою отримання даних від датчиків і пристроїв керування кожного поверху.



Рисунок 2.10 - Програмований логічний контролер WAGO-I/O-SYSTEM

PLC програмується програмним забезпеченням «системи розробки керування» (CodeSys). Це середовище розробки для програмування контролерів на основі промислового стандарту IEC 61131-3 і, відповідно, це потужне програмне забезпечення, яке дає цю можливість програмувати в 5 різних стандартах мов програмування:

1. Сходова діаграма (LD).
2. Функціональна блок-схема (FBD).
3. Структурований текст (ST).
4. Список інструкцій (IL).
5. Послідовна функціональна схема (SFC).

ST і IL — це текстові мови програмування, а LD, FBD і SFC — це графічні мови програмування. CodeSys забезпечує інтерфейс користувача (UI) для моніторингу та керування SBEMS. Обговорення цієї частини (UI від Codesys) буде запропоновано далі в цьому розділі.

## 2.2.4 Реалізація рівня нагляду

Рівень контролю (SL) може бути комп'ютером, планшетом або мобільним телефоном із відповідним програмним забезпеченням і додатком для взаємодії з користувачем. Користувач може бути в курсі стану середовища і, отже, контролювати та встановлювати відповідні параметри відповідно до своїх бажань.

Запропонована архітектура є гнучкою та відкритою для будь-якого програмного забезпечення, протоколів і технологій. У SL це верхній рівень архітектури SBEMS. SBEMS можна контролювати та контролювати за допомогою великої кількості існуючого програмного забезпечення, яке є найпопулярнішим на ринку: Торкарі від SCADA, Matlab від Mathworks, Codesys, MySQL тощо є деякими прикладами доступного на ринку програмного забезпечення, сумісного із запропонованим SBEMS. На рис.2.11. показані властивості рівня нагляду та їх зв'язок із рівнем керування та локальним інтелектом, розподіленим на рівні агента.

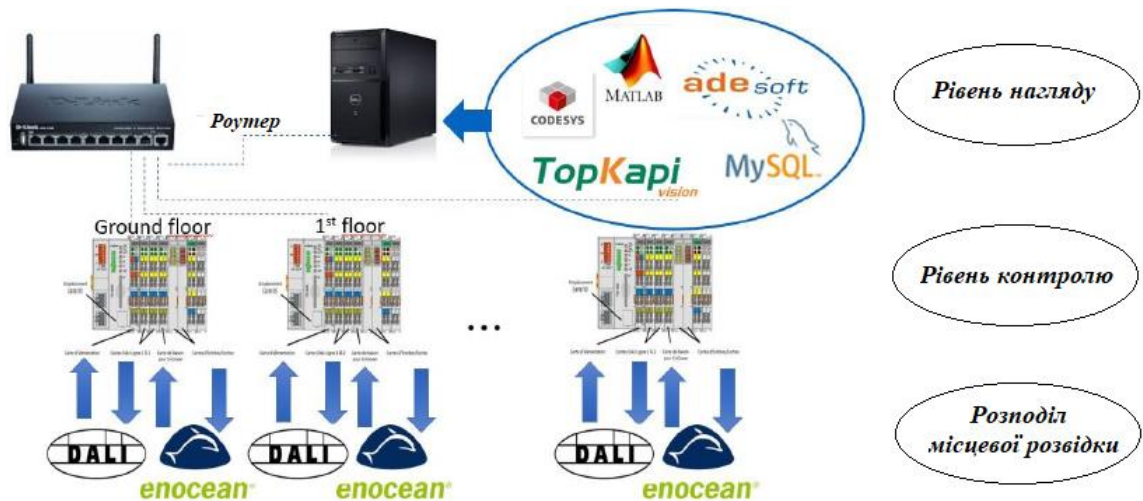


Рисунок 2.11 - Властивість рівня нагляду та його зв'язок із рівнем керування та локальним інтелектом, розподіленим на рівні агента

Цей рівень (SL) був матеріалізований комп'ютером ПК, що включає програмне забезпечення для нагляду за сервером ТорКарі (продукт SCADA Software), що діє як головний агент нагляду. Він також включає ряд відповідних агентів інтерфейсу (програмних одиниць), що стосуються рівня керування та

пам'яті для зберігання. він забезпечує всі звичайні функції програмних систем SCADA:

1. Зв'язок із польовими пристроями (через десятки драйверів прямого протоколу або сторонніх відкритих платформних серверів зв'язку).
2. Розрахунок і форматування даних.
3. Реєстрація даних.
4. Відображення за допомогою графічного редактора (міміки).
5. Сигналізація та керування подіями.
6. Віддалене керування з будь-якої робочої станції (архітектура клієнт/сервер).

ТорКарі має повний веб-сервер HTML5 для легкого доступу до клієнтів. Користувачі можуть легко отримати доступ до програми ТорКарі за допомогою мобільних телефонів або планшетів.

У SL ТорКарі є основною програмою, яка відповідає за моніторинг SBEMS. З іншого боку, щоб приймати команди користувача та виконувати дії з параметрами системи, використовується Codesys. Програмне забезпечення CodeSys має потужні інструменти не тільки для програмування PLC, але й для моніторингу деяких частин системи та пропонує інтерфейс користувача для отримання команд від користувача та виконання дій для керування системою. CodeSys має інтерфейс користувача, і його можна використовувати в різних типах дисплеїв. Він також має веб-варіант, який забезпечує віддалений доступ, віддалений моніторинг, а також послуги та діагностику системи через Інтернет.

Кожен рівень запропонованої архітектури здатний взаємодіяти з іншими рівнями в двосторонньому напрямку. Це надає користувачеві високу гнучкість для моніторингу кожного окремого параметра системи, а також команди для налаштування та дії з іншою частиною системи. У наступному розділі цього розділу ми збираємося проілюструвати здатність системи здійснювати моніторинг та обізнаність користувачів. Результат у наступному розділі надається SBEMS на основі внеску SL, CL, AL і PL у двосторонньому напрямку.

## 2.3 Засоби керування, регулювання та моніторингу складних технічних систем будівлі

Кожен пристрій (датчики та виконавчі механізми тощо) у досліджуваній системі має адресу, яка визначається на PLC. Торкарі, отримавши доступ до кожної окремої адреси пристроїв, може зчитувати та перекладати інформацію на доступну для користувача мову. ТорКарі також може забезпечити графічну візуалізацію кожного простору. Він надає відомості про дії користувача та стан навколишнього середовища (а саме температуру та історію освітлення) і робочі стани пристроїв (а саме історію налаштування освітлення та/або нагрівальних елементів).

На рис.2.12. показана графічна архітектура досліджуваної п'ятиповерхової будівлі. Візуалізація всієї будівлі проілюстрована часом, датою та зовнішньою температурою, яка фіксується датчиком зовнішньої температури та надсилається бездротовим способом через технологію EnOcean до PLC.

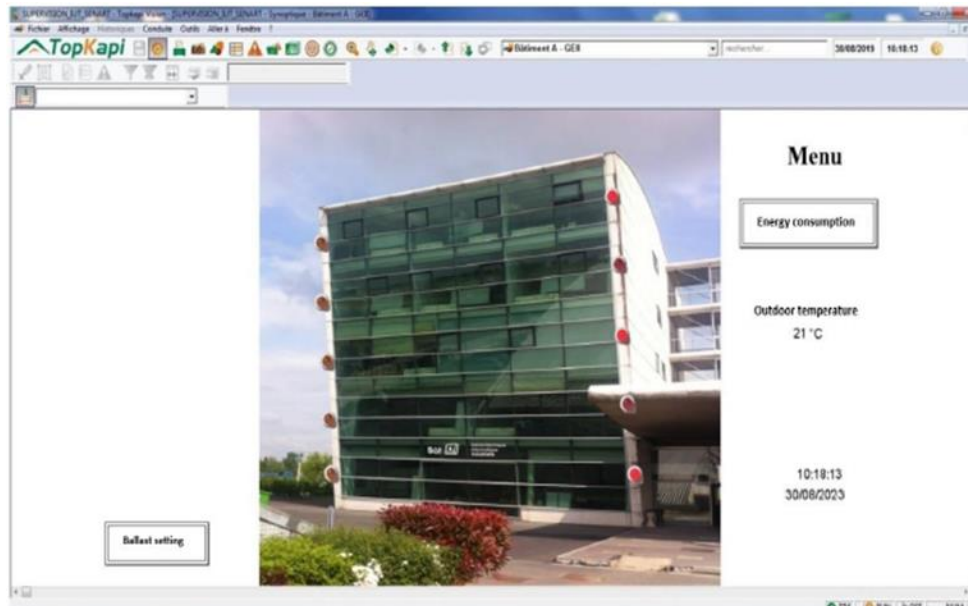


Рисунок 2.12 - Графічна архітектура п'ятиповерхового будинку в TopKapi з датою, часом і зовнішньою температурою

На рис. 2.13. представлений один з поверхів будівлі. У межах цього показника можна контролювати температуру кожного приміщення. На рис. 2.14.

показано в меншому масштабі одну з кімнат у межах розташування всіх датчиків, виконавчих механізмів та їхніх інструкцій із необхідною інформацією щодо кожного з них. Він показує стан кожного окремого пристрою в кімнаті (розташування лабораторії LISSI в кампусі SENART). Наприклад, згідно із запропонованими підписами на рис.2.15., група освітлювальних елементів у нижній частині увімкнена, а у верхній – вимкнена. Або віконце внизу відкрите, а праворуч угорі закрите, і повідомлення про батареї клапана двигуна показують, що батареї розряджені. Про це повідомляє TopKapi.

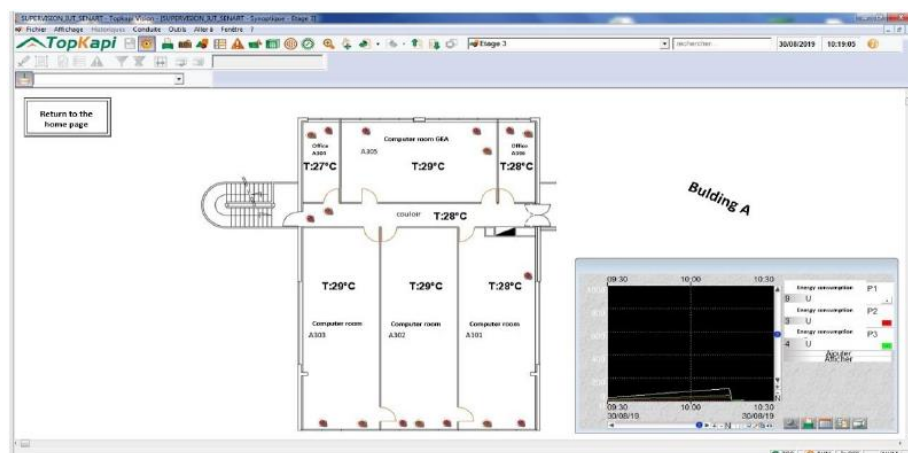


Рисунок 2.13 - 3-й поверх будівлі з усією необхідною інформацією (температура всередині кожного приміщення, енергоспоживання, дані про акумулятори моторного клапана)

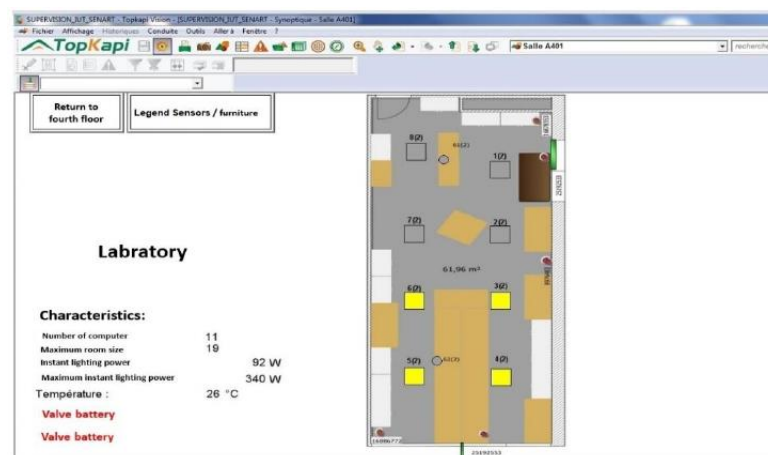


Рисунок 2.14 - Класна кімната на 4 поверсі з усією необхідною інформацією (стан вікон, світла, батарея клапана двигуна, Мас-адреса MS, MV)



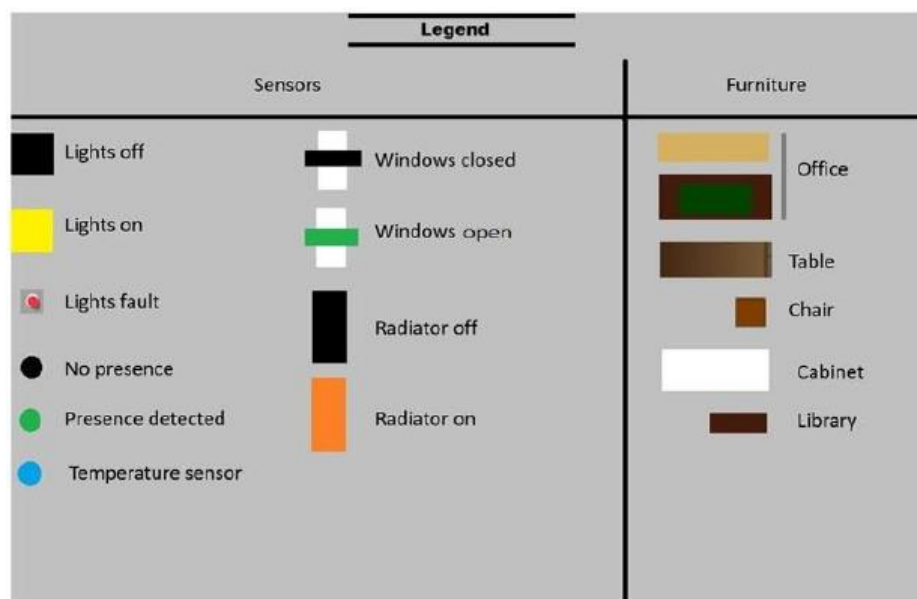


Рисунок 2.15 - Заголовок кожного елемента в досліджуваній архітектурі

Окрім частини візуалізації кожного поверху, наданої Торкарі, можна відстежувати стан кожного пристрою та навколишню ситуацію системи на дошці. ТорКарі також може зберігати дані дошки щохвилини у файлі CSV. На рис.2.16. показана панель моніторингу, що відноситься до 3-го поверху. На кожному поверсі будівлі є дошка в Торкаі. Плати надають користувачеві дані в реальному часі, які виявляють або вимірюють датчики та виконавчі пристрої в кожному просторі (кімнатах, коридорах тощо):

1. Потужність LE та їх стан (ввімкнено чи вимкнено PD).
2. Вимірювання яскравості LS.
3. Розташування клапанів двигуна радіатора.
4. Стан акумуляторів клапана двигуна.
5. Температура в приміщенні, температура на вулиці.
6. Енергоспоживання кожного поверху та стан вікон (відкриті/зачинені).

ТорКарі — це потужне програмне забезпечення для моніторингу та профілювання системи, однак паралельно Codesys надає інформацію про різні частини SBEMS. Codesys окремо є інструментом для контролю, моніторингу, а також програмування PLC. На рис.2.17. показано інтерфейс користувача CodeSys на комп'ютері, який відповідає за нагляд.



TopKapi A1-3e étage																
1	3rd floor															
2	Brightness(%)				Power On/Off				Mat	0	Fault		Fault		Non	
3	Ligne Dali 1			Ligne dali 2			Ligne Dali 1			Ligne Dali 2			Ligne dali 1		Ligne Dali 2	
4	302			301			302			301			302		301	
5	LUM1	0	LUM1	0	DALI 1	Off	DALI 1(2)	Off	DALI 1	Normal	DALI 1(2)	Normal				
6	LUM2	0	LUM2	0	DALI 2	Off	DALI 2(2)	Off	DALI 2	Normal	DALI 2(2)	Normal				
7	LUM3	0	LUM3	0	DALI 3	Off	DALI 3(2)	Off	DALI 3	Normal	DALI 3(2)	Normal				
8	LUM4	0	LUM4	0	DALI 4	Off	DALI 4(2)	Off	DALI 4	Normal	DALI 4(2)	Normal				
9	LUM5	0	LUM5	0	DALI 5	Off	DALI 5(2)	Off	DALI 5	Normal	DALI 5(2)	Normal				
10	LUM6	0	LUM6	0	DALI 6	Off	DALI 6(2)	Off	DALI 6	Normal	DALI 6(2)	Normal				
11	LUM7	0	LUM7	0	DALI 7	Off	DALI 7(2)	Off	DALI 7	Normal	DALI 7(2)	Normal				
12	LUM8	0	LUM8	0	DALI 8	Off	DALI 8(2)	Off	DALI 8	Normal	DALI 8(2)	Normal				
13																
14	303			Couloir			303			Couloir			303		Couloir	
15	LUM11	0	LUM11	20	DALI 11	Off	DALI 11(2)	Off	DALI 11	Normal	DALI 11(2)	Normal				
16	LUM12	0	LUM12	20	DALI 12	Off	DALI 12(2)	Off	DALI 12	Normal	DALI 12(2)	Normal				
17	LUM13	0	LUM13	20	DALI 13	Off	DALI 13(2)	Off	DALI 13	Normal	DALI 13(2)	Normal				
18	LUM14	0	LUM14	20	DALI 14	Off	DALI 14(2)	Off	DALI 14	Normal	DALI 14(2)	Normal				
19	LUM15	0	LUM15	20	DALI 15	Off	DALI 15(2)	Off	DALI 15	Normal	DALI 15(2)	Normal				
20	LUM16	0			DALI 16	Off			DALI 16	Normal						
21	LUM17	0			DALI 17	Off			DALI 17	Normal						
22	LUM18	0			DALI 18	Off			DALI 18	Normal						
23																
24	304						304						304			
25	LUM21	0			DALI 21	Off			DALI 21	Normal						
26	LUM22	0			DALI 22	Off			DALI 22	Normal						
27																
28	305						305						305			
29	LUM24	0			DALI 24	Off			DALI 24	Normal						
30	LUM25	0			DALI 25	Off			DALI 25	Normal						
31	LUM26	0			DALI 26	Off			DALI 26	Normal						
32	LUM27	0			DALI 27	Off			DALI 27	Normal						
33	LUM28	0			DALI 28	Off			DALI 28	Normal						
34	LUM29	0			DALI 29	Off			DALI 29	Normal						
35	LUM30	0			DALI 30	Off			DALI 30	Normal						
36																
37	306						306						306			
38	LUM31	0			DALI 31	Off			DALI 31	Normal						
39	LUM32	0			DALI 32	Off			DALI 32	Normal						

Рисунок 2.16 - Плата моніторингу TopKapi

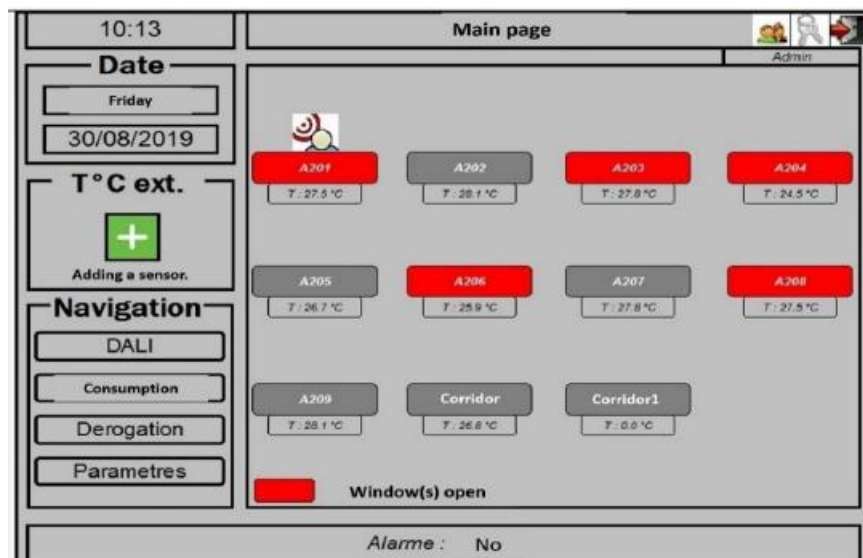


Рисунок 2.17 - Інтерфейс користувача CodeSys для 2-го поверху

На цьому рисунку показано інтерфейс користувача CodeSys, що стосується 2-го поверху. На правій панелі кожна частина ілюструє кількість відповідних кімнат із певною інформацією про них; наприклад температура в приміщенні та кількість людей. Наприклад, кімната A201 зайнята, оскільки PD виявив присутність

людини, а температура в цій кімнаті становить 27,5 °C. На лівій стороні навігаційна панель допомагає користувачеві увійти до частини, яка бажає відстежувати або змінювати параметри (наприклад, задане значення температури кожного приміщення або задане значення інтенсивності світла). На рис.2.18-3.20 показано інші частини інтерфейсу користувача CodeSys.

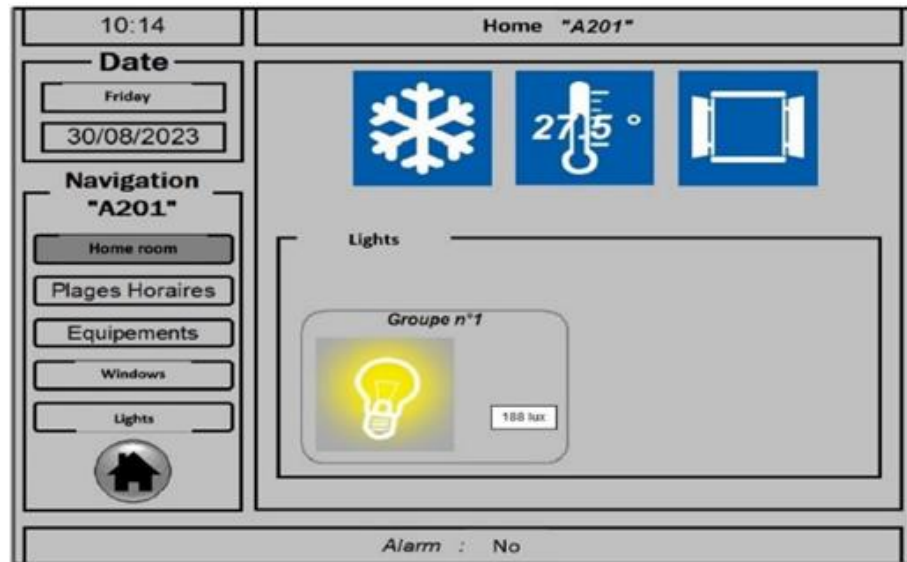


Рисунок 2.18 - Опис навколишнього середовища кімнати

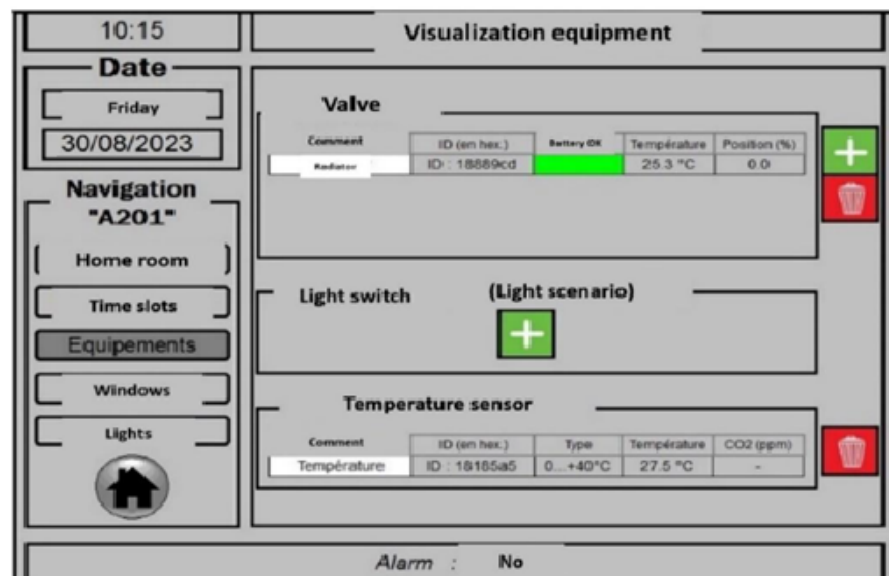


Рисунок 2.19 - Стан температури радіатора в кімнаті A201

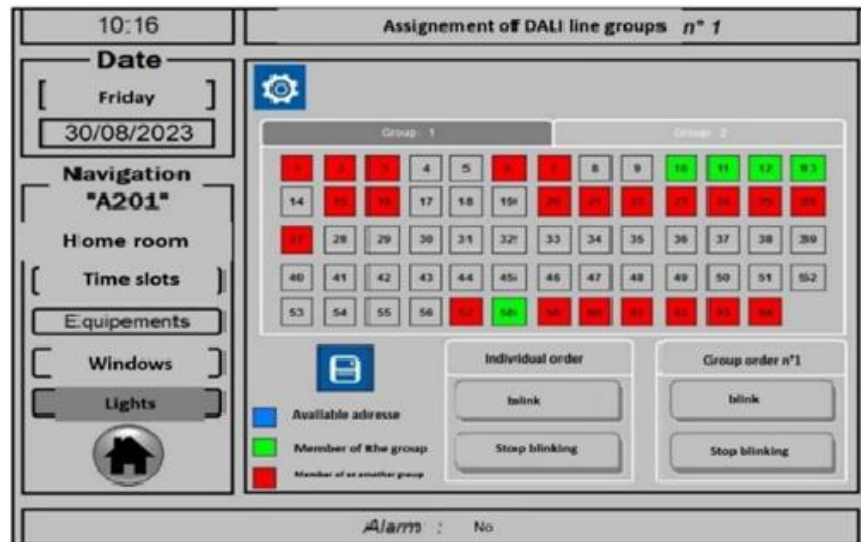


Рисунок 2.20 - Відомість освітлювальних приладів

Щодо збору даних TopKari та Codesys, було проведено експеримент, щоб перевірити здатність системи записувати дані. Наведені результати отримано на двох робочих просторах експериментального корпусу. Перший – навчальний кабінет (розташований на 2-му поверсі), інший – навчальний кабінет програмування (на 3-му поверсі). Кожне робоче місце контролюється впровадженою системою. Два набори зібраних даних для кожного простору — RVS-1 і RVS-2. RVS-1 містить дані, отримані в результаті 9-годинного запису (тобто з 7:00 до 16:00), що стосуються діяльності відповідної кімнати: зайнятість 24 користувачами з 8:00 до 12:30, потім незайнятість до 4:00 PM. RVS-2 включає 8 годин запису даних (тобто з 12:30 до 20:30), що стосуються діяльності відповідної кімнати: зайнятість користувачів з 1:30 ранку до 5:30 вечора, потім незайнятість до 20:30 .

На рис.2.21. наведено профілі змін температури, що стосуються RVS-1 і RVS-2, а на рис.2.22. наведено інформацію про присутність і відсутність користувачів. Як видно з діаграми RVS -1 (лівостороння діаграма), коли в кімнаті немає людей о 7:00 ранку, система опалення регулює температуру близько 20°C (запрограмовані умови опалення). Через 90 хвилин кімнату займають 24 користувачі, а температура навколишнього середовища підвищується до 24°C – 26°C. Зовнішня температура демонструє постійне підвищення зовнішньої температури протягом дня: від 9°C

рано вранці до 20°C у найтепліші години дня. Доречно зауважити, що відносна постійність температури в приміщенні близько 24 °С (підтверджена діаграмою RVS-2, записаною в іншу дату та в інших зовнішніх умовах) підкреслює діяльність людини та присутність користувачів у розглянутих робочих приміщеннях. Також цікаво відзначити, що енергія, вироблена користувачами (тобто людськими тілами, які займають розглянутий простір), може бути використана для зменшення споживання енергії, якщо застосована розумна та адекватна політика контролю з урахуванням людської діяльності.

Таблиця 2.1 - Графік експерименту

Записані зразки перевірки(RVS)	Початок збору даних	Початок діяльності людини	Кінець людської діяльності	Кінець збору даних
RVS-1	07:00 AM	08:00 AM	12:30 PM	4:00 PM
RVS-2	12:30 PM	1:30 PM	5:30 PM	8:30 PM

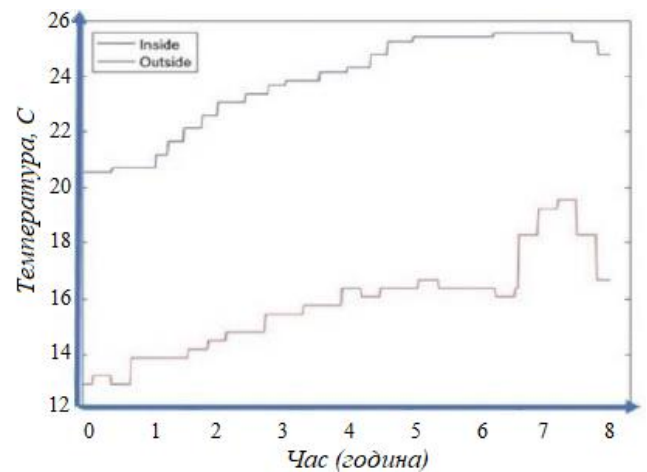
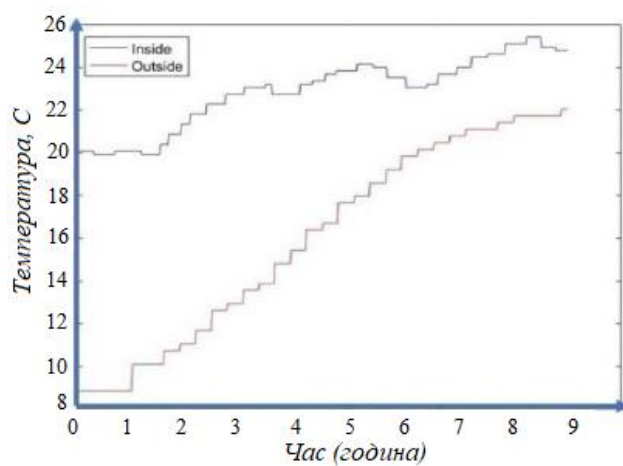


Рисунок 2.21 - Профілі зміни температури, що стосуються RVS-1 (ліва діаграма) і RVS-2 (права діаграма)

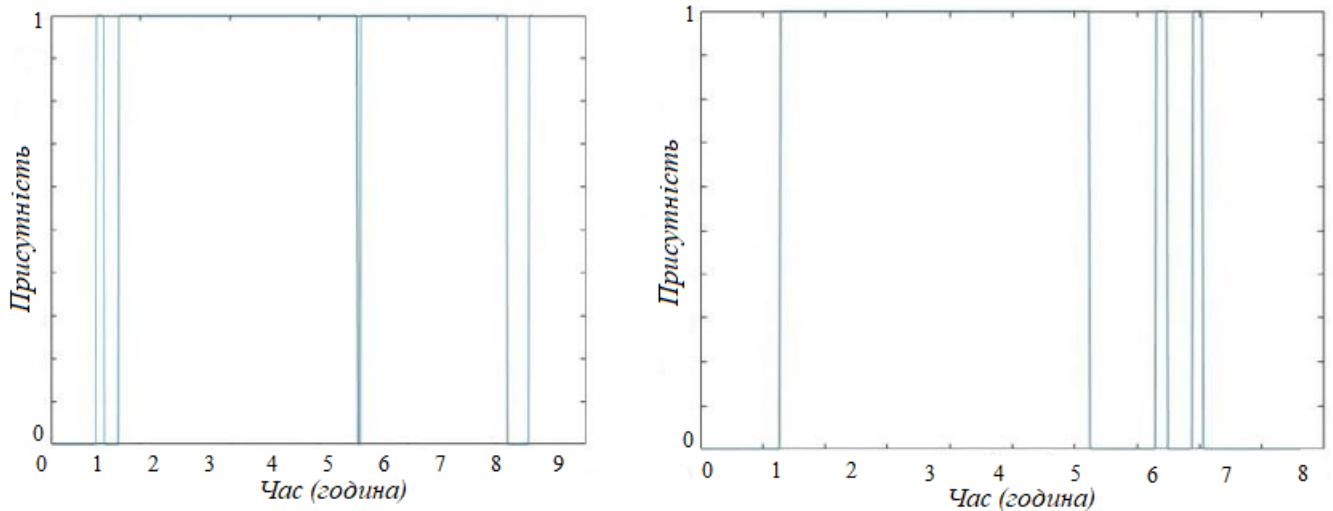


Рисунок 2.22 - Виявлення присутності та відсутності детектором присутності стосовно RVS -1 (ліва схема) та RVS -2 (права схема).

Система може записувати дані для всіх інших параметрів системи, таких як потужність LE, положення клапанів двигуна з таким же підходом.

Торкарі та Codesys забезпечують інтерфейс користувача, і користувач може знати про кожну частину SBEMS. Користувач за допомогою Codesys може дати команду системі або встановити параметри за своїм бажанням. Що стосується інтерфейсу користувача та моніторингу, запропонована SBEMS є дуже гнучкою та може взаємодіяти з великою кількістю інших програм, доступних на ринку.

## РОЗДІЛ 3 ПРОЕКТУВАННЯ ПЕРЕВІРКА СИСТЕМИ АДАПТИВНОГО ОСВІТЛЕННЯ В РОЗУМНІЙ БУДІВЛІ

### 3.1 Аналіз технології системи освітлення із застосуванням архітектури SBEMS

Система освітлення є частиною досліджуваної системи SBEMS у будівлі. Що стосується системи освітлення, то тут багато обладнання: датчиків і пристроїв. Залежно від властивостей і цілей використання кожного окремого місця (кімнати) кількість освітлювального обладнання буде різною. Обладнання різних місць - це датчики присутності (PD), датчики освітленості (LS), елементи освітлення (LE), перемикачі EnOcean Rocker (RS).

Освітлення в будівлі забезпечується кількома осередками освітлення (те, що ми називаємо LE). Кожна осередок освітлення містить кілька флуоресцентних–трифосфорів. Кожна люмінесцентна лампа споживає 14 Вт. Відповідно до кількості ламп у кожному LE відповідна споживана потужність різна. У нашому випадку кожна LE містить 4 лампи. У підсумку потужність кожного окремого LE з урахуванням пристрою управління становить 61 Вт (56 Вт відповідає за чотири лампи і 5 Вт для ЕПРА). Світловий потік для кожного освітлювального елемента становить 4800 Люмен.

Протокол DALI відповідає за стандартизацію керування електронними баластами в системах освітлення. Головний модуль DALI/DSI (контрольний блок DALI) у PLC WAGO-I/O-SYSTEM поєднує освітлення всієї будівлі з іншими службами будівлі на SBEMS. Дійсно, система освітлення діє як окрема підсистема з SBEMS. На рис.3.1. показано підключення області DALI як окремої підсистеми до SBEMS.

Перевага автономної архітектури підсистеми полягає в тому, що SBEMS може контролювати систему освітлення. У рамках цієї архітектури, по-перше, PLC може змінювати та контролювати параметри системи освітлення через головний модуль DALI/DSI.



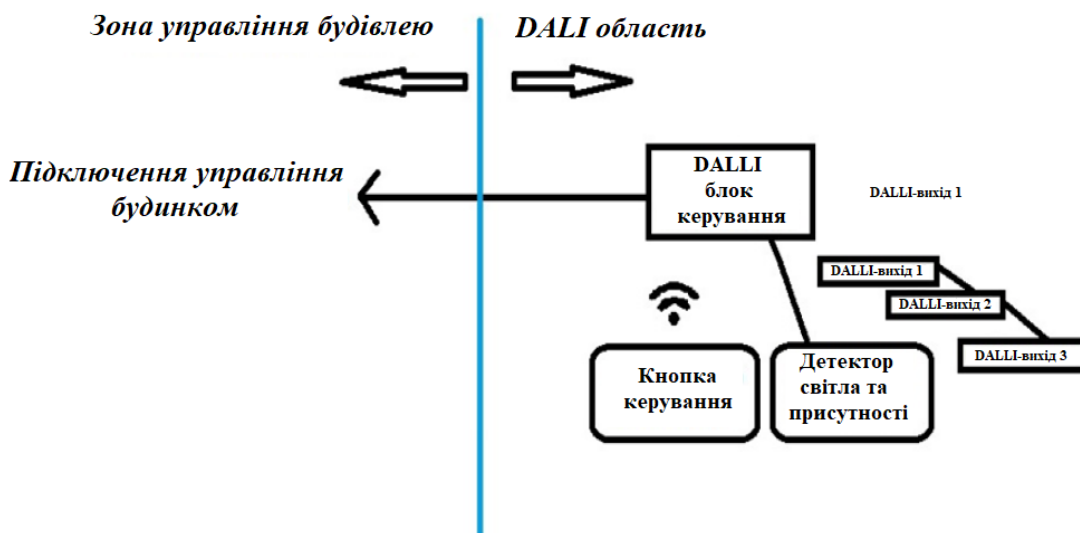


Рисунок 3.1 - Підключення DALI як окремої підсистеми до SBEMS

По-друге, в екстрених випадках, коли, наприклад, SBEMS стикається з проблемою, система освітлення може працювати незалежно від SBEMS як індивідуальна підсистема. На рис.3.2 конкретно показано реалізацію системи освітлення в багаторівневій архітектурі SBEMS. На рівні агента DALI інтегрує свої специфічні агенти зв'язку, датчиків і пристроїв.

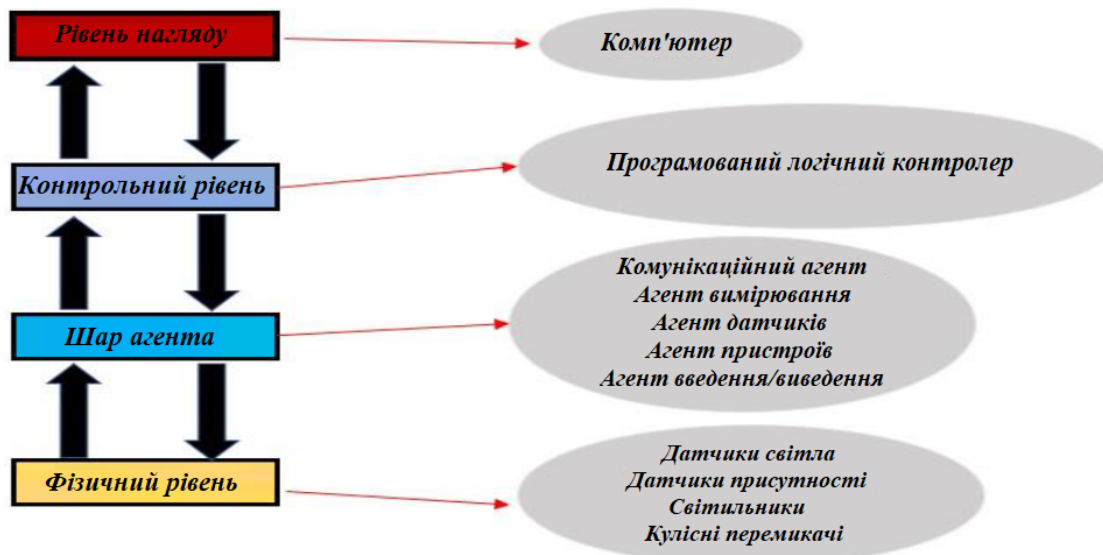


Рисунок 3.2 - Реалізована архітектура системи освітлення в SBEMS

Дана архітектура в рамках технології DALI забезпечує користувачам гнучку систему освітлення. Одним з головних показників цієї системи освітлення є

адаптивність. Внутрішньою властивістю природного світла є динамічність. Ця динамічна поведінка пов'язана з погодними умовами, відображенням навколишнього матеріалу тощо. Головний модуль DALI/DSI може регулювати потужність LE та встановлювати інтенсивність світла за допомогою електронного механізму керування, враховуючи виявлену яскравість LS. Однак важливу роль відіграє розміщення та відповідна кількість LE. Це впливає на затемнення LE і, як наслідок, на споживання енергії та візуальне задоволення.

Інтеграція гарного архітектурного дизайну LE з належною технологією призводить до енергоефективної системи, пропонуючи візуальний комфорт і задоволення для користувача. Візуальний комфорт означає постійне забезпечення користувача відповідною інтенсивністю світла на робочій площині. У наступних розділах ми збираємося представити метод пошуку оптимізованої кількості LE для просторів і проектування архітектури їх розміщення.

### **3.2 Методика проектування архітектури розміщення елементів освітлення**

Запропонований підхід для проектування розміщення LE базується на методі Lumen та засобах моделювання від DIALux. DIALux - це програмне забезпечення, що спеціалізується на освітленні. У DIALux інженери, а також дизайнери інтер'єрів можуть професійно проектувати, розраховувати та візуалізувати світло. Це одне з найкращих програм у галузі освітлення. Він надає користувачам можливість планувати та проектувати архітектуру освітлення за допомогою електронних каталогів світильників провідних світових виробників світильників.

DIALux моделює простір з усіма можливими умовами, такими як погодні умови, різні географічні положення, архітектура будівлі концерну. Потім, відповідно до плану розміщення LE у просторі, це забезпечує відповідний результат і вплив дизайну розміщення LE на вищезазначений простір. Однак першим кроком є знаходження оптимальної кількості LE. Відповідну кількість LE підбирають методом Люмен. Люменний метод, враховуючи необхідну



інтенсивність світла на робочій площині, визначає належну кількість LE у просторах. Відповідно до методу Lumen необхідно враховувати кілька факторів, щоб вибрати відповідну кількість LE і задовольнити бажану яскравість у просторі. Рівняння (3.1) представляє обов'язкові фактори, що стосуються вибору LE.

$$N = \frac{E \times A}{L \times UF \times M} \quad (3.1)$$

де:

N - Кількість необхідних LE;

E - Мета яскравості;

A - Площа робочої площини (м<sup>2</sup>) ;

L - Світловий потік кожного світла;

UF - коефіцієнт використання яскравості;

M - Коефіцієнт обслуговування.

Цільова яскравість (бажана інтенсивність світла) на робочій площині є першим фактором, який слід взяти до уваги для вибору належної кількості LE. Це відіграє вирішальну роль у комфорті та задоволенні користувача. Залежно від активності користувачів бажана інтенсивність світла різна. Табл. 3.1 показує стандарт відповідної інтенсивності світла з урахуванням різних дій користувачів.

Таблиця 3.1 - Стандарт відповідної інтенсивності світла з урахуванням різних видів діяльності користувача

Діяльність	Освітленість (Lux)
Громадська зона з темним оточенням	20-50
Проста орієнтація для коротких візитів	50-100
Робочі зони, де візуальні завдання виконуються лише час від часу	100-150
Склади, будинок, театри, архіви	150
Легка офісна робота, заняття	250
Звичайна офісна робота, робота з ПК, навчальна бібліотека, продуктові магазини, виставкові зали, лабораторії	500
Супермаркети, Механічні майстерні, Офісні ландшафти	750

Продовження таблиці 3.1 - Стандарт відповідної інтенсивності світла з урахуванням різних видів діяльності користувача

Діяльність	Освітленість (Lux)
Нормальна креслярська робота, детальні механічні майстерні, операційні зали	1000
Детальні креслення, дуже детальні механічні роботи	1500-2000
Виконання візуальних завдань із низьким контрастом і дуже малим розміром протягом тривалих періодів часу	2000-5000
Виконання дуже тривалих і вимогливих зорових завдань	5000-10000
Виконання дуже спеціальних візуальних завдань надзвичайно низького контрасту малого розміру	10000-20000

Другим найважливішим фактором для оцінки чисел LE є коефіцієнт використання яскравості (UF). Це індивідуально залежить від чотирьох різних параметрів:

1. Індекс кімнати.
2. Коефіцієнт відбиття стіни приміщення.
3. Коефіцієнт відбиття підлоги в приміщенні.
4. Коефіцієнт відбиття стелі в кімнаті.

Індекс кімнати розраховується за кількома параметрами. Рівняння (3.2) ілюструє відповідні параметри для індексу обчислювальної кімнати.

$$RI = \frac{W \times L}{H \times (W + L)} \quad (3.2)$$

де:

RI - Індекс кімнати;

W - ширина кімнати;

L - Довжина кімнати;

H - Висота світильників над горизонтальною робочою площиною.

Відповідно до індексу приміщення та коефіцієнтів відбиття стелі, стіни та підлоги можна визначити коефіцієнт використання, і, нарешті, на основі

екологічного стану простору та відповідного коефіцієнта обслуговування слід розрахувати кількість LE у просторі.

Таблиця 3.2 - Коефіцієнт використання (UF) відповідно до коефіцієнтів відбиття (стеля (C), стіна (W), підлога (F)) та індекс приміщення

Індекс кімнати	0.75	1.0	1.25	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0
Коефіцієнти відбиття приміщення C W F									
70 – 50 – 20	0.36	0.42	0.47	0.51	0.56	0.60	0.63	0.66	0.69
30	0.31	0.36	0.42	0.46	0.52	0.56	0.59	0.63	0.66
10	0.27	0.32	0.37	0.41	0.47	0.52	0.55	0.60	0.63
50 – 50 – 50	0.33	0.38	0.43	0.46	0.51	0.54	0.57	0.60	0.62
30	0.29	0.34	0.38	0.42	0.51	0.51	0.53	0.57	0.59
10	0.25	0.30	0.35	0.38	0.44	0.48	0.50	0.54	0.57
30 – 50 – 30	0.31	0.35	0.39	0.42	0.46	0.49	0.51	0.54	0.57
30	0.27	0.31	0.35	0.38	0.43	0.46	0.48	0.52	0.54
10	0.23	0.28	0.32	0.35	0.40	0.44	0.46	0.50	0.52
0 - 0 - 0	0.20	0.24	0.28	0.30	0.34	0.37	0.39	0.42	0.44

Таблиця 3.3 - Коефіцієнт відбиття кімнати: на основі кольору або прозорості різних частин кімнати

Колір або прозорість	світлий	середній	темний
Відображення стіни	50% (0.5)	30% (0.3)	10% (0.1)
Відбиття підлоги	70% (0.7)	50% (0.5)	20% (0.2)
Відбиття стелі	70% (0.7)	50% (0.5)	20% (0.2)

Таблиця 3.4 - Коефіцієнт обслуговування: на основі різних умов навколишнього середовища

Екологічний стан	Коефіцієнт обслуговування
Чистий	0.9
Середній	0.8
Брудний	0.7

Наша будівля містить аудиторії та офіси. Враховуючи цей факт, відповідно до табл.3.5, необхідна цільова яскравість на робочих площинах повинна бути від 250 до 500 люкс.

Тестовий кейс (простір), на якому ми зосереджуємося, це один з офісів кампусу SENART UPEC. У цій будівлі знаходиться офіс лабораторії LISSI. Розмір

кімнати  $4,5 \times 12,6 \times 3$  (ширина  $\times$  довжина  $\times$  висота). Робоча площа по висоті столу 80 см. Тобто висота від освітлювального елемента до робочої площини становить 220 см. Щоб знайти  $N$ , перш за все, необхідно вказати цільову яскравість та індекс кімнати (RI). Цільову яскравість вибрано 300 люкс, що знаходиться в діапазоні необхідної інтенсивності освітлення для офісів і класів. Індекс приміщення лабораторії LISSI дорівнює 1,5 на основі рівняння (3.2). На цьому етапі, на основі індексу кімнати та коефіцієнта відбиття приміщення табл.3.3., коефіцієнт використання тестового випадку можна вибрати з табл.3.2. Коефіцієнт відбиття приміщення відповідно для стелі, стін і підлоги становить 70, 50 і 20. Як а внаслідок цього коефіцієнт використання дорівнює 0,51. Коефіцієнт обслуговування вибрано середнім (0,8) табл.3.4. З огляду на рівняння (1)  $N$  для лабораторії LISSI, яка є нашим тестовим випадком, становить 8,6. Відповідно до цього результату кількість LE можна вибрати 8 або 9. Якщо вибрано 9, інтенсивність світла буде вищою за цільову яскравість, а у випадку 8 вона може бути трохи нижчою за цільову яскравість. Однак, згідно з табл.3.1., яка показує рекомендований діапазон (250-500), кількість 8 LE також є прийнятною. Як інший приклад, якщо інтенсивність світла була високою (значення між 400-500), як-от 420 люкс, тоді відповідно до методу люменів  $N$  дорівнює 12,1 і, як зазначено вище, для 8 LE, у цьому випадку 12 LE також прийнятно.

Щоб визначити, чи є результати методу Lumen і якість LE енергоефективними чи ні, результат повинен відповідати цільовому коду «Середньої встановленої щільності потужності» (AIPD) «Chartered Institution of Building Services Engineers» (CIBSE). Він котирується в термінах  $Wm^2$  для ряду ситуацій і освітленості. У наступному рівнянні та таблиці показано цільові значення CIBSE для люмінесцентних тропосферних ламп у комерційних будівлях.

$$AIPD = \frac{P_L \times N}{A} \quad (3.3)$$

де:

$P_L$  - загальна потужність світильників (ват);

$N$  – кількість світильників;

$A$  - розмір площі простору ( $m^2$ ).

Таблиця 3.5 - Цільовий код CIBSE для середньої встановленої щільності потужності

Тип лампи	Яскравість (LUX)	Середня встановлена потужність (Вт/м <sup>2</sup> )
Люмінесцентний – трифосфор	300	7
Люмінесцентний – трифосфор	500	11
Люмінесцентний – трифосфор	700	17

Враховуючи цей факт і відносно 8 і 12 номерів LE для тестового випадку з різною інтенсивністю освітлення, середні встановлені щільності потужності дорівнюють 8,6 і 12,9 відповідно. Це означає, що для тестового випадку кількість 8 LE більше відповідає цільовому коду CIBSE, оскільки встановлена щільність потужності для 12 LE трохи вища, ніж цільовий код CIBSE, порівняно з 8. Результат цільового коду CIBSE також підтверджує перевагу 8 і 12 LE перед 9 і 13 LE відповідно, як обговорювалося раніше в цьому розділі. У випадку, якщо встановлена щільність потужності була настільки вищою, ніж цільовий показник коду CIBSE, LE повинен замінити її більш ефективними або знайти інше рішення для підвищення ефективності.

Відповідно до методу Lumen, кількість LE для тестового випадку була розрахована для двох різних інтенсивностей світла, і це показало, що кількість 8 LE є більш правильною для отримання візуального задоволення, а також ефективної системи, заснованої на цільовому коді CIBSE. Запропонований підхід методом Люмена є надійним. Завдяки кільком залученим факторам для розрахунку кількості LE, а також остаточного тесту цільового коду CIBSE. Однак проект розміщення LE в просторі залишається під питанням. Це може підвищити продуктивність системи освітлення.

### 3.3 Моделювання дизайну розміщення освітлювальних елементів

Розміщення LE у кожному просторі може відігравати важливу роль у багатьох аспектах. Це може забезпечити користувачеві візуальний комфорт і, крім

того, зменшити споживання електроенергії. Зважаючи на цей факт, ми збираємося знайти відповідну архітектуру розміщення освітлення, визначаючи та симулюючи різні сценарії в програмному забезпеченні DIALux для тестового випадку в попередньому розділі. Метою цього кроку є аналіз і виявлення найкращої відповідності архітектури для розміщення LE. На рис.3.3 та 3.4. представлено кімнату і стіл, за яким працюють у 3D і 2D відповідно. Щоб розпочати моделювання, слід встановити кілька параметрів щодо архітектури приміщення (розмір, вікна тощо), географічного положення місця (розташування, час тощо).

Програмне забезпечення DIALux може автоматично запропонувати проект розміщення LE на основі визначених користувачем параметрів, згаданих раніше. Однак, щоб перевірити кілька дизайнів розміщення LE і знайти найкращу відповідність, було зроблено кілька симуляцій.

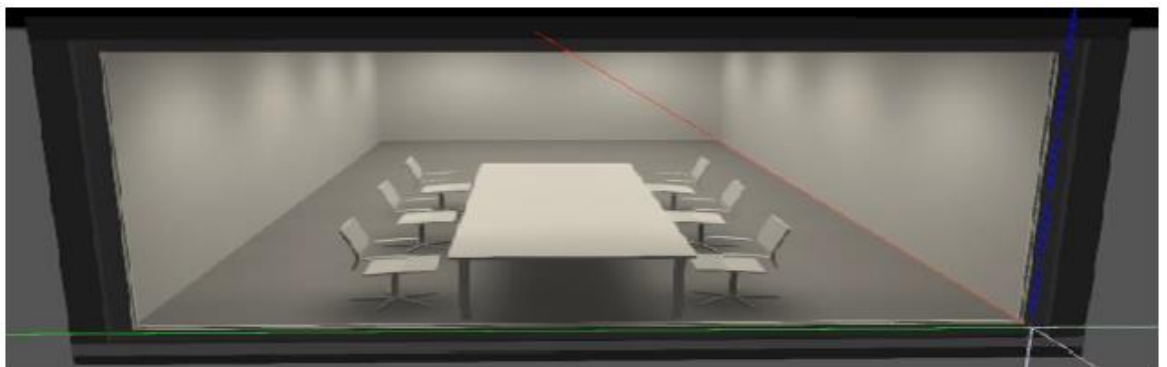
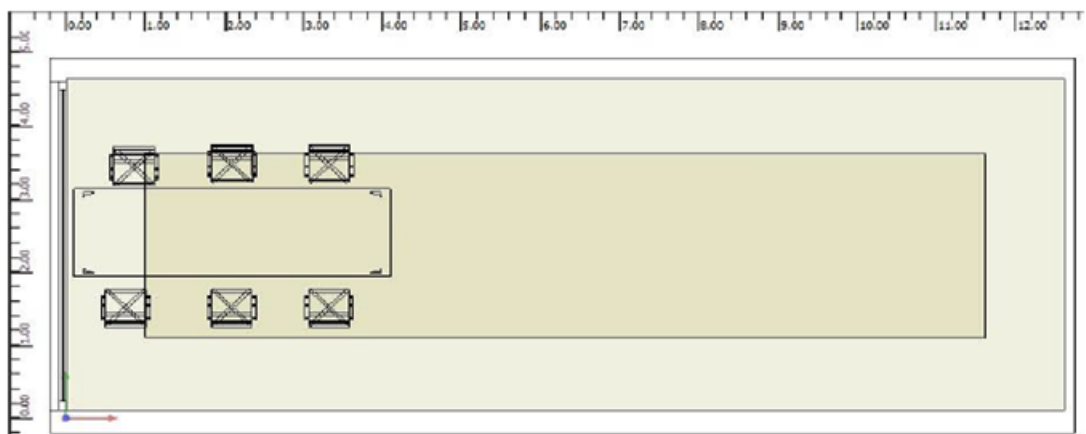


Рисунок 3.3 - Моделювання лабораторії LISSI у 3D за допомогою DIALux



Риснок 3.4 - Архітектура лабораторії LISSI та відповідний вимір у 2D від DIALux

Враховуючи результати методу люменів, відповідне число LE становить 8 для досягнення бажаної інтенсивності світла (300 люкс) і 12 для отримання інтенсивності світла 420 люкс на робочих площинах. Дотримуючись цього підходу, виконується кілька моделювань з різною цільовою інтенсивністю світла та різною архітектурою розміщення LE:

1. Моделювання паралельної архітектури з 12 LE.
2. Моделювання лінійної архітектури з 8 LE.
3. Моделювання паралельної архітектури з 8 LE.

На рис.3.5. показано архітектурний дизайн LE, коли цільову інтенсивність світла вибрано 420 люкс (рекомендована архітектура дизайну DIALux також є паралельною архітектурою з 12 LE). Ширина та довжина кімнати розділені на три рівні ряди та 4 рівні стовпці, від центру до центру, відповідно для розміщення LE.

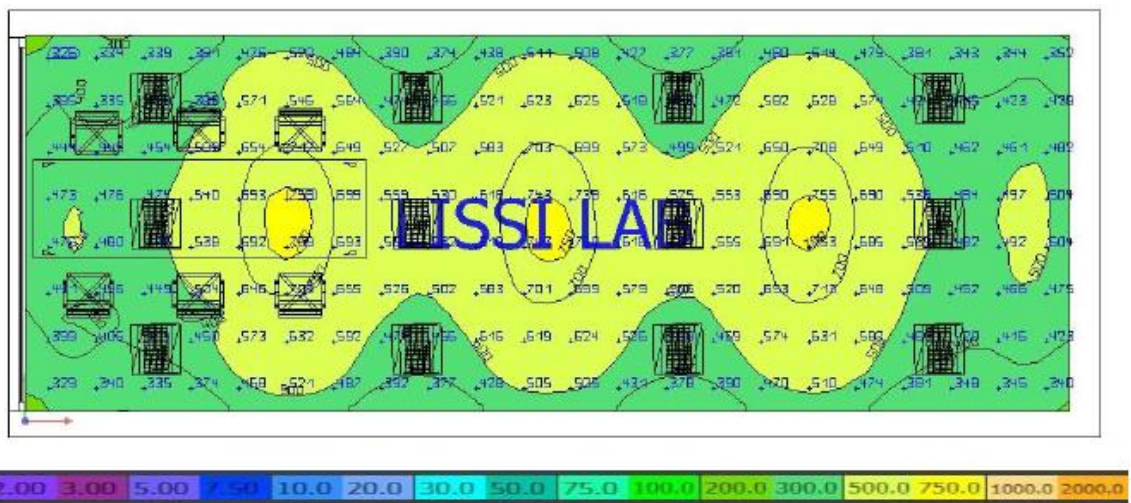


Рисунок 3.5 - Паралельна архітектура з 12 LE без урахування зовнішнього освітлення

Це видно в різних частинах кімнати, інтенсивність світла різна, однак DIALux запропонувала середню інтенсивність світла в кімнаті. Відповідно до звіту моделювання, запропонованого програмним забезпеченням, середня інтенсивність світла становить 518 люкс. Це значення перевищує максимально бажану ціль (цільову яскравість в офісних приміщеннях). Слід також зазначити, що 12 LE не може поважати цільовий код CIBSE.

Слід зазначити, що вищезазначений результат є у випадку, коли вплив зовнішнього світла не враховується при моделюванні.

У другому моделюванні лінійна архітектура розроблена згідно з обчисленнями у попередньому розділі (8 LE для 350 інтенсивності світла). На рис.3.6. показано вплив лінійної архітектури на іншу частину простору.

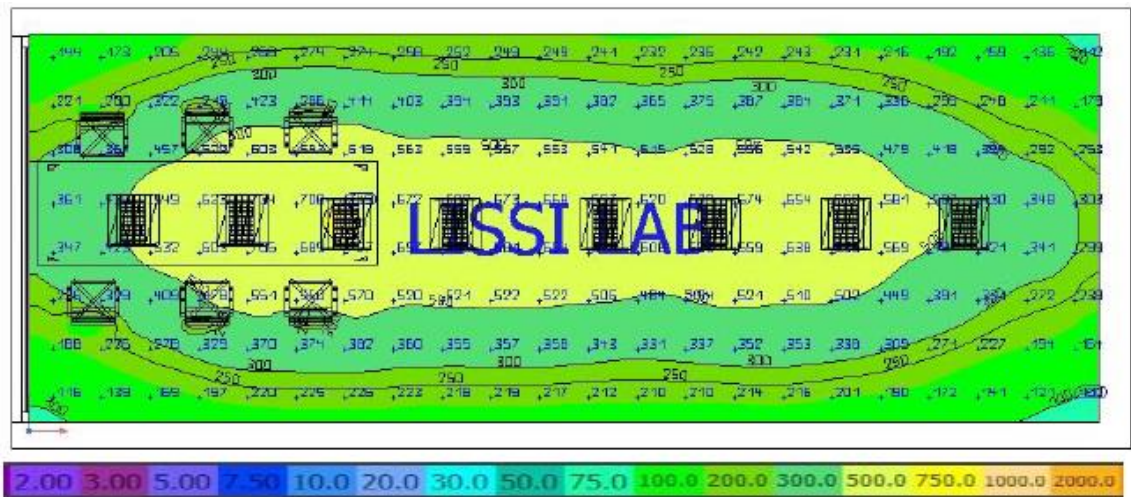


Рисунок 3.6 - Лінійна архітектура з вісьмома елементами освітлення без урахування зовнішнього світла

Результат, отриманий програмним забезпеченням, показує, що середня інтенсивність світла становить 393 люкси, що перевищує бажану інтенсивність світла. На рисунку видно, що фокус інтенсивності світла в центрі простору (перше коло) є високим, хоча раптово інтенсивність світла падає на 150-200 люкс у другому колі порівняно з центральним колом і третім колі порівняно з друге коло. Дійсно, розсіювання світла в лінійній архітектурі не підходить для іншої частини простору. Що стосується паралельної архітектури 12 LE від DIALux для цільової інтенсивності світла 420 люкс, розсіювання світла паралельно демонструє кращу продуктивність. У зв'язку з цим шляхом заміни лінійної архітектури на паралельну архітектуру виконується інше моделювання. Ширина кімнати поділена на два рівні ряди, а довжина розділена на 4 рівні стовпці для розміщення LE. Рисунок 3.7. ілюструє результат моделювання паралельної архітектури. Слід зазначити, що



рекомендована архітектура DIALux, тоді як цільова інтенсивність світла встановлена на рівні 300 люкс, є тією самою (паралельна архітектура з 8 LE).

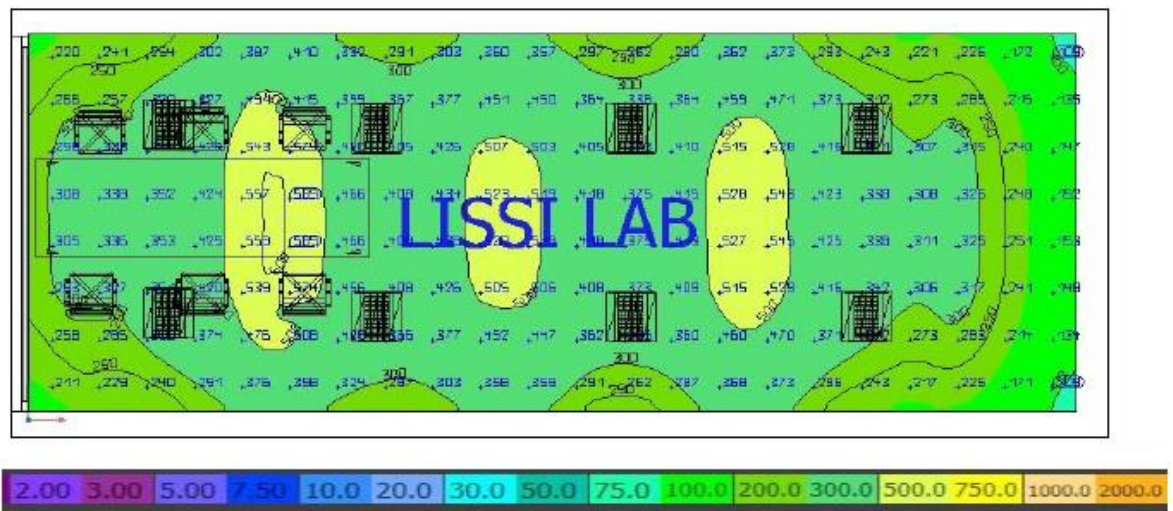


Рисунок 3.7 - Паралельна архітектура з вісьмома елементами освітлення без урахування зовнішнього світла

У згаданій вище конструкції середня інтенсивність освітлення становить 361 люкс. Результат показує, що інтенсивність світла знаходиться в діапазоні бажаної цільової інтенсивності освітлення для офісів (від 250 люкс до 500 люкс) і вища за бажану інтенсивність світла, вибрану для моделювання (300 люкс). Розсіювання світла в порівнянні з лінійною архітектурою показує набагато кращу продуктивність.

Попереднє моделювання, як згадувалося раніше, стосувалося випадків, коли зовнішнє світло не враховувалося. Однак, серед них, паралельна архітектура з 8 LE ілюструє більш задовільне середовище та середнє задоволення від освітлення, дотримуючись цільового коду CIBSE. Для того, щоб мати кращу перспективу різних запропонованих архітектур, наступне моделювання виконується там, де зовнішнє світло впливає на простір під час моделювання. Час симуляції - опівдні. Симуляції для запропонованих архітектур виконуються в різних зовнішніх освітлювальних приладах. Рис.3.8. є зразком вищезгаданого моделювання. Це показує, як середнє денне світло може вплинути на інтенсивність світла в паралельній архітектурі з 8 LE (тоді як LE працює на номінальній потужності). У

таблиці 9 показано результати моделювання за середнього денного та похмурого денного світла, де потужність LE регулювалася від 0 до 100% від номінальної потужності.

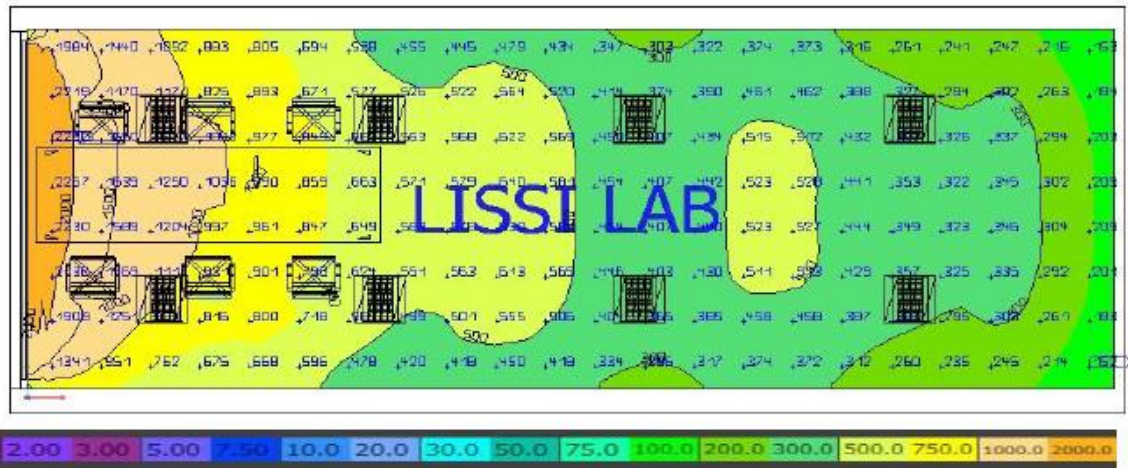


Рисунок 3.8 - Паралельна архітектура з вісьмома освітлювальними елементами (поки вони працюють на номінальній потужності) і враховує зовнішнє освітлення. (смужка ілюструє інтенсивність світла в кольорах і в люксах)

Таблиця 3.6 - Яскравість при похмурому та середньому денному світлі для різної потужності елементів освітлення та різних архітектур

Потужність (%)	Яскравість при середньому денному світлі (LUX)			Яскравість при денному похмурому світлі (LUX)		
	Паралель-8 LE	Паралель-12 LE	Лінія	Паралель-8 LE	Паралель-12 LE	Лінія
100	620	779	651	563	723	594
90	584	727	612	527	671	555
80	548	676	573	491	619	516
70	512	624	534	456	567	477
60	477	572	495	420	515	438
50	441	520	456	384	464	399
40	405	468	417	348	412	360
30	369	417	378	312	360	322
20	333	365	339	276	308	283
10	297	313	300	241	256	244
0	261	261	261	205	205	205

Середня інтенсивність світла для всіх випадків, при роботі LE на номінальній потужності, становить понад 500 люкс. Показує вдень, LE має працювати на

менших потужностях. У разі середнього денного світла та паралельної архітектури з 8 LE, LE може працювати від 0 до 70% номінальної потужності, щоб задовольнити потребу цільової яскравості для різних типів офісів (діапазон від 250 до 500 люкс для офісів), тоді як відповідно для лінійної архітектури та паралельної архітектури з 12 LE діапазон затемнення LE може складати від 0 до 70% і від 0 до 50% номінальної потужності. Крім того, у похмурий день діапазон затемнення для лінійної архітектури та паралельної архітектури з 8 LE має становити відповідно від 20 до 80% і від 20 до 90% номінальної потужності, а з огляду на паралельну архітектуру з 12 LE цей діапазон має бути від 10 до 60% від номінальної потужності, щоб задовольнити потребу цільової яскравості.

В обох випадках (середнє денне світло та похмуре денне світло) діапазон затемнення для лінійної архітектури та паралельної архітектури з 8 LE майже однаковий у кожному випадку. Однак слід ще раз зазначити, що розсіювання яскравості в лінійній архітектурі в порівнянні з паралельною архітектурою з 8 LE не є задовільним. Крім того, відповідно до методу Lumen і цільового коду CIBSE відповідна кількість LE для тестового випадку становить 8. Це показує, що паралельна архітектура з 8 LE має переваги над паралельною архітектурою з 12 LE. Слід ще раз відзначити, що паралельна архітектура з 12 LE у разі відсутності денного світла має середню інтенсивність світла в діапазоні від 250 до 500 люкс. Це ще раз підтверджує, що ця кількість LE не підходить для вищезгаданого тестового випадку.

Підводячи підсумок, можна сказати, що результат моделювання паралельної архітектури з 8 LE у прикладі демонструє її переваги перед іншими архітектурами. Це вказує на те, що у випадку відсутності денного світла візуальне задоволення досягається під час роботи LE з номінальною потужністю, а у разі наявності денного світла інтенсивність світла майже у всіх випадках, коли потужність LE перевищує 20, перевищує бажану. Функціональні можливості технології DALI для керування затемненням LE в різних умовах освітлення в приміщеннях можуть ідеально відповідати представленому дизайну архітектури розміщення освітлення з метою економії енергії. Відповідно до цього факту LE розділено на дві групи

DALI (кожна група містить чотири LE) у вищезгаданому прикладі. Два PD і LD відповідають за керування кожною групою LE у згаданому прикладі, щоб забезпечити гармонізацію візуального задоволення, а також енергоефективне освітлювальне середовище в різних умовах освітлення.

У наступному розділі, по-перше, ми збираємося перевірити моделювання, а по-друге, перевіривши підхід на реальній будівлі, буде відзначено ефективність і продуктивність проектування архітектури розміщення освітлення разом із технологією DALI, а результати будуть оцінити.

### **3.4 Перевірка отриманих результатів та їх оцінка**

#### **3.4.1 Перевірка симуляції**

Перед валідацією запропонованого підходу до проектування всієї системи необхідно перевірити моделювання та дати основу для порівняння розробки з реальністю. У зв'язку з цим розглядається експериментальний протокол. Експериментальний протокол був виконаний на основі експериментальної оцінки за участю «офісної кімнати» цільової будівлі (тобто будівлі А) Campus de Senart. Це невеликий офіс на першому поверсі корпусу А. Висота цього приміщення 3 метри, ширина 3,5 метри і довжина 6 метрів. Розглянута кімната обладнана двома освітлювальними елементами, одним PD і одним LS. Відповідно до запропонованої архітектури SBEMS у розділі 2.4, LE можна керувати через ПЛК. Ми збираємося провести кілька експериментів у цьому офісі: у симуляції та в реальності, щоб отримати характеристику LE в обох випадках. Після цього, відповідно до отриманої характеристики LE, ми можемо порівняти результати, щоб підтвердити моделювання.

Передбачається вивчити вплив висоти на інтенсивність освітлення робочої площини. Отже, розглядаються три різні робочі площини з трьома різними висотами. Їх висота до стелі становить відповідно 230 см, 140 см і 100 см. Що стосується вищезазначеного протоколу, щоб отримати характеристику кожного

LE, ефект денного світла опускається, і лише один із LE має працювати. Завдяки цьому всі двері та всі вікна закриті. На рис.3.9. показана двовимірна архітектура офісної кімнати.

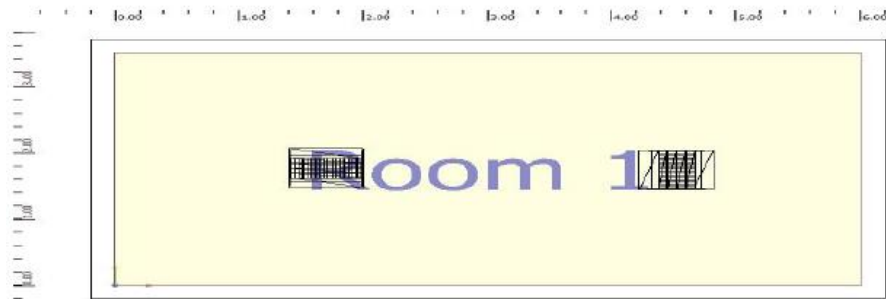


Рисунок 3.9 - Архітектура місць освітлення та розмір офісного приміщення в 2D

Що стосується експерименту, насправді потужність LE поступово збільшувалася від 0 до 100. На кожному кроці, використовуючи LUX-метр, яскравість записується точно під LE на робочій площині для трьох різних вищезгаданих висот. Табл.3.7., рис.3.10. і рис.3.11. ілюструють дані запису та результати щодо експерименту в реальності.

Табл.3.7. показує, що приріст і декремент потужності LE призводить до збільшення і зниження інтенсивності світла на робочій площині відповідно. Цей факт суперечить відстані LE до робочої площини та відповідній інтенсивності світла. Щоб було зрозуміліше, інтенсивність світла на поверхні є функцією висоти та потужності LE. він має пряме відношення до потужності LE і протилежне відношення до висоти. На рис. 3.10. показано співвідношення між яскравістю на робочій площині та потужністю LE щодо трьох різних висот (відстань робочої площини до стелі). На рис.3.11. показано співвідношення між висотою та яскравістю на робочій площині, коли LE працюють на 100 відсотків своїх потужностей.

$$L = f(H, P)$$

$$\uparrow \text{Потужність} \rightarrow \uparrow \text{Яскравість} \quad (3.4)$$

$$\uparrow \text{Висота} \rightarrow \uparrow \text{Яскравість}$$

Де L — яскравість, H — висота LE від робочої площини, а P — потужність LE.

Таблиця 3.7 - Співвідношення між потужністю світла – висотою та Яскравістю

Висота (см)	230	140	100
Потужність (%)	Яскравість 1 (LUX)	Яскравість 2 (LUX)	Яскравість 3 (LUX)
10	20	50	100
20	40	98	205
30	60	143	330
40	80	193	440
50	108	240	500
60	120	270	600
70	150	340	740
80	170	370	820
90	185	405	905
100	207	445	995

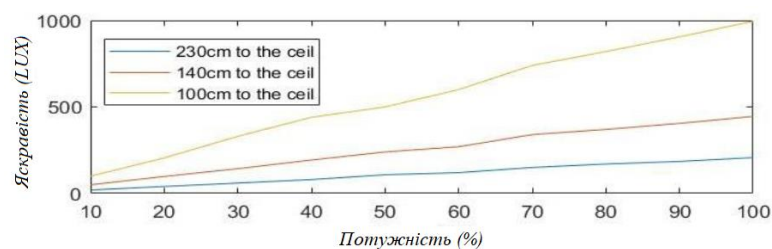


Рисунок 3.10 - Співвідношення між яскравістю та потужністю LE у трьох різних висотах до стелі (висота жовтого = 100 сантиметрів, висота червоного = 150 сантиметрів і висота синього = 230 сантиметрів)

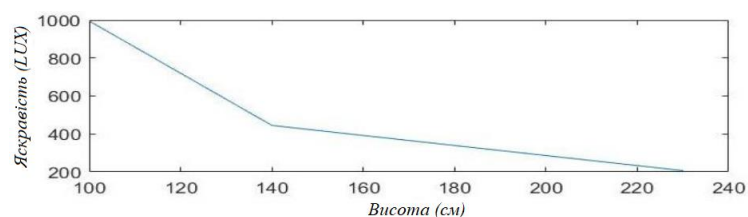


Рисунок 3.11 - Співвідношення між висотою та яскравістю, коли потужність ламп становить 100 відсотків



За такого ж підходу експерименти в реальності моделюються в DIALux. На рис.3.12. показано зразок результатів моделювання, коли висота становить 140 сантиметрів, тоді як потужність LE встановлена на 100% (номінальна потужність). Передбачається, що денного світла немає, як експерименти з реальністю. Нарешті, табл.3.8. показує результат моделювання та реальність, коли LE працює на номінальній потужності на трьох різних відстанях між робочою площиною та LE.

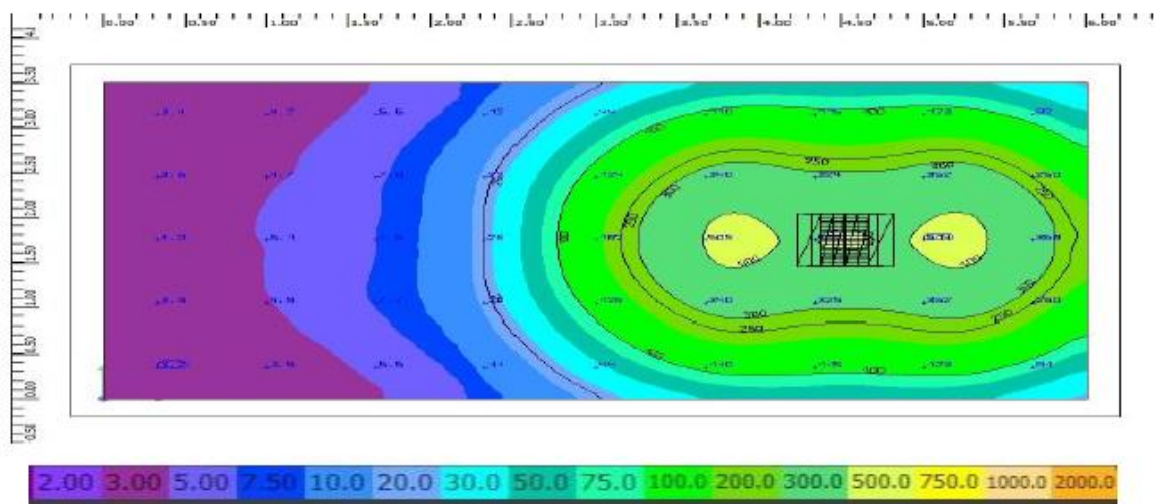


Рисунок 3.12 - Результат моделювання

Таблиця 3.8 - Співвідношення між відстанню робочої площини до стелі та яскравістю під час моделювання та експерименту, де LE працює на номінальній потужності на трьох різних висотах до стелі

Висота (CM)	230	140	100
Яскравість в реальності (LUX)	207	445	995
Яскравість в SIM (LUX)	200	499	946

У цьому розділі було проведено експеримент відповідно до згаданого протоколу. Мета протоколу полягала в тому, щоб отримати характеристику окремого LE в симуляції та в реальності. Нарешті, результат моделювання та реальність на основі отриманої характеристики LE порівнюються з метою

перевірки результатів моделювання. Валідація результату моделювання призведе до узагальнення запропонованого підходу проектування архітектури розміщення освітлення в реальній будівлі. Завдяки цьому факту, враховуючи три різні висоти між LE та робочою поверхнею, можна отримати інтенсивність світла на робочій площині, а характеристика LE ілюструється моделюванням і реальністю. В обох випадках отримані результати щодо інтенсивності світла на робочій площині мають однаковий підхід: зі збільшенням висоти LE до робочої площини інтенсивність світла зменшується, а зі зменшенням висоти – збільшується. Що стосується впливу потужності LE, то падіння потужності призводить до зменшення інтенсивності світла, а підвищення потужності призводить до стрибків інтенсивності світла на робочій площині. Невеликі відмінності між симуляцією та експериментом є цікавою частиною результату, який проілюстровано в табл.3.8. Вона показує, що результат моделювання надійний щодо дизайну архітектури розміщення LE. Запропонований протокол для знаходження характеристики LE в моделюванні та реальності був ефективним. У ньому було чітко розглянуто відмінності між реальністю та симуляцією та було основою для оцінки та перевірки симуляції. Зважаючи на цей факт, у наступному розділі ми прагнемо пояснити протокол щодо валідації запропонованого підходу в кампусі SENART UPEC. Ми збираємося представити протокол і крок за кроком оцінити відповідні результати.

### **3.4.2 Результати та оцінка досліджуваної системи освітлення в будівлі**

В даному підрозділі представлено надійність обраного підходу шляхом перевірки моделювання. Будівля А включає кілька офісів і класів. Розмір кожної кімнати різний. Крім того, через обладнання та властивості кожного простору (наприклад, колір стін, стелі та підлоги тощо), параметри щодо розрахунку кількості LE за методом Lumen та дизайну розміщення LE від DIALux відрізняються. Як наслідок, для перевірки та оцінки підходу ми стикаємося зі складною системою з різними властивостями. Завдяки потужній системі моніторингу SBEMS ми можемо записувати та зберігати дані, що стосуються



потужності LE та яскравості кожного простору. Це дозволяє проаналізувати функціонування кожного окремого простору в будівлі А. З огляду на цей факт ми збираємося визначити протоколи та вивчити підхід з різних точок зору: адаптивність системи в різних умовах простору, енергоефективність та комфорт користувача.

**Адаптивність запропонованої системи освітлення.** Для оцінки адаптивності запропонованої системи освітлення в різних умовах ми збираємося проаналізувати відповідні записані дані однієї з класних кімнат під час експерименту. Дані запису стосуються LS та PD у класі на третьому поверсі протягом 8 годин. Він записується з 12:30 до 20:30. З 13:30 до 17:30 була людська діяльність.

Оскільки на рис.3.13. показано обхід часу, коли освітлення збільшується, а потім зменшується, це відбувається через коливання денного світла. На ньому видно, що LS, закритий до вікон, вловлює більше світла, ніж той, що знаходиться далеко від вікон. У зв'язку з цим потужність LE для закритих до вікон груп освітлення менше, ніж для далеких від вікон. На рис.3.14. показана потужність LE протягом цього періоду.

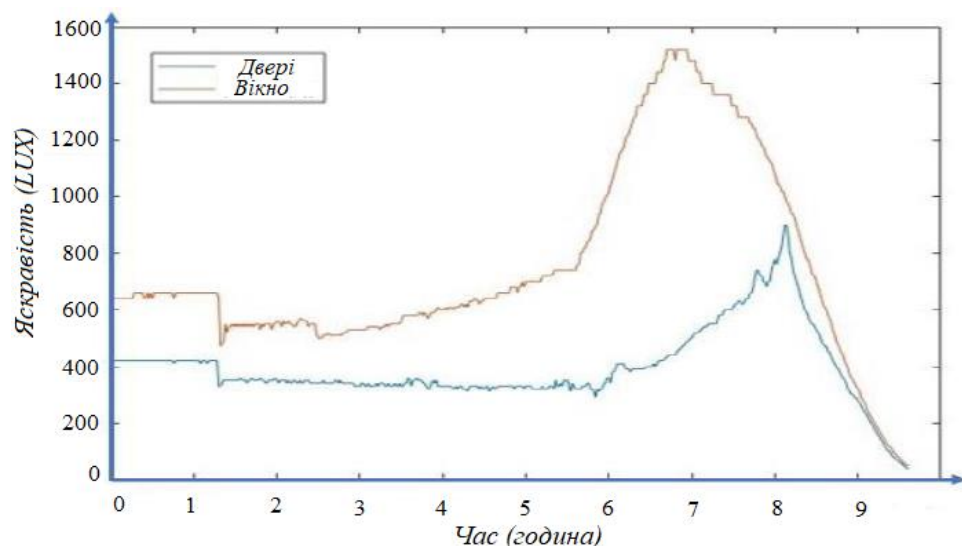


Рисунок 3.13 - Виявлена яскравість LS протягом 8 годин (з 12:30 до 20:30) для двох груп освітлення (одна група біля вікон (червона), одна група біля дверей (синя))

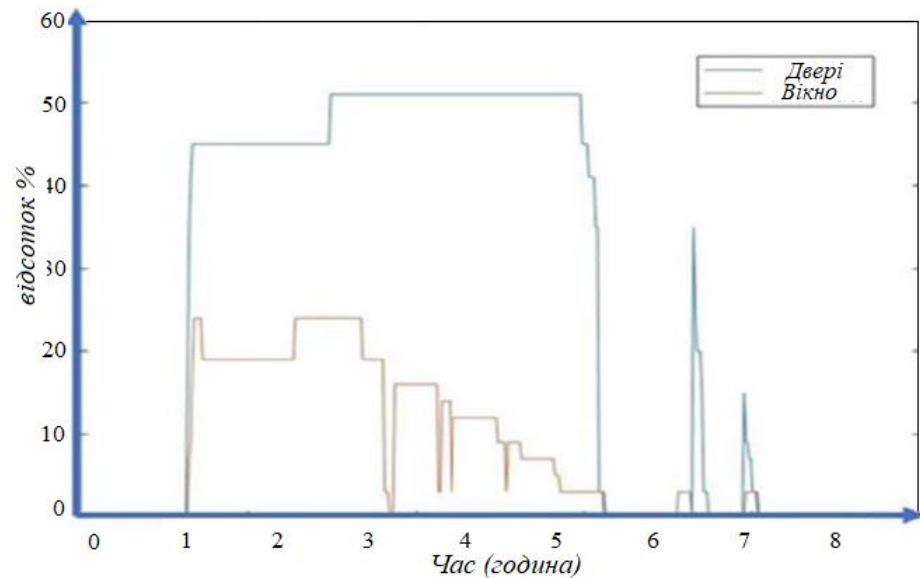


Рисунок 3.14 - Потужність елементів освітлення протягом 8 годин (з 12:30 до 20:30) для двох груп освітлення (одна група біля вікон (червоний), одна група біля дверей (синій))

DALI як технологія освітлення демонструє свої потужні функціональні можливості в разі керування освітленням LE в різних умовах. Функція контролю DALI щодо регулювання LE за допомогою головного модуля DALI/DSI активується, коли PD виявляє присутність користувача. Відповідно до даних про яскравість, наданих LS, LE регулюється (затемнення). LE під час вищезазначених експериментів відповідно до різного зовнішнього освітлення ідеально регулюється, щоб утримувати яскравість у приміщенні в діапазоні цільової яскравості. Запропонована система освітлення, яка дозволяє адаптивно керувати LE, поряд з дизайном архітектури LE забезпечує візуальний комфорт користувача, оскільки забезпечує належну освітленість на робочій площині з хорошим розсіюванням світла. Однак, щоб отримати переваги вищезазначених функцій адаптації у випадку енергозбереження, у наступному розділі ми збираємося представити протокол для оцінки енергозберігаючої потужності запропонованої системи.

**Енергоефективність запропонованої системи освітлення.** Що стосується оцінки енергозбереження системи, було обрано 9 різних просторів з різними розмірами та властивостями. Ці приміщення включають класні кімнати та офіси середнього, великого та малого розмірів. Розподіл даних проводився випадковим

чином у різний час доби в різні місяці року. У кожному випадку три години даних вибираються як зразок, коли є активність користувача. Загальна кількість зразків становить 20. Нарешті, споживання енергії на основі потужності затемнення LE розраховується для кожного зразка та порівнюється з системою освітлення On/Off. У системі освітлення On/Off LE під час присутності людей працює на 100% від номінальної потужності, а за відсутності присутності вимикається. Завдяки цьому факту розраховується споживання енергії щодо системи освітлення On/Off, і відповідно до рівняння (3.4) оцінюється енергозбереження для кожного зразка.

На останньому кроці обчислюється стандартне відхилення щодо енергозбереження зразків, щоб оцінити та виміряти величину варіації енергозбереження. Це допомагає отримати перспективу загального енергозбереження запропонованої системи освітлення в будівлі А. На рис.3.15. показана гістограма енергозбереження запропонованої системи адаптивного освітлення в порівнянні з системою керування освітленням увімкнення/вимкнення для кожного зразка. Він також показує відповідне стандартне відхилення.

$$\begin{aligned} \text{Electrical energy saving} &= \\ &= \left(1 - \frac{\text{Electrical energy consumption}_{\text{Dimming}}}{\text{Electrical energy}_{\text{on/off}}}\right) \times 100 \end{aligned} \quad (3.4)$$

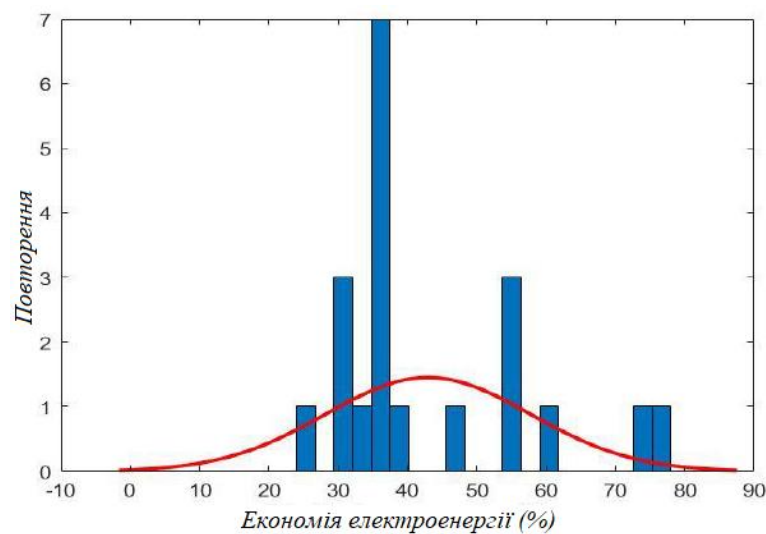


Рисунок 3.15 - Гістограма економії електроенергії в двадцяти різних зразках (вісь X – економія електроенергії, а вісь Y показує повторення економії електроенергії у вибірках)

Згідно з рис.3.15., середнє енергозбереження становить 42,95 відсотка, а на основі стандартного відхилення, яке становить 14,85, поширення економії електроенергії становить від 28,1 до 57,8 відсотка. У деяких випадках система економить до 80% енергії. Однак 7 повторів 38% енергозбереження показують найчастіший відсоток у 20 зразках. Дана конструкція системи освітлення в найгіршому випадку показує 26% економії енергії, що дуже цікаво, якщо розглядати її у більшому масштабі, ніж просто будівлю. Запропонована методологія проектування та впровадження системи освітлення в будівлях показує її ефективність для енергозбереження з урахуванням комфорту користувача. У всіх приміщеннях система адаптивного освітлення забезпечує візуальний комфорт, дотримуючись бажаної інтенсивності світла на робочих площинах, на основі табл.3.1. Збереження більшої кількості енергії при повазі до комфорту користувача призведе до зниження вартості енергії.

## ВИСНОВКИ

У наш час через тенденції енергоспоживання та обмеження ресурсів для отримання енергії цінним є правильне ставлення до неї.

Удосконалення технологій Інтернету речей і обчислювальної підтримки надзвичайно допомагають дослідникам підвищити енергоефективність деталей з великим споживанням енергії. Як підкреслюється в дослідженнях, будівлі є однією з частин з високим енергоспоживанням, а пов'язані з SBEMS технології знаходяться в стадії розробки. У зв'язку з цим, ця магістерська робота була зосереджена на дослідженні реалізації інтелектуальних систем енергозбереження будівель за допомогою методів і технологій інтелектуального середовища.

У першому розділі проведено аналіз системи енергоменеджменту розумних будівель. В першу чергу наведено результат досліджень в даній області та виконано порівняння технологій, на базі яких реалізується система «Розумний будинок». Виконано аналіз інтелектуальної системи освітлення.

У другому виконано дослідження реалізації багаторівневої системи управління енергією в розумних будівлях SBEMS, заснована на датчиках і різних технологіях, спрямована на точне самоусвідомлення навколишнього середовища та внутрішнього стану будівлі.

Проведено аналіз особливостей інтеграції системи освітлення в архітектуру системи енергозбереження розумних будівель та наведено приклад реалізації досліджуваної багаторівневої архітектури з її технічними складовими.

Впроваджена SBEMS надає користувачеві:

1. Гнучке програмне та апаратне середовище для модифікації або доступу до різних частин системи.
2. Широко відкриті для різноманітних інших технологій і обладнання.
3. Потужна система моніторингу та обізнаності користувачів.
4. Потужний інтерфейс користувача.

Для контролю та моніторингу систем освітлення запропоновано використовувати програми: TopKapi та Codesys. Досліджувана архітектура

демонструє високу ефективність моніторингу та збору даних і служить не тільки автоматизованою системою для управління будівлею, але й потужною платформою для подальших досліджень.

У практичній частині досліджено особливості проектування, впровадження та перевірки системи адаптивного освітлення в п'ятиповерховій будівлі.

Досліджуваний підхід базується на трьох основних кроках:

1. Вибір відповідної світлотехніки для мережі освітлювальної системи та управління освітлювальних елементів.

2. Підбір оптимальної кількості освітлювальних елементів за люменним методом.

3. Оптимізація проектування архітектури для розміщення освітлювальних елементів у просторі програмним забезпеченням DIALux

Результати, отримані системою моніторингу SBEMS, показують хорошу роботу системи освітлення. У разі функції керування освітленням система освітлення здатна ефективно регулювати потужність LE в різних умовах освітлення (зовнішнє освітлення, відображення об'єктів тощо).

Результати показують високу продуктивність досліджуваної системи освітлення щодо керування затемненням світла порівняно з системою освітлення On/Off. Система освітлення здатна економити енергію в середньому на 42,95% зі стандартним відхиленням 14,85% електричної енергії.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Tianzhen Hong, Feng, W., Lu, A., Xia, J., Yang, L., Shen, Q., Im, P., & Bhandari, M. Building Energy Monitoring and Simulation. January 2018.
2. Attia, E., & Ashour, H. A. Energy Saving Through Smart Home Eng. 2019.
3. Alhamoud, Alaa, Felix Ruettiger, Andreas Reinhardt, Frank Englert, Daniel Burgstahler, B Doreen, Christian Gottron, and Ralf Steinmetz. “An Intelligent System for Energy Saving in Smart Home.” Local Computer Networks Workshops (LCN Workshops), 2019 IEEE 39th Conference, no. September (2019): 685–92.
4. Tomar, A. Introduction to Zibgbee Technology. Global Technology Centre, 1 July 2020, pp. 1–24.
5. Contemporary Control Systems. Introduction To Ethernet. The Extension - A Technical Supplement to Control Network, 2019, pp. 1–6.
6. Rabbit. An Introduction to Wi-Fi. Digi International Corp, USA 2018,pp. 1–74.
7. Barbato, A., Borsani, L., Capone, A., & Melzi, S. (2010). Home energy saving through a user profiling system based on wireless sensors. 2016.
8. Anastasi, G., Corucci, F., & Marcelloni, F. An intelligent system for electrical energy management in buildings. International Conference on Intelligent Systems Design and Applications, 2020, ISDA,pp. 702–707
9. Mataloto, B., Ferreira, J. C., & Cruz, N.. LoBEMS—IoT for Building and Energy Management Systems. Electronics,2019 ,pp. 763.
10. Zualkernan, Imran A, Mohammed Rashid, Ragini Gupta, and Mazin Alikarar. “Smart Home Big Data” 63, no. (4) 2017, pp. 426–34.
11. Gilman, Ekaterina, Satu Tamminen, Rumana Yasmin, Eemeli Ristimella, Ella Peltonen, Markus Harju, Lauri Lovén, Jukka Riekk, and Susanna Pirttikangas. “Internet of Things for Smart Spaces: A University Campus Case Study.” Sensors (Switzerland) 20, no. (13) 2020,pp. 1–29.
12. Jo, H., Yoon,Y. Intelligent smart home energy efficiency model using artificial TensorFlow engine. Human-Centric Computing and Information Sciences, 2018,pp. 1-18.

13. Priyadarshana, H. V. V., Madushanaka, W. K. I., Anuruddha, L. L. L., Chathura, G. T., Hettiarachchi, H. W. D., & Hemapala, K. T. M. U. (2017). Multi-Agent controlled building management system. *Innovations in Power and Advanced Computing Technologies, i-PACT 2017*, 2017-Janua, 1–5.

14. García, Ó., Prieto, J., Alonso, R. S., & Corchado, J. M. A framework to improve energy efficient behaviour at home through activity and context monitoring. *Sensors (Switzerland)*, 2019.

15. eng-feng, L., Yun-ting, B., He, W., & Hu, L. Design of intelligent lighting control system. *IEEE International Conference on Cyber Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems* , 2017, pp. 134–137.

16. Kumar, A., Kar, P., Warriar, R., Kajale, A., & Panda, S. K. Implementation of Smart LED Lighting and Efficient Data Management System for Buildings. *Energy Procedia*, 2017, pp. 173–178.

17. EnOcean Alliance. *EnOcean – The World of Energy Harvesting Wireless Technology*. January, 2016, pp.1–6.

18. S. Kazmi, N. Javaid, M. Mughal, M. Akbar, S. Ahmed, and N. Alrajeh, “Towards Optimization of Metaheuristic Algorithms for IoT Enabled Smart Homes Targeting Balanced Demand and Supply of Energy”, *IEEE Access*, Vol. 7, pp. 24267–24281, 2017.

19. I. Essieta, Y. Suna, and Z. Wang. “Optimized Energy Consumption Model for Smart Home Using Improved Differential Evolution Algorithm”, *Energy*, Vol. 172, pp. 354– 365, 2019.

20. Sedhom, B., et al., "IoT-based Optimal Demand Side Management and Control Scheme for Smart Microgrid", *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, May 2021.

21. Pinzon, J. A., Vergara, P. P., da Silva, L. C. P., & Rider, M. J., "Optimal Management of Energy Consumption and Comfort for Smart Buildings Operating in a Microgrid", *IEEE Transactions on Smart Grid*, Volume: 10, Issue: 3, 2018.

22. Y.Kabalci et al., " Internet of Things Applications as Energy Internet in Smart Grids and Smart Environments", *Electronics* 2019.



23. B. Zhou et al. "Smart home energy management systems: Concept, configurations, and scheduling strategies", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 61, 2016, pp. 30–40/

24. J. Pinzon, P. Vergara, L. Silva, and M. Rider, "Optimal Management of Energy Consumption and Comfort for Smart Buildings Operating in a Microgrid", *IEEE Transactions on Smart Grid*, Vol. 10, no. 3, pp. 3236–3247, 2019.

25. M. F. Zia, E. Elbouchikhi, M. Benbouzid, " Optimal operational planning of scalable DC microgrid with demand response, islanding, and battery degradation cost considerations", *Elsevier Applied Energy*, Volume: 237, March 2019, pp. 695-707.

26. X. Wang, X. Mao, Hossein Khodaei, "A multi-objective home energy management system based on internet of things and optimization algorithms" *Journal of Building Engineering*, Volume 33, January 2021.

27. J. Jaihar, N. Lingayat, P. S. Vijaybhai, G. Venkatesh, and K. P. Upla, "Smart home automation using machine learning algorithms," in *Proceedings of the International Conference for Emerging Technology*, IEEE, Belgaum, India, June 2020.

28. R. Majeed, N. A. Abdullah, I. Ashraf, Y. B. Zikria, M. F. Mushtaq, and M. Umer, "An intelligent, secure, and smart home automation system," *Scientific Programming*, vol. 2020, Article ID 4579291, 14 pages, 2020.

29. Yung-Yao Chen et al., "A Smart Home Energy Management System Using Two-Stage Non-Intrusive Appliance Load Monitoring over Fog-Cloud Analytics Based on Tridium's Niagara Framework for Residential Demand-Side Management", *Sensors* 2021, 21, 2883.

30. M. M. Iqbal, et al., "IoT-Enabled Smart Home Energy Management Strategy for DR Actions in Smart Grid Paradigm", 2021 *International Bhurban Conference on Applied Sciences and Technologies (IBCAST)*, Islamabad, Pakistan1, 2-16 Jan. 2021

## **ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ (Презентація)**

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:  
«ПОБУДОВА ЦИФРОВОЇ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ,  
РЕГУЛЮВАННЯ ТА МОНІТОРИНГУ СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ БУДІВЛІ  
НА ОСНОВІ ІОТ»

здобувач вищої освіти гр.КСДМ-61  
Вадим МІКОЛАЙЧУК  
керівник к.т.н., доцент  
В'ячеслав ЧЕРЕВИК

### МЕТА ТА ЗАВДАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

СЛАЙД 2

*Мета роботи* - дослідження принципів реалізації інтелектуальної системи управління енергією та контролю розумної будівлі.

*Об'єкт дослідження* - процес управління електроенергією в розумних будівлях.

*Предмет дослідження* – системи енергозбереження розумних будівель.

#### ЗАВДАННЯ РОБОТИ:

- аналіз системи енергоменеджменту розумних будівель;
- дослідження реалізації багаторівневої системи управління енергією в розумних будівлях;
- проектування та перевірка системи адаптивного освітлення в розумній будівлі.

### ПОНЯТТЯ ТА ОСНОВНІ ВИЗНАЧЕННЯ СОЦІАЛЬНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

СЛАЙД 3

Табл.1.

	EnOcean	Z-wave or KNX-RF	Zigbee (802.15.4)	Zigbee (802.15.4)	Bluetooth (802.15.1)	WLAN (802.11)
Частота (МГц)	868	868	868	2400	2400	2400
Швидкість передачі даних кбіт/с	125	9.6/20	20	250	720	11.000 -54000
Мінімальна довжина телеграми (мс)	0.6	20	30	4	0.7	-
Необхідна енергія	Надзвичайно низький	Низький	Низький	Низький	Середній	Високий
Базовий рівень навантаження живлячої частоти	Низький	Низький	Низький	Високий	Високий	Високий
Ризик зіткнення даних	Дуже низький	Середній	Середній	Низький	Дуже низький	Високий
Без-батерейний радіо-передавач	Так	Ні	Ні	Ні	Ні	Ні
Витрати життєвого циклу	Дуже добре	Добре	Добре	Добре	Добре	Погане
Опти-маліне рішення для наступних цілей	Бездротова сенсорна система, що не потребує обслуговування	Бездротові сенсорні системи з живленням від батарейок	Бездротові сенсорні системи з живленням від батарейок	Бездротові сенсорні системи з живленням від батарейок	Комп'ютерна мережа з принтерами та КПК	Мережеві комп'ютери

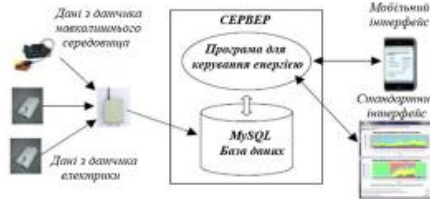


Рис. 1. Приклад архітектури програмного забезпечення



Рис. 2. Приклад архітектури багатоагентної системи

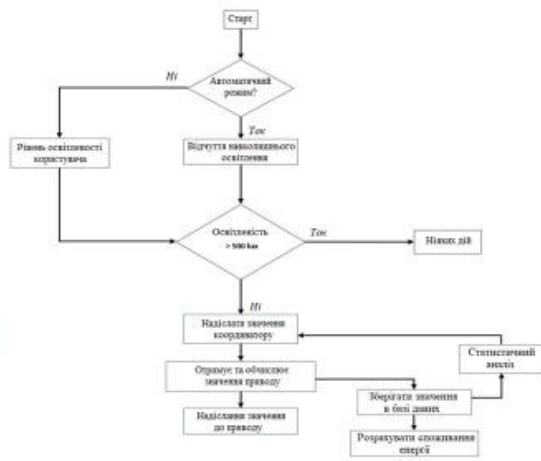


Рис. 3. Блок-схема інтелектуальної системи освітлення

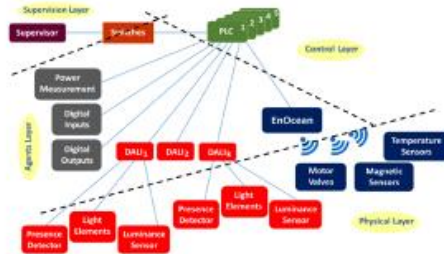


Рис. 4. Блок-схема впровадження, що показує різні рівні та їх компоненти

**Рівень контролю**



Рис. 5. Програмований логічний контролер WAGO-I/O-SYSTEM



Рис. 5. Магнітний датчик

**Фізичний рівень**



Рис. 6. Датчик температури



Рис. 7. Датчик яскравості та присутності

**Агентський рівень**

Рівень агентів містить різні агенти (програми або апарати агентів). Як можна побачити на рис. 4., реалізований AL включає дві групи додаткових агентів, позначених як агенти «DALI» та «EnOcean». Кожна група вищезгаданих агентів інтегрує свої специфічні агенти зв'язку, датчики і пристрої.

**Рівень нагляду**

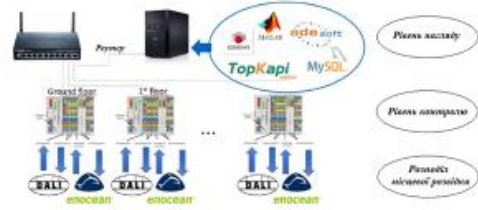


Рис. 9. Властивості рівня нагляду та їх зв'язок із рівнем керування та локальним інтелектом, розподіленим на рівні агента



Рис. 10. Графічна архітектура п'ятиповерхового будинку

Рис. 13. Плата моніторингу ТорКарі



Рис. 11. 3-й поверх будівлі з усією необхідною інформацією



Рис. 12. Класна кімната на 4 поверсі з усією необхідною інформацією

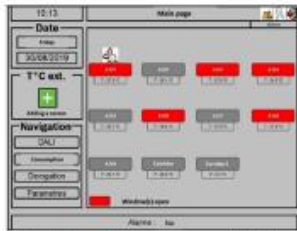


Рис.14 Інтерфейс користувача CodeSys для поверку

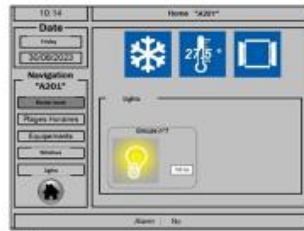


Рис.15.Опис навколишнього середовища кімнати



Рис.16. Відомість освітлювальних приладів

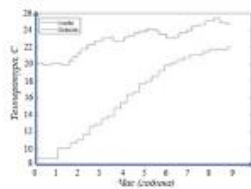


Рис.17. Профілі зміни температури

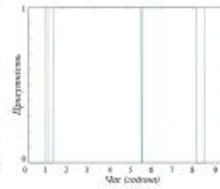
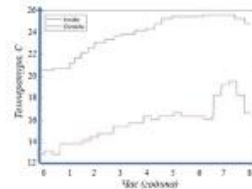


Рис.18.Виявлення присутності та відсутності

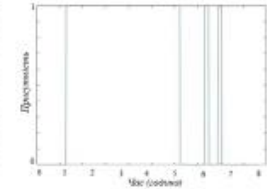


Рис.19. Моделювання лабораторії LISSI у 3D за допомогою DIALux



Рис.20.Архітектура лабораторії LISSI та відповідний вимір у 2D від DIALux



Рис.21.Архітектура з 12 LE без урахування зовнішнього освітлення



Рис.23.Паралельна архітектура з вісьмома елементами освітлення без урахування зовнішнього світла



Рис.22. Лнійна архітектура з 8-а LE без урахування зовнішнього світла



Рис.24. Паралельна архітектура з 8-а з урахуванням зовнішнього освітлення



Рис.25.Архітектура місць освітлення та розмір офісного приміщення в 2D

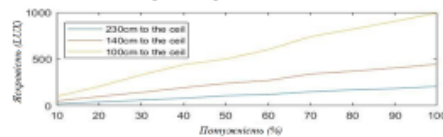


Рис.26.Співвідношення між яскравістю та потужністю LE у трьох різних висотах до стелі

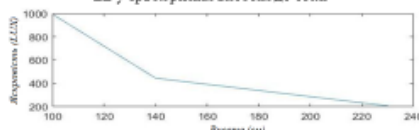


Рис.27. Співвідношення між висотою та яскравістю, коли потужність ламп становить 100 відсотків

Табл.2. Співвідношення між потужністю світла – висотою та яскравістю

Висота (cm)	230	140	100
Потужність (%)	Яскравість 1 (LUX)	Яскравість 2 (LUX)	Яскравість 3 (LUX)
10	25	50	100
20	40	98	205
30	60	143	330
40	80	193	440
50	108	240	590
60	120	270	690
70	150	340	740
80	170	370	820
90	185	405	905
100	207	445	995

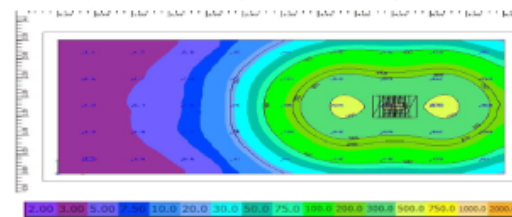


Рис.28.Результат моделювання

Табл.3.Співвідношення між відстанню робочій площині до стелі та яскравістю під час моделювання та експерименту, де LE працює на номінальній потужності на трьох різних висотах до стелі

Висота (CM)	230	140	100
Яскравість в реальності (LUX)	207	445	995
Яскравість в SIM (LUX)	200	490	946



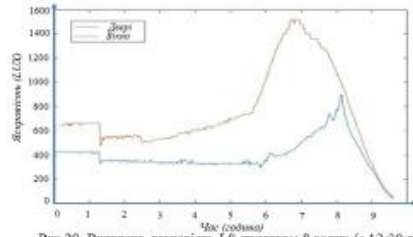


Рис. 29. Виявлена зварність LS протягом 8 годин (з 12:30 до 20:30) для двох груп освітлення (одна група біля вікон (червона), одна група біля дверей (синя))

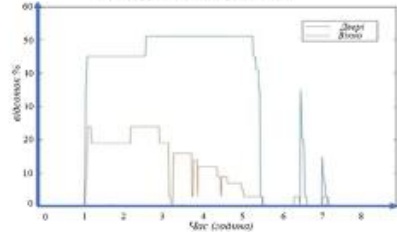


Рис. 30. Потужність елементів освітлення протягом 8 годин (з 12:30 до 20:30) для двох груп освітлення (одна група біля вікон (червоний), одна група біля дверей (синій))

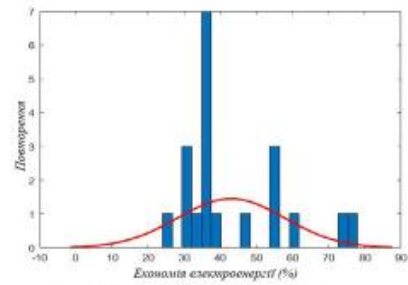


Рис. 31. Гістограма економії електроенергії в двадцяти різних зразках (вісь X – економія електроенергії, а вісь Y показує повторення економії електроенергії у вибірках)

Підводячи підсумки слід зазначити що удосконалення технологій Інтернету речей і обчислювальної підтримки надзвичайно допомагають підвищити енергоефективність деталей з великим споживанням енергії.

Виконуючи поставлені завдання показано важливість питання енергоефективності систем розумного будинку, розглянуті системи енергоменеджменту розумних будівель яка заснована на датчиках і різних технологіях, спрямована на точне самоусвідомлення навколишнього середовища та внутрішнього стану будівлі, та дозволяє користувачеві:

- використовувати гнучке програмне та апаратне середовище для модифікації або доступу до різних частин системи;
- використовувати сучасну система моніторингу що дозволяє контролювати всі показники будинку;

Отримані результати у практичному дослідженні системою моніторингу SBEMS, показують хорошу роботу системи освітлення. У разі функції керування освітленням система освітлення здатна ефективно регулювати потужність LE в різних умовах освітлення

Результати показують високу продуктивність системи освітлення щодо керування затемненням світла порівняно з системою освітлення On/Off. Система освітлення здатна економити енергію в середньому на 42,95% зі стандартним відхиленням 14,85% електричної енергії.