**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**
**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**
**імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Навчально-науковий інститут атомної та теплової енергетики
Кафедра теплової та альтернативної енергетики

«На правах рукопису»
УДК _621.548_____

«До захисту допущено»

Завідувачка кафедри
_____*Ольга ЧЕРНОУСЕНКО*
(підпис) (ініціали, прізвище)

"___"_____2022 р.

# Магістерська дисертація

**на здобуття ступеня магістра**

зі спеціальності *144 «Теплоенергетика»* _____

освітньо-професійна програма «*Енергетичний менеджмент та інжиніринг теплоенергетичних систем»*

на тему: «Аналіз енергетичної ефективності житлової будівлі в США на основі енергетичного моделювання» _____

Виконала: студентка II курсу, групи _ОТ –з11мп_
(шифр групи)

Якименко Олександра Сергіївна
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Керівник ____доцент, к.т.н., доцент Суходуб І.О. _____ _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультанти:

Моделювання енергетичних
процесів і систем _____

Нормоконтроль к.т.н., доцент Шкляр В.І. _____

Рецензент _____ _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент _____ _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.
Студентка _____
(підпис)

Київ – 2022 року

**Національний технічний університет України**
**«Київський політехнічний інститут**
**імені Ігоря Сікорського»**

Інститут **Навчально-науковий інститут атомної та теплової енергетики**

Кафедра **Теплової та альтернативної енергетики**

Рівень вищої освіти **– другий (магістерський)**

Спеціальність ***144 «Теплоенергетика»***

Освітньо-професійна програма ***«Енергетичний менеджмент та інжиніринг теплоенергетичних систем»***

**ЗАТВЕРДЖУЮ**
Завідувачка кафедри
_____ *Ольга ЧЕРНОУСЕНКО*

«___»_____2022 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
*Якименко Олександрі Сергіївні*
(прізвище, ім'я, по батькові)

**1. Тема дисертації** «Аналіз енергетичної ефективності житлової будівлі в США на основі енергетичного моделювання» _____**,**
**науковий керівник дисертації** *Суходуб Ірина Олегівна, к.т.н, доцент* ____ **,**
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

**затверджені наказом по університету від** «25»_11_2022 р. №_ 4316-с__

**2. Термін подання студентом дисертації** 05 грудня 2022 р.

**3. Об'єкт дослідження** *проєкт нової будівлі* _____

**4. Вихідні дані до магістерської дисертації** _проєктна документація будівлі (нове будівництво), розташованої за адресою 78 East Lynn St., Сіетл, Вашингтон 98102_____

**5. Перелік завдань, які потрібно розробити** *1) провести огляд документації; 2) розрахувати характеристики огороджувальних конструкцій; 3) проаналізувати системи ОВК будівлі; 4) проаналізувати системи ГВП будівлі;5) проаналізувати електричні системи будівлі*; *6) провести енергетичне моделювання будівлі в програмі eQUEST; 7) розробка стартап-проекту.*

**6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу:** *Презентація* 31 слайд.

**7. Орієнтовний перелік публікацій** _____

**8. Консультанти розділів дисертації**

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|---|---|---|---|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| Моделювання енергетичних процесів і систем | | | |
| Нормоконтроль | доцент Шкляр В.І. | | |

**9. Дата видачі завдання** 01.09. 2022 р.

**Календарний план**

| № з/п | Назва етапів виконання магістерської дисертації | Термін виконання етапів магістерської дисертації | Примітка |
|---|---|---|---|
| 1 | *Загальні відомості про об'єкт дослідження* | *26.10. 2022 - 12.11. 2022* | |
| 2 | *Інжиніринг енергетичних систем* | *26.10. 2022 -03.12. 2022* | |
| 3 | *Науково-дослідний інжиніринг* | *26.10. 2022 - 03.12. 2022* | |
| 4 | *Енергетичне моделювання будівлі* | *26.10. 2022 - 03.12. 2022* | |
| 5 | *Стартап-проект* | *28.11. 2022 - 03.12. 2022* | |
| 6 | *Нормативне оформлення магістерської дисертації* | *28.11.2022-04.12. 2022* | |
| 7 | *Попередній захист* | *06.12.2022-15.12.2022* | |

**Студент** _____ *О.С.Якименко*
(підпис) (ініціали, прізвище)

**Науковий керівник дисертації**_____ *І.О.Суходуб*
(підпис) (ініціали, прізвище)

# РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація «Аналіз енергетичної ефективності житлової будівлі в США на основі енергетичного моделювання» складається з 98 сторінок, 55 рисунків, 17 таблиць, а також містить 18 джерел в переліку посилань.

Актуальність теми полягає в дослідженні міжнародних підходів до визначення рівня енергоефективності будівель та споруд.

Метою роботи є визначення рівня енергоефективносі будівлі з застосуванням динамічного моделаювання відповідно до нормативу ASHRAE 90.1-2016.

Щорічно, питання енергоефективності та енергозбереження посідає все вищі та вищі місця в списку проблем людства. Також, на сьогоднішній день важливою складовою в характеристиці цих систем, є питання екології, так як використання викопних ресурсів для отримання енергії, негативно впливає на навколишнє середовище, сучасні підходи по визначенню рівня енергоефективності (шляхом енергетичного моделювання) дозволяють комплексно поглянути на проблему та знайти нові підходи до покращення.

Об’єкт дослідження – багатоквартирна будівля за адресою 78 East Lynn St., Сіетл, Вашингтон 98102.

Предмет дослідження – перевірка будівлі на відповідність нормативним вимогам програми сертифікації Built Green 4-Star.

Наукова новизна магістерської дисертації полягає у дослідженні шляхів досягнення відповідності програми сертифікації Built Green 4-Star.

Отримані результати, запропоновані методики та підходи можуть використовуватись для стандартизації підходів до відповідності енергетичній частині Built Green 4-Star.

Ключові слова та словосполучення: енергоефективність, енергозбереження, навантаження, втрати, економія, енергетичне моделювання, зелена сертифікація, Built Green, LEED, Energy Star, eQUEST.

ABSTRACT

Master's thesis "Analysis of the energy efficiency of a residential building in the USA based on energy modeling" consists of 98 pages, 55 figures, 17 tables, and also contains 18 sources in the list of references.

The relevance of the topic lies in the study of international approaches to determining the level of energy efficiency of buildings and structures.

The purpose of the work is to determine the level of energy efficiency of the building using dynamic modeling in accordance with the ASHRAE 90.1-2016 standard.

Every year, the issue of energy efficiency and energy saving ranks higher and higher in the list of problems of humanity. Also, today, an important component in the characteristics of these systems is the question of ecology, since the use of fossil resources to obtain energy has a negative impact on the environment, modern approaches to determining the level of energy efficiency (through energy modeling) allow a comprehensive look at the problem and find new approaches to improvement.

The subject of the study is an apartment building at 78 East Lynn St., Seattle, Washington 98102.

The subject of the study is the inspection of the building for compliance with the regulatory requirements of the Built Green 4-Star certification program.

The scientific novelty of the master's thesis consists in the study of ways to achieve compliance with the Built Green 4-Star certification program.

The obtained results, proposed methods and approaches can be used to standardize approaches to comply with the energy part of Built Green 4-Star.

Keywords and phrases: energy efficiency, energy saving, load, losses, savings, energy modeling, green certification, Built Green, LEED, Energy Star, eQUEST.

**ЗМІСТ**

**ВСТУП** ..... 9

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ СКОРОЧЕНЬ** ..... 11

**1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ** ..... 13

**1.2 Загальні характеристики про об'єкт дослідження** ..... 13

**1.3 Кліматологія міста Сіетл** ..... 16

**1.4 Основні нормативи що регулюють будівництво в США** ..... 18

**1.5 Основні принципи сталого дизайну використані в проєкті** ..... 19

**1.6 Огляд найпопулярніших програм сертифікації будівель в США21**

**2 АРХІТЕКТУРНІ РІШЕННЯ ТА РОЗРАХУНОК ТЕПЛОТЕХНІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ОБОЛОНКИ БУДІВЛІ** ..... 26

**2.1 Огороджуючи конструкції** ..... 26

**2.2 Відповідність оболонки будівлі за нормативом 2018 SEC** ..... 35

**2.3 Повітряний бар'єр будівлі** ..... 46

**3. СИСТЕМИ ОВК ТА ГВП** ..... 49

**3.1 Система ОВК** ..... 49

**3.2 Система ГВП** ..... 54

**4. ОПИС СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ** ..... 56

**5 ЕНЕРГЕТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ БУДІВЛІ** ..... 60

**5.1 Опис програми моделювання** ..... 60

**5.2 Опис моделювання та вимоги до енергоефективності** ..... 61

**5.3 Моделювання в програмі eQUEST архітектура** ..... 68

**5.4 Моделювання огороджувальних конструкцій** ..... 73

**5.5 Моделювання в програмі eQUEST внутрішні навантаження** ... 75

**5.6 Моделювання водяна частина ОВК ..... 79**

**5.7 Моделювання ОВК..... 80**

**5.8 Моделювання лічильники та економіки..... 82**

**5.9 Сумарні вхідні данні використані в моделюванні..... 83**

**5.9 Результати моделювання..... 86**

**5.10 Відповідність стандартам ..... 89**

**5.11 Висновки до розділу енергетичне моделювання будівлі..... 91**

**6. СТАРТАП ПРОЄКТ ..... 93**

**ВИСНОВКИ ..... 96**

**ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ..... 98**

# ВСТУП

У Сієтлі будівлі є одним із найбільших і найшвидше зростаючих джерел забруднення клімату. Вони відповідальні за понад третину викидів парникових газів у нашому місті, причому понад 90 відсотків цих викидів є результатом спалювання викопного палива, як-от фракціонованого газу для опалення, гарячої води та приладів. Ці викиди забруднюють наше повітря та прискорюють зміну клімату, що непропорційно завдає шкоди чорним, корінним і кольоровим жителям Сієтла (BIPOC). Сієтл прагне усунути забруднення клімату та перейти до 100-відсотково чистої енергії в наших будівлях і транспортних засобах до 2050 року для нашого здоров'я та стійкості перед обличчям зміни клімату.

Наші стимули для отримання дозволів на зелене будівництво спрямовані на створення більш ефективних будівель, які зосереджуються на екологічно чистій електроенергії, воді та ресурсозбереженні з акцентом на здоров'я людини. Проекти можуть отримати додаткову висоту, площу або швидше отримати дозвіл на будівництво в обмін на досягнення конкретних цілей екологічного будівництва та сертифікацію. Департамент будівництва та інспекцій Сієтла пишається тим, що відіграє важливу роль у тому, щоб зробити Сієтл безпечним, зручним для життя та інклюзивним містом для майбутніх поколінь. Перегляньте наведені нижче заохочення, щоб дізнатися більше про кожне заохочення та про те, як воно може принести користь вашому проекту.

Priority Green Expedited: доступно для всіх нових будівельних проектів. Пропонує швидший розгляд та обробку дозволів на будівництво для проектів, які відповідають вимогам екологічного будівництва з акцентом на чисту енергію, збереження ресурсів, якість повітря в приміщеннях і зниження небезпеки свинцю.

Стандарт зеленого будівництва: надає додатковий потенціал розвитку в окремих зонах в обмін на виконання вимог екологічного будівництва.

Пілотна програма Living Building: пропонує додаткову висоту, коефіцієнт площі підлоги (FAR) і запити на відхід від огляду дизайну для проектів, які

відповідають агресивним вимогам щодо енергоспоживання та води, а також сертифікацію Living Building Petal.

2030 Challenge: пропонує додаткову висоту, FAR і запити на відправлення для проектів, які відповідають вимогам 2030 Challenge.

Консультативний комітет з інновацій: ця група експертів розглядатиме енергоефективні пропозиції, які не охоплені технічними кодексами.

# СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ СКОРОЧЕНЬ

Btu – British thermal unit (Британська теплова одиниця);

cfm/ft$^2$ – Cubic feet per minute per square foot (кубічні фути на хвилину на фут квадратний);

DOAS – Dedicated outdoor air system (Спеціальна система зовнішнього

повітря);

HSPF – Heating Seasonal Performance Factor (Сезонний коефіцієнт продуктивності опалення);

IBC – International building code (Міжнародний Будівничий Кодекс);

LED – Light Emitting Diodes (ЛЕД, Світлодіоди);

SBC – Seattle Building Code (Будівничий Кодекс Міста Сіетл);

SEC – Seattle Energy Code (Енергетичний Кодекс Міста Сіетл);

SEER – Seasonal Energy Efficiency Rating (Рейтинг сезонної енергоефективності);

SF – Square Foot (квадратний фут)

SMC – Seattle Mechanical Code (Механічний Кодекс Міста Сіетл);

PCI – Performance Cost Index (Індекс вартості ефективності);

PCIt – Performance Cost Index Target (Цільовий показник індексу витрат на продуктивність);

WSEC – Washington State Energy Code (Енергетичний Кодекс Штату Вашингтон);

ГВП – гаряче водопостачання;

КЕС – конденсаційна електрична станція;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

ОВК – Опалення, вентиляція, кондиціювання

ПЛ – повітряні лінії;

РМФЕС – резервно-мережева фотоелектрична система;

РФЕС – резервна фотоелектрична система;

ФЕС – фотоелектрична система.

# 1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ОБ’ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ

## 1.2 Загальні характеристики про об’єкт дослідження

Об’єктом дослідження є житлова будівля в місті Сієттл, штат Вашингтон, США. Будівництво будівлі заплановано на червень 2023 року. На рисунку 1.1 зображено рендер данної будівлі, а на рисунках 1.2 та 1.3 зображено розташування ділянки для забудови.

Рисунок 1.1 – Рендер будівлі-об’єкту дослідження

Рисунок 1.2 – Розташування будівлі на мапі міста

Рисунок 1.3 – Розташування будівлі, супутниковий знімок

Назва проєкту «LYNN ST APARTMENTS». Однією з цілей даного проєкту є досягнення «BUILT GREEN 4-STAR MULTI FAMILY» [2], що є так званою «зеленою» програмою, націленою на досягнення цілей сталого розвитку в новому будівництві та реновацій штату Вашингтон.

Запланований хід проекту:

1. Демонтаж існуючого 4-ри квартирного будинку. (рисунку 1.4)

2. Будівництво 5-ти поверхової, 15-ти квартирної будівлі з 15-ти місцями для паркування автомобілів та 16-ти місць для паркування велосипедів.

3. Забезпечити додаткове багатосімейне житло в районі Істлейк поблизу інших квартирних проєктів та на відстані пішки до міських зручностей, включаючи бари, ресторани та продуктові магазини.

4. Використати краєвиди на озеро Юніон, центр Сієттлу, Спейс-Нідл та міст Аврора.

5. Проєкт прагне отримати сертифікацію «BUILT GREEN 4-STAR MULTI FAMILY».

CURRENT 4-PLEX; VIEW FROM E LYNN ST

CURRENT 4-PLEX; VIEW FROM MINOR AVE E

Рисунок 1.4 – Існуючий будинок, знімок з вулиці

Основні характеристики проєкту:

1 15 квартир.

2 Житлова площа: 20 613 sf.

3 15 паркувальних місць.

4 15 довгострокових велопарковок, 1 короткострокова велопарковка.

5 Жодних комерційних/торгівельних або живих робочих приміщень не пропонується.

6 Спільне сміття, розташоване за провулком.

7 Спільне лоббі з поштовими скриньками.

8 Зона відпочинку.

9 Кожна квартира має доступ до приватної відкритої веранди.

10 Спільна зона відпочинку, розташована біля входу в будинок.

## 1.3 Кліматологія міста Сіетл

Важливим фактором, що впливає на енергоефективність будівлі та архітектурні рішення, що будуть запроваджені є клімат в якому будівля знаходиться (або буде знаходитись).

Аналогом Будівельної кліматології прийнятої в Україні при проектуванні [3] в США є документи лінійки ASHRAE [4], а саме ANSI/ASHRAE 169-2013 [5], а також, всі необхідні для проектування кліматичні данні можна знайти в Appendix C 2018 SEC [6]. За класифікацією ASHRAE, місто Сіетл знаходиться в кліматичній зоні 4C, Mild, marine (М'який, морський) (рис.1.5), що характеризується середньою вологістю та помірними температурами взимку та влітку (запроваджувати систему механічного охолодження будівлі зазвичай не вимагається).

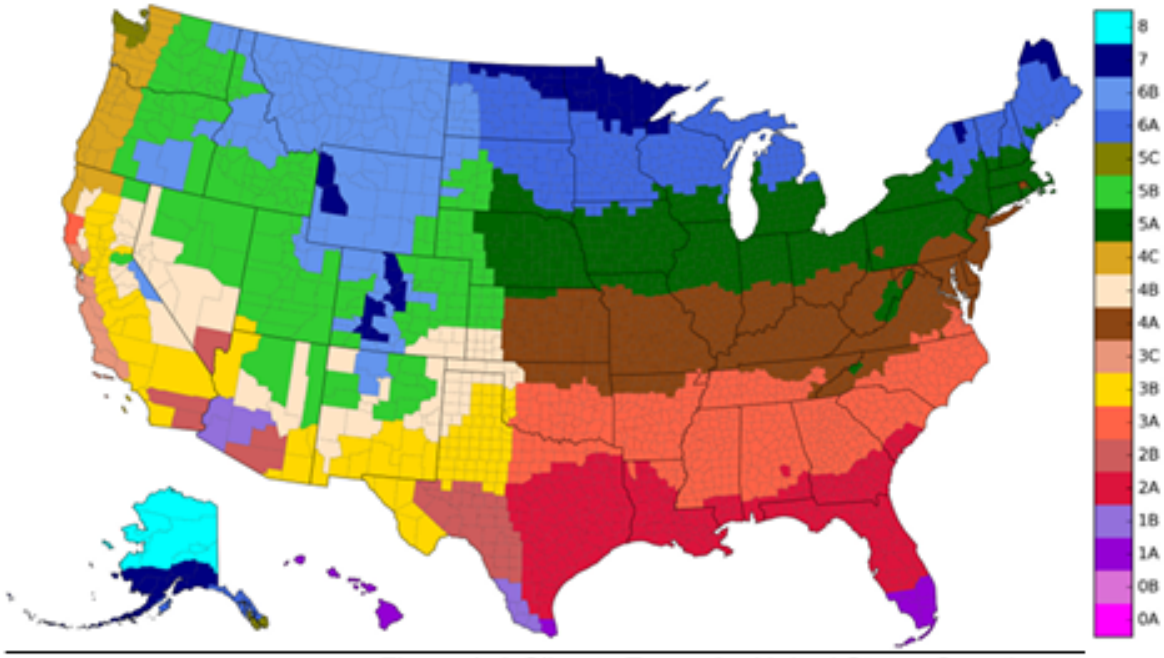



Figure A-2 Climate Zones for United States Counties

Рисунок 1.5 – Кліматичні зони США згідно ANSI/ASHRAE 169-2013, світло- помаранджевий колір відповідає кліматичній зоні м. Сіетл (4C)

Клімат Сієтла є помірним, класифікується як середземноморська зона за основною кліматичною класифікацією, але деякі джерела відносять місто до океанічної зони. Він має прохолодну, вологу зиму та м’яке, відносно сухе літо, що охоплює характеристики обох.

Найнеобхідніші для проектування кліматичні данні для м. Сієтл наведені в таблиці 1.1:

Таблиця. 1.1 – Кліматичні данні міста Сієтл

**Station Information**

| Station name | WMO# | Lat | Long | Elev | StdP | Hours +/- UTC | Time zone code | Period |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *1a* | *1b* | *1c* | *1d* | *1e* | *1f* | *1g* | *1h* | *1i* |
| **SEATTLE/TACOMA** | **727930** | **47.45N** | **122.30W** | **400** | **14.485** | **-8.00** | **NAP** | **7201** |

**Annual Heating and Humidification Design Conditions**

| Coldest month | Heating DB | | Humidification DP/MCDB and HR | | | | | | Coldest month WS/MCDB | | | | MCWS/PCWD to 99.6% DB | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 99.6% | | | 99% | | | 0.4% | | 1% | | | |
| | 99.6% | 99% | DP | HR | MCDB | DP | HR | MCDB | WS | MCDB | WS | MCDB | MCWS | PCWD |
| *2* | *3a* | *3b* | *4a* | *4b* | *4c* | *4d* | *4e* | *4f* | *5a* | *5b* | *5c* | *5d* | *6a* | *6b* |
| **12** | **23.8** | **28.4** | **5.8** | **7.5** | **28.5** | **13.0** | **10.8** | **32.6** | **26.2** | **44.4** | **23.9** | **45.8** | **9.3** | **20** |

**Annual Cooling, Dehumidification, and Enthalpy Design Conditions**

| Hottest month | Hottest month DB range | Cooling DB/MCWB | | | | | | Evaporation WB/MCDB | | | | | | MCWS/PCWD to 0.4% DB | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0.4% | | 1% | | 2% | | 0.4% | | 1% | | 2% | | | |
| | | DB | MCWB | DB | MCWB | DB | MCWB | WB | MCDB | WB | MCDB | WB | MCDB | MCWS | PCWD |
| *7* | *8* | *9a* | *9b* | *9c* | *9d* | *9e* | *9f* | *10a* | *10b* | *10c* | *10d* | *10e* | *10f* | *11a* | *11b* |
| **8** | **18.2** | **84.9** | **65.2** | **81.2** | **63.7** | **77.6** | **62.3** | **66.5** | **82.5** | **64.7** | **78.9** | **63.1** | **75.8** | **9.7** | **0** |

| Dehumidification DP/MCDB and HR | | | | | | | | | Enthalpy/MCDB | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.4% | | | 1% | | | 2% | | | 0.4% | | 1% | | 2% | |
| DP | HR | MCDB | DP | HR | MCDB | DP | HR | MCDB | Enth | MCDB | Enth | MCDB | Enth | MCDB |
| *12a* | *12b* | *12c* | *12d* | *12e* | *12f* | *12g* | *12h* | *12i* | *13a* | *13b* | *13c* | *13d* | *13e* | *13f* |
| **60.2** | **79.1** | **70.1** | **58.9** | **75.5** | **68.5** | **57.7** | **72.2** | **67.3** | **31.3** | **83.1** | **29.9** | **78.9** | **28.7** | **75.7** |

**Extreme Annual Design Conditions**

| Extreme Annual WS | | | Extreme Max WB | Extreme Annual DB | | | | n-Year Return Period Values of Extreme DB | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Mean | | Standard deviation | | n=5 years | | n=10 years | | n=20 years | | n=50 years | |
| 1% | 2.5% | 5% | | Max | Min | Max | Min | Max | Min | Max | Min | Max | Min | Max | Min |
| *14a* | *14b* | *14c* | *15* | *16a* | *16b* | *16c* | *16d* | *17a* | *17b* | *17c* | *17d* | *17e* | *17f* | *17g* | *17h* |
| **20.4** | **18.3** | **16.5** | **83.1** | **92.1** | **20.0** | **4.1** | **6.0** | **95.0** | **15.7** | **97.4** | **12.2** | **99.7** | **8.8** | **102.7** | **4.4** |

**Monthly Design Dry Bulb and Mean Coincident Wet Bulb Temperatures**

| % | Jan | | Feb | | Mar | | Apr | | May | | Jun | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | DB | MCWB | DB | MCWB | DB | MCWB | DB | MCWB | DB | MCWB | DB | MCWB |
| | *18a* | *18b* | *18c* | *18d* | *18e* | *18f* | *18g* | *18h* | *18i* | *18j* | *18k* | *18l* |
| 0.4% | **56.7** | **49.0** | **61.6** | **50.6** | **65.2** | **50.9** | **74.8** | **56.0** | **81.5** | **62.9** | **87.0** | **64.5** |
| 1% | **54.9** | **48.4** | **58.5** | **49.7** | **62.4** | **50.6** | **71.2** | **55.8** | **78.4** | **61.4** | **83.3** | **63.7** |
| 2% | **53.2** | **48.2** | **56.5** | **48.8** | **60.2** | **49.5** | **68.2** | **54.6** | **75.6** | **60.2** | **80.4** | **62.6** |

| % | Jul | | Aug | | Sep | | Oct | | Nov | | Dec | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | DB | MCWB | DB | MCWB | DB | MCWB | DB | MCWB | DB | MCWB | DB | MCWB |
| | *18m* | *18n* | *18o* | *18p* | *18q* | *18r* | *18s* | *18t* | *18u* | *18v* | *18w* | *18x* |
| 0.4% | **90.5** | **67.3** | **90.0** | **68.1** | **84.7** | **63.4** | **73.7** | **58.2** | **60.9** | **54.2** | **56.1** | **52.5** |
| 1% | **87.4** | **66.2** | **86.9** | **66.6** | **81.7** | **63.0** | **70.0** | **57.2** | **58.6** | **53.2** | **54.2** | **50.7** |
| 2% | **84.6** | **65.5** | **84.2** | **65.5** | **79.4** | **62.3** | **67.0** | **56.4** | **57.1** | **52.4** | **52.9** | **49.5** |

## 1.4 Основні нормативи що регулюють будівництво в США

В США правила, норми, стандарти, умови та інші аспекти регулювання будівельної галузі вміщено у Міжнародному Будівельному Нормативі (International building code). Законодавчо штати можуть спиратися на цей норматив і видавати власні нормативи (наприклад Будівельний норматив штату Вашингтон), основним принципом є те, що локальний норматив не може бути менш суворим за федеральний. Також, спираючись на виданий штатом норматив, кожне місто штату має право видавати свої нормативи з доповненнями, але вимоги (наприклад будівництва) не мають бути нижчими за вимоги нормативу, на базі якого був прийнятий існуючий.

Всі роботи повинні відповідати всім відповідним федеральним, штатським та місцевим нормативам, включаючи але не обмежуючись будівельним нормативом, енергетичним нормативом, механічним нормативом, сантехнічним нормативом в межах юрисдикції проекту.

Всі нормативи оновлюються один раз на 3 роки, цей процес зазвичай називають Code Cycle. Даний проєкт підпадає під юрисдикцію нормативів Сієтлу 2018 року (2018 Seattle Building Code [7], 2018 Seattle Energy Code [8], 2018 Washington State Mechanical Code with amendments [9]), оскільки норматив 2021 року ще не вступили силу.

В штаті Вашингтон саме місто Сієтл зазвичай приймає власні нормативи покращуючи вимоги штату, й типовою ситуацією є те, що вимоги Сієтла, по суті випереджають вимоги штату на один цикл кодексу, що робить його одним з найзеленіших міст Америки.

## 1.5 Основні принципи сталого дизайну використані в проєкті

Благоустрій території:

Важливою частиною проєкту є ділянка. Правильно спроектована та розроблена ділянка дозволяє заохочувати людей до пішого переміщення, збільшення долі активного відпочинку в їх щоденному розкладі, зміцнює соціальні взаємини серед жителів, а також збільшує енергоефективність ділянки та будівлі.

Принципи розробки зеленої ділянки, що використані в проєкті продиктовані як вимогами міста Сієтл так і вимогами Built Green.

Більшість спроектованих пішохідних проходів під’єднані до міських тротуарів та велодоріжок, що дозволяє заохочувати транспортування без використання автомобілів.

За вимогами Built Green, іригаційна система розроблена за принципами та з використанням обладнання сертифікованого за програмою WaterSense [10]. Також, за вимогами міста Сієтл, рослини мають бути або природними для даного регіону або стійкими до засухи, а також, за типовим дизайном, на ділянці мінімізоване використання ділянок з газоном. Ці використані принципи є найбільш типовими для оптимізації використання води на іригацію ділянки.

Також, важливим принципом для розробки «зеленої» ділянки є правильне поводження з дощовою водою, що в даному випадку забезпечується спеціальними водопроникними матеріалами для пішохідних доріжок на ділянці, а також системою інфільтрації дощової води з поверненням її до ґрунту під будівлею після очищення спеціальним фільтром (рис.1.6).

Додатково, для зменшення навантаження на систему охолодження будівлі, однією з цілей дизайну ландшафту є 15% затінення ділянки через 10 років.

Рисунок 1.6 – 660-SA Oil/Water Separator 450 Gal, використаний в проєкті для фільтрації дощової води

Громадське життя.

Важливою частиною концепції сталого розвитку є інклюзивність та рівність.

За вимогами загальноприйнятими в США, проєкт пропонує доступ для інвалідів в головному вході в будівлю та спільної зони. В будівлу буде ліфт з доступом на всі поверхи. Характеристики пантусів та інших пристроїв призначених для осіб з обмеженою мобільністю в США нормуються згідно з [11]

Також цілі інклюзивності лежать в корі даного проекту, оскільки він фінансуються HUD Mortgage Insurance Premium [12], яка надається лише за умови виділення частини жилого фонду будівлі малозабезпеченим особам, що є дуже типовою практикою в США.

Цікавим є те, що для отримання гранту від HUD будівля не лише має надати квартири малозабезпеченим громадянам, але й досягти сертифікації однієї з найбільш розповсюджених програм по «зеленому» будівництву (Built Green, LEED [13], Energy Star Multifamily New Construction [14], NGBS [15] і т.д.)

## 1.6 Огляд найпопулярніших програм сертифікації будівель в США

Оскільки темою магістерської дисертації є Аналіз енергетичної ефективності житлової будівлі в США, як частина роботи також було розглянуто та проаналізовано найпопулярніші програми з сертифікації будівель (згадувалися в попередніх пунктах дисертації), оскільки це дає змогу краще зрозуміти передові підходи до будівництва та напрямки можливого заощадження енергії.

LEED (ЛИД)

LEED – це цілісна система, яка не просто зосереджується на одному елементі будівлі, наприклад на енергетиці, воді чи здоров'ї, а розглядає загальну картину з урахуванням усіх критичних елементів, які працюють разом для створення найкращої будівлі. Метою LEED є створення кращих будівель, які спрямовані на:

Зменшення внеску будівлі до глобальної зміни клімату;

Зміцнення індивідуального здоров'я людини;

Охорону та відновлення водних ресурсів;

Захист і розширення біорізноманіття та екосистем;

Сприяти стійкій і циклічній регенерації матеріалів;

Підвищення якості життя громади.

З усіх кредитів LEED 35% кредитів у LEED пов'язані зі зміною клімату, 20% кредитів безпосередньо впливають на здоров'я людини, 15% кредитів впливають на водні ресурси, 10% кредитів впливають на біорізноманіття, 10% кредитів стосуються зеленої економіки, 5% кредитів впливають на громаду та 5% кредитів впливають на природні ресурси, частина з яких обов'язкові, проте більшість опціональні, що надає достатньої гнучкості в дизайні.

Програма відома в усьому світі (є сертифіковані будівлі й в Україні). Актуальна версія програми в США LEED v.4.0, проте в світі вже діє LEED v.4.1,

яка в США вже на фінальній стадії розробки. LEED має різні напрямки сертифікації такі як BD+C Homes, Core and Shell і т.д..

Проекти сертифіковані за системою LEED отримують один з наступних рівней сертифікації: Certified, Silver, Gold або Platinum (рис. 1.7).

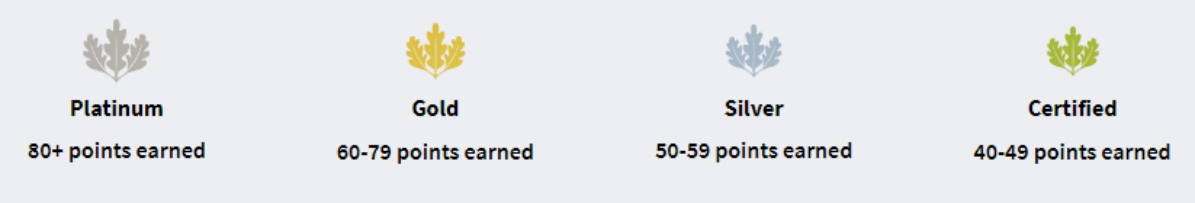



Рисунок 1.7 – Відзнаки для різних рівнів сертифікації програми LEED

В плані енергоефективності LEED в цілому спирається на ASHRAE 90.1 [16], що є широко визнаним базовим нормативом в світі.

Energy Star Multifamily New Construction (Енерджи Стар Мультифемілі Ньою Констракшин)

Будинки та квартири, сертифіковані ENERGY STAR, проектуються та будуються краще з нуля. Етикетка ENERGY STAR (рис. 1.8) є символом довіри, якості та відповідального ставлення до навколишнього середовища, в якому ми всі живемо. Логотип є широко відомим с світі гарантом енергоефективності, особливо, щодо електроприладів.

Рисунок 1.8 – Логотип ENERGY STAR™

Сама ж програма сертифікації є досить сильно сфокусованою на енергоефективності та природокористуванні, та не має вимог щодо розміщення проєкту, соціальної взаємодії і т.д., а також вимоги щодо ландшафту мінімальні.

Також, характерною особливістю є те, що всі вимоги в даній програмі є обов’язковими до виконання, а опціональні вимоги відсутні.

Існує 3 шляхи отримання сертифікації:

1. Prescriptive Path (Наказовий шлях) – потрібно забезпечити щоб кожен окремий елемент дизайну був хоча б не гірше від мінімальних вимог зазначених в програмі;
2. ERI Path (Шлях індексу енергоспоживання) – питоме споживання енергії будівлі має бути не більшим за питоме споживання базового дизайну, що являє собою енергетичну модель проекту побудовану за мінімальними вимогами зазначеними в програмі. Найчастіше моделюється в програмі REM/Rate;
3. ASHRAE Path (Шлях АШРАЄ) – потрібно показати що дизайн хоча б на 15% біль ефективний за базову будівлю побудовану згідно ASHRAE 90.1-2016 (ящо розглядати проєкт в штаті Вашингтон), Appendix G. Дозволяє використовувати більшість програм для енергомоделювання, а також надає найбільшої гнучкості дизайну в порівнянні з іншими двома шляхами.

NGBS – National Green Building Standard (Національний стандарт зеленого будівництва)

Національний стандарт екологічного будівництва (NGBS) – це єдина система рейтингу екологічного будівництва для будинків і квартир, затверджена Американським національним інститутом стандартів (ANSI) як американський національний стандарт. NGBS надає будівельникам план, яким слід слідувати при проектуванні та будівництві нових і відремонтованих односімейних будинків і багатоквартирних будинків.

Має як кредити обов’язкові до виконання (які, втім, найчастіше вже вимагаються локальними кодексами), так і велику кількість опціональних вимог, що ріднить його з LEED.

Іншою спільною рисою між LEED та NGBS є широка направленість сертифікації, що так само охоплює майже все, від ландшафту та вимог до команди дизайнерів проєкту до інструкцій для майбутніх жителів будівлі.

З Energy Star даний норматив ріднить те, що в частині енергоефективності він також пропонує декілька шляхів до відповідності.

Built Green

Built Green – це програма сертифікації екологічних будинків Асоціації майстрів будівельників округів Кінг і Снохоміш (штат Вашингтон). На додаток до сертифікації зелених будинків, реконструкцій, квартир і громад, Built Green розміщуємо членську мережу компаній і окремих осіб, які працюють у сфері екологічного будівництва. Вони також досліджують та інформують про переваги екологічно орієнтованого будівництва для людини та навколишнього середовища.

Оскільки програма тісно пов’язана з штатом Вашингтон, та по суті, діє лише на цій території, більшість її вимог в тому чи іншому вигляді посилається на локальні нормативи, або вимагає покращення над ними.

Пропонує три рівня сертифікації (3-Star, 4-Star, 5-Star), кожен з яких має й свої окремі обов’язкові вимоги, та має відповідати таким вимогам з попереднього рівня, а також має досягти мінімальну кількість вибіркових балів в кожній секції окремо, а також мінімальну суму балів.

На приклад, в 4-Star вимагається:

- Всі обов’язкові вимоги для 3-Star;
- Ряд нових обов’язкових вимог;
- Мінімум 50 балів в кожній секції від 5,1 до 5,5
- Мінімум 400 балів в сумі.

В цілому, також сильно орієнтована на енергоефективність та ресурсокористування програма.

Також, варто зазначити, що всі зазначені вище (та багато інших систем сертифікації), не закінчуються на дизайні. Сертифікат відповідності може бути отриманим лише за умови інспекції будівлі професіоналом з відповідною кваліфікацією, а також, деякі програми вимагають й те що будівля буде ділитися інформацією про енергоспоживання й після отримання сертифікату (від одного до п’яти років).

Як зазначалося раніше, держава сприяє отриманню проєктів різних зелених сертифікаті, шляхом фінансового заохочення, та/або іншими методами (наприклад, дозволом добудувати один-два поверхи над міським лімітом, або спрощеною/пришвидшеною процедурою отримання дозволу на будівництво).

# 2 АРХІТЕКТУРНІ РІШЕННЯ ТА РОЗРАХУНОК ТЕПЛОТЕХНІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ОБОЛОНКИ БУДІВЛІ

Так як програмний продукт eQUEST використовують імперичну систему одиниць всі показники представлено в відповідних одиницях.

## 2.1 Огороджуючи конструкції

За проектом огороджуючи конструкції мають наступні конструктивні рішення.

Покрівлі будівлі плоский виконаний із дерев'яних балок між якими прокладено ватний ізоляційний матеріал с R-30 $ft^2 \cdot F \cdot h/BTU$, шар пароізоляції і додатковим конічний шаром ізоляції із пінопласт який має мінімальний показника R-20 $ft^2 \cdot F \cdot h/BTU$, на рисунку 2.1 зображено конструкції покрівлі які використовуються в проекті.

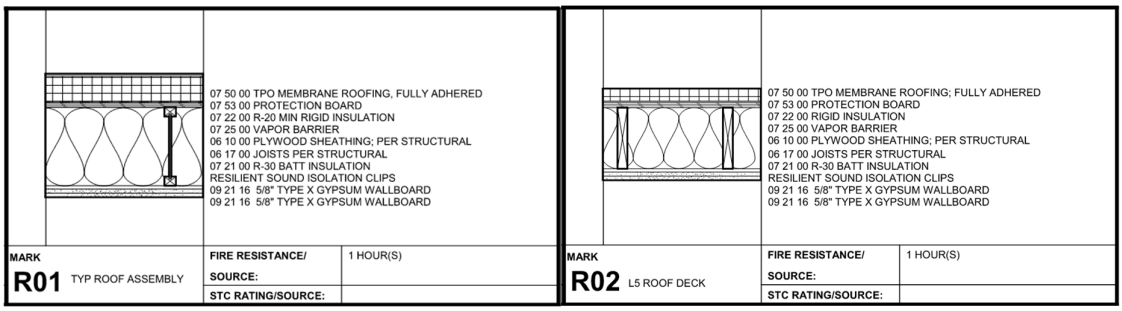



Рисунок 2.1 – Конструкція покрівлі

Для розрахунку теплотехнічних показників даху спочатку потрібно розрахувати середню переведену показник R для конічного шару ізоляції пінопласт. В додатку А до енергетичному нормативу 2018 SEC представлено таблиці рисунок 2.2 які вказують ефективні U-фактори для ізоляції конічної покрівлі, нахилені від максимального R-значення на вершині схилу до мінімального R-значення у нижній точці схилу. Рядки таблиць представляють номінальне значення R ізоляції за мінімальних умов, а стовпці таблиці представляють номінальне значення R ізоляції за максимальних умов. На

рисунках 2.3 та 2.4 представлено розрахунок загального R та U для кожної зони покрівлі.

TABLE A102.2.6(1)
ASSEMBLY U-FACTORS FOR ROOFS WITH TAPERED INSULATION ENTIRELY ABOVE DECK
SINGLE SLOPE RECTANGULAR TO ONE-SIDE((~~d,f,g,h,i~~)) a,d,g,h,i,j
(UNINTERRUPTED BY FRAMING)

| Rated R-value of Insulation at Minimum Condition ($R_{min}^1$) | Rated R-Value of Insulation at Maximum Condition ($R_{max}^1$) | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 |
| 1 | 0.562 | 0.306 | 0.213 | 0.168 | 0.140 | 0.121 | 0.107 | 0.097 | 0.088 | 0.081 | 0.075 | 0.070 | 0.066 |
| 5 | - | 0.173 | 0.125 | 0.101 | 0.086 | 0.076 | 0.068 | 0.062 | 0.057 | 0.053 | 0.049 | 0.046 | 0.044 |
| 10 | - | - | 0.093 | 0.076 | 0.066 | 0.058 | 0.053 | 0.048 | 0.045 | 0.042 | 0.039 | 0.037 | 0.035 |
| 15 | - | - | - | 0.063 | 0.055 | 0.049 | 0.045 | 0.041 | 0.038 | 0.036 | 0.034 | 0.032 | 0.030 |
| 20 | - | - | - | - | 0.048 | 0.043 | 0.039 | 0.036 | 0.034 | 0.032 | 0.030 | 0.028 | 0.027 |
| 25 | - | | | | - | 0.039 | 0.035 | 0.033 | 0.031 | 0.029 | 0.027 | 0.026 | 0.025 |
| 30 | | | | | - | - | 0.032 | 0.030 | 0.028 | 0.026 | 0.025 | 0.024 | 0.023 |
| 35 | | | | | - | - | - | 0.028 | 0.026 | 0.025 | 0.023 | 0.022 | 0.021 |
| 40 | | | | | - | - | - | - | 0.025 | 0.023 | 0.022 | 0.021 | 0.020 |
| 45 | | | | | - | - | - | - | - | 0.022 | 0.021 | 0.020 | 0.019 |
| 50 | | | | | - | - | - | - | - | - | 0.020 | 0.019 | 0.018 |
| 55 | | | | | - | - | - | - | - | - | - | 0.018 | 0.017 |
| 60 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.016 |

TABLE A102.2.6(2)
ASSEMBLY U-FACTORS FOR ROOFS WITH TAPERED INSULATION ENTIRELY ABOVE DECK
SLOPED TRIANGLE (ROOF WITH CENTER DRAIN)((~~a,f,g,h,i~~)) a,b,e,g,h,i,j
(UNINTERRUPTED BY FRAMING)

| Rated R-value of Insulation at Minimum Condition ($R_{min}^2$) | Rated R-Value of Insulation at Maximum Condition ($R_{max}^2$) | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 |
| 1 | 0.562 | 0.242 | 0.146 | 0.106 | 0.083 | 0.068 | 0.058 | 0.051 | 0.045 | 0.040 | 0.036 | 0.033 | 0.031 |
| 5 | - | 0.173 | 0.112 | 0.084 | 0.068 | 0.057 | 0.049 | 0.044 | 0.039 | 0.035 | 0.032 | 0.030 | 0.028 |
| 10 | - | - | 0.093 | 0.071 | 0.059 | 0.050 | 0.044 | 0.039 | 0.035 | 0.032 | 0.029 | 0.027 | 0.025 |
| 15 | - | - | - | 0.063 | 0.053 | 0.045 | 0.040 | 0.035 | 0.032 | 0.029 | 0.027 | 0.025 | 0.023 |
| 20 | - | | | | - | 0.048 | 0.042 | 0.037 | 0.033 | 0.030 | 0.027 | 0.025 | 0.024 | 0.022 |
| 25 | | | | | - | - | 0.039 | 0.034 | 0.031 | 0.028 | 0.026 | 0.024 | 0.022 | 0.021 |
| 30 | | | | | - | - | - | 0.032 | 0.029 | 0.027 | 0.025 | 0.023 | 0.021 | 0.020 |
| 35 | | | | | - | - | - | - | 0.028 | 0.026 | 0.024 | 0.022 | 0.021 | 0.019 |
| 40 | | | | | - | - | - | - | - | 0.025 | 0.023 | 0.021 | 0.020 | 0.019 |
| 45 | | | | | - | - | - | - | - | - | 0.022 | 0.020 | 0.019 | 0.018 |
| 50 | | | | | - | - | - | - | - | - | - | 0.020 | 0.018 | 0.017 |
| 55 | | | | | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.018 | 0.017 |
| 60 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.016 |

Рисунок 2.2 – Ефективні U для ізоляції похилої покрівлі згідно додатку A 2018 SEC

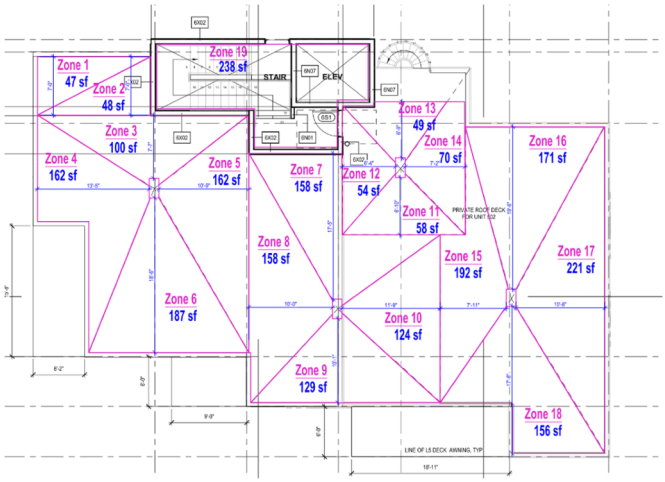



Рисунок 2.3 – Зони для розрахунку ізоляції конічної покрівлі

| Zone | Length of slope | Min. Slope per 1' | L*slope | R-value per 1 in | hmin, in | Rmin | hmax= hmin+(L*slope) | Rmax= (R per 1 in)*hmax | Type of Slope | Deck U-value, A102.2.6 (1/2/3) | R, cavity insulation | R-cavity + R-deck | U-value, | A, sq.ft |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| l1 | 7.00 | 0.25 | 1.75 | 5 | 4 | 20 | 6 | 30 | 2 | 0.037 | 30 | 57 | 0.018 | 47 |
| 2 | 7.00 | 0.25 | 1.75 | 5 | 4 | 20 | 6 | 30 | 2 | 0.037 | 30 | 57 | 0.018 | 48 |
| 3 | 7.58 | 0.25 | 1.90 | 5 | 4 | 20 | 6 | 30 | 2 | 0.037 | 30 | 57 | 0.018 | 100 |
| 4 | 13.42 | 0.25 | 3.35 | 5 | 4 | 20 | 7 | 35 | 2 | 0.033 | 30 | 60 | 0.017 | 162 |
| 5 | 10.75 | 0.25 | 2.69 | 5 | 4 | 20 | 7 | 35 | 2 | 0.033 | 30 | 60 | 0.017 | 162 |
| 6 | 18.50 | 0.25 | 4.63 | 5 | 4 | 20 | 9 | 45 | 2 | 0.027 | 30 | 67 | 0.015 | 187 |
| 7 | 17.42 | 0.25 | 4.35 | 5 | 4 | 20 | 8 | 40 | 2 | 0.03 | 30 | 63 | 0.016 | 158 |
| 8 | 10.00 | 0.25 | 2.50 | 5 | 4 | 20 | 7 | 35 | 2 | 0.033 | 30 | 60 | 0.017 | 158 |
| 9 | 10.08 | 0.25 | 2.52 | 5 | 4 | 20 | 7 | 35 | 2 | 0.033 | 30 | 60 | 0.017 | 129 |
| 10 | 11.75 | 0.25 | 2.94 | 5 | 4 | 20 | 7 | 35 | 2 | 0.033 | 30 | 60 | 0.017 | 124 |
| 11 | 6.83 | 0.25 | 1.71 | 5 | 4 | 20 | 6 | 30 | 2 | 0.037 | 30 | 57 | 0.018 | 58 |
| 12 | 6.33 | 0.25 | 1.58 | 5 | 4 | 20 | 6 | 30 | 2 | 0.037 | 30 | 57 | 0.018 | 54 |
| 13 | 6.75 | 0.25 | 1.69 | 5 | 4 | 20 | 6 | 30 | 2 | 0.037 | 30 | 57 | 0.018 | 49 |
| 14 | 7.17 | 0.25 | 1.79 | 5 | 4 | 20 | 6 | 30 | 2 | 0.037 | 30 | 57 | 0.018 | 70 |
| 15 | 7.92 | 0.25 | 1.98 | 5 | 4 | 20 | 6 | 30 | 2 | 0.037 | 30 | 57 | 0.018 | 192 |
| 16 | 19.50 | 0.25 | 4.88 | 5 | 4 | 20 | 9 | 45 | 2 | 0.027 | 30 | 67 | 0.015 | 171 |
| 17 | 10.67 | 0.25 | 2.67 | 5 | 4 | 20 | 7 | 35 | 2 | 0.033 | 30 | 60 | 0.017 | 221 |
| 18 | 17.67 | 0.25 | 4.42 | 5 | 4 | 20 | 8 | 40 | 2 | 0.03 | 30 | 63 | 0.016 | 156 |
| 19 | 0.00 | 0.25 | 0.00 | 5 | 4 | 20 | 4 | 20 | 1 | 0.048 | 30 | 51 | 0.02 | 238 |

Рисунок 2.4 – Розрахунок загального R та U для кожної зони покрівлі.

В даному проекті стіни використовуються двох типів бетонії та каркасні із дерев'яних балок.

Бетоні стінки частково використовують лише на перших двох поверхах, і переставлені двома способами ізоляції. В першому варіанті реалізована ізоляція завдяки використання з зовні жорсткої (пінополістирол) ізоляції з загальною теплової ефективності R-10 $ft^2 \cdot F \cdot h/BTU$ (рис. 2.5), в іншому варіанті використовують обшивку з зовні яка зроблена із дерев'яного каркасу в якому порожнини заполонено мінеральною ватою з теплової ефективністю R-21 $ft^2 \cdot F \cdot h/BTU$ (рис 2.5 та 2.6).

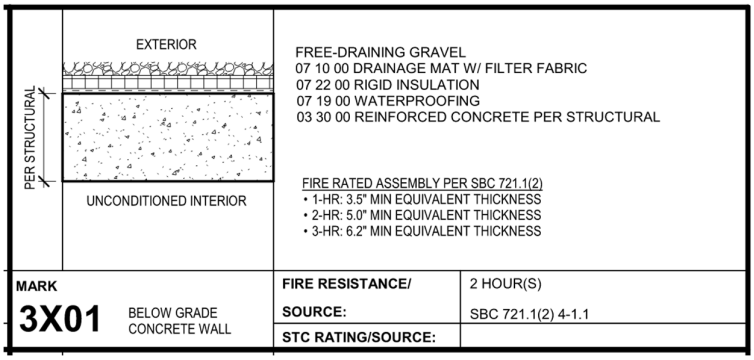



Рисунок 2.5 – Бетонна стінка з зовнішній ізоляцій

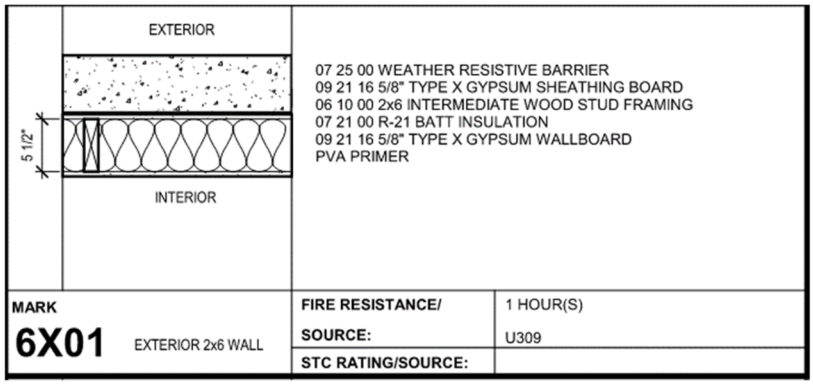



Рисунок 2.6 – Бетонна стінка з внутрішні ізоляцій

U-фактори для таких конструкції знаходиться за допомогу додатка А таблиці А103.3.7.1 (2) до енергетичному нормативу 2018 SEC (рис. 2.7), відповідно до них перший тип бетонної стени матиме U-0.088 BTU/ft$^2$·F·h, для іншої U-0.057 BTU/ft$^2$·F·h.

**TABLE A103.3.7.1(2)—continued**
**DEFAULT U-FACTORS FOR CONCRETE AND MASONRY WALLS[a,b,c,d]**

| Framing Type and Depth | Rated R-Value of Insulation Alone | Assembly U Factors for Solid Concrete Walls | Assembly U-Factors for Concrete Block Walls: Solid Grouted | Assembly U-Factors for Concrete Block Walls: Partially Grouted (cores uninsulated except where specified) |
|---|---|---|---|---|
| No Framing | R-6.0 | U-0.136 | U-0.129 | U-0.124 |
| | R-7.0 | U-0.120 | U-0.115 | U-0.110 |
| Перший тип | R-8.0 | U-0.107 | U-0.103 | U-0.099 |
| | R-9.0 | U-0.097 | U-0.093 | U-0.090 |
| | R-10.0 | U-0.088 | U-0.085 | U-0.083 |

**TABLE A103.3.7.1(2)**
**DEFAULT U-FACTORS FOR CONCRETE AND MASONRY WALLS[a,b,c,d]**

| Framing Type and Depth | Rated R-Value of Insulation Alone | Assembly U Factors for Solid Concrete Walls | Assembly U-Factors for Concrete Block Walls: Solid Grouted | Assembly U-Factors for Concrete Block Walls: Partially Grouted (cores uninsulated except where specified) |
|---|---|---|---|---|
| **Base Wall only** | | | | |
| No Framing | R-0 | U-0.740 | U-0.580 | U-0.480 |
| | Ungrouted Cores Filled with Loose-Fill Insulation | N.A. | N.A. | U-0.350 |
| Continuous Wood Framing | | | | |
| 0.75 in. | R-3.0 | U-0.247 | U-0.226 | U-0.210 |
| 1.5 in. | R-6.0 | U-0.160 | U-0.151 | U-0.143 |
| 2.0 in. | R-10.0 | U-0.116 | U-0.111 | U-0.107 |
| 3.5 in. | R-11.0 | U-0.094 | U-0.091 | U-0.088 |
| 3.5 in. Другий тип | R-13.0 | U-0.085 | U-0.083 | U-0.080 |
| 3.5 in. | R-15.0 | U-0.079 | U-0.077 | U-0.075 |
| 5.5 in. | R-19.0 | U-0.060 | U-0.059 | U-0.058 |
| 5.5 in. | R-21.0 | U-0.057 | U-0.055 | U-0.054 |

Рисунок 2.7 – Таблиці А103.3.7.1 з додатка А 2018 SEC

Стіни із дерев’яного каркасу є основним конструктивним рішенням для більшості будівель в штаті Вашингтон. Для дерев'яних каркасних стін розглядаються три типи каркасів: Стандартний (Standard) Проміжний (Intermediate) та Вдосконалений (Advanced). За проектної документації проекті використовуються Проміжний (Intermediate) тип каркасів (рис. 2.8), що являє собою: Шпильки на 16-дюймових центрах з подвійною верхньою пластиною та одинарною нижньою пластиною. У кутах використовуються дві шпильки або інші засоби повної ізоляції кутів, і кожен отвір обрамлений двома шпильками. Оголовки складаються з подвійного мат-рила 2х2з ізоляцією R-10. Місця перетину внутрішніх перегородок із зовнішніми стінами повністю ізольовані в зовнішній стіні. Для розрахунку тепловіфізичних властивостей даної конструкції використовують проміжні вагові коефіцієнти каркасу: Стійки та плити 0,18%; Ізольована порожнина 0,78%; Оголовки 0,04%.

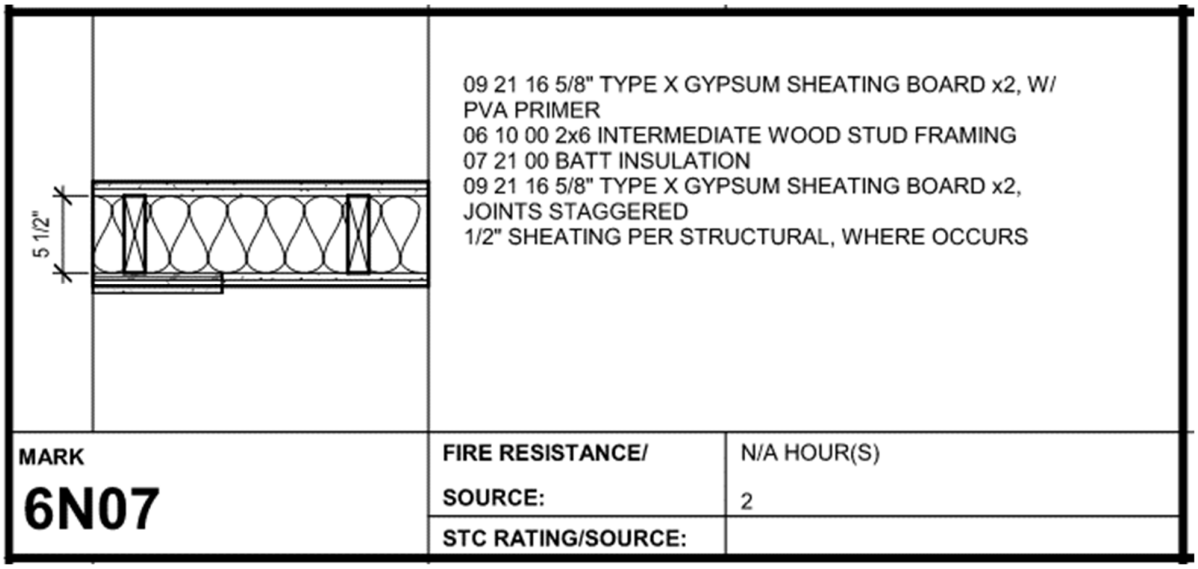



Рисунок 2.8 – Конструкція дерев’яного каркасу

Згідно додатка А таблиці А103.3.1 (5) для даної конструкцій U-0.054 BTU/ft$^2$·F·h, рисунок 2.9.

**NOTE:**

Nominal Batt R-value:
R-21 at 5.5 inch thickness

Installed Batt R-value:
R-21 in 5.5 inch cavity

TABLE A103.3.1(5)
2 x 6 Single Wood Stud: R-21 Batt

| R-value of Foam Board | Siding Material/Framing Type | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Lapped Wood | | | T1-11 | | |
| | STD | INT | ADV | STD | INT | ADV |
| 0 | 0.057 | 0.054 | 0.051 | 0.060 | 0.056 | 0.053 |
| 1 | 0.054 | 0.051 | 0.048 | 0.056 | 0.053 | 0.050 |
| 2 | 0.050 | 0.048 | 0.045 | 0.052 | 0.050 | 0.047 |
| 3 | 0.048 | 0.045 | 0.043 | 0.049 | 0.047 | 0.045 |
| 4 | 0.045 | 0.043 | 0.041 | 0.047 | 0.045 | 0.043 |
| 5 | 0.043 | 0.041 | 0.040 | 0.044 | 0.042 | 0.041 |
| 6 | 0.041 | 0.039 | 0.038 | 0.042 | 0.041 | 0.039 |
| 7 | 0.039 | 0.038 | 0.036 | 0.040 | 0.039 | 0.037 |
| 8 | 0.038 | 0.036 | 0.035 | 0.039 | 0.037 | 0.036 |
| 9 | 0.036 | 0.035 | 0.034 | 0.037 | 0.036 | 0.035 |
| 10 | 0.035 | 0.034 | 0.033 | 0.036 | 0.035 | 0.033 |
| 11 | 0.033 | 0.033 | 0.032 | 0.034 | 0.033 | 0.032 |
| 12 | 0.032 | 0.031 | 0.031 | 0.033 | 0.032 | 0.031 |

Рисунок 2.9 – Таблиці A103.3.1 (5) з додатка A 2018 SEC

Також до стін відповідно до нормативів відносяться такі конструкції як край бетонного пола та масообміну плита (Mass Transfer Deck Slab) – Бетонна плита, призначена для передачі структурного навантаження від стіни або колони по периметру будівлі, розташованої вище, на бокову стіну або колону, розташовану нижче, і яка має опалюваним або напівопалювальний простір всередині верхньої стіни. лінії нижче, і яка має опалюваним або напівопалювальний простір на внутрішній стороні верхньої стіни і зовнішній або неопалюваним простір на зовнішній стороні верхньої стіни (рис. 2.10).

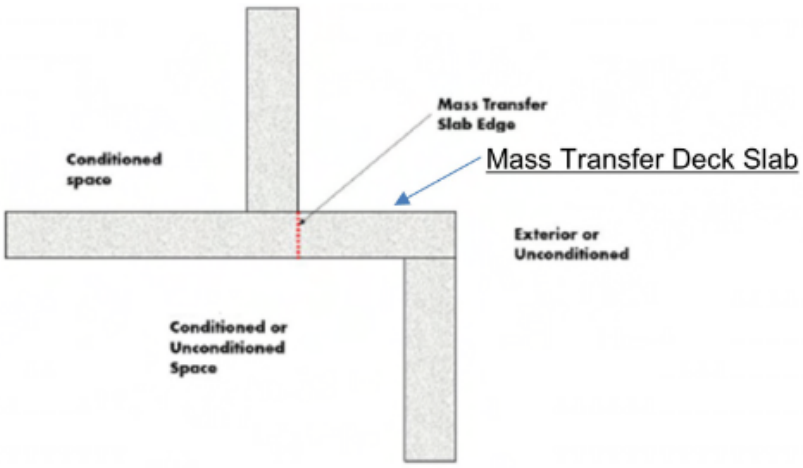



Рисунок 2.10 – Приклад масообміной плити

За проектом край бетонної плити ізольований жорсткою (пінополістирол) ізоляцією з загальною тепловою ефективностю R-5 $ft^2 \cdot F \cdot h/BTU$, масообміну плита(Mass Transfer Deck Slab) конструкційно важко ізолювати, адже потрібно робити тепловий розрив в монолітної бетонної плити. Для находжений U-фактори використовуються таблиця A103.3.7.2 з додатка А рисунок 2.11. Згідно з таблиці край бетонної плити матиме U-0.157 $BTU/ft^2 \cdot F \cdot h$, а масообміна плита(Mass Transfer Deck Slab) має U-0.741 $BTU/ft^2 \cdot F \cdot h$.

TABLE A103.3.7.2
DEFAULT U-FACTORS FOR PERIPHERAL EDGES OF INTERMEDIATE CONCRETE FLOORS

| Slab Edge Treatment | Average Thickness of Wall Above and Below | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 6 inches | 8 inches | 10 inches | 12 inches |
| Exposed Concrete | 0.816 | 0.741 | 0.678 | 0.625 |
| R-5 Exterior Insulation | 0.161 | 0.157 | 0.154 | 0.152 |
| R-6 Exterior Insulation | 0.138 | 0.136 | 0.134 | 0.132 |
| R-7 Exterior Insulation | 0.122 | 0.120 | 0.118 | 0.116 |
| R-8 Exterior Insulation | 0.108 | 0.107 | 0.106 | 0.104 |
| R-9 Exterior Insulation | 0.098 | 0.097 | 0.095 | 0.094 |
| R-10 Exterior Insulation | 0.089 | 0.088 | 0.087 | 0.086 |
| R-11 Exterior Insulation | 0.082 | 0.081 | 0.080 | 0.079 |
| R-12 Exterior Insulation | 0.076 | 0.075 | 0.074 | 0.074 |
| R-13 Exterior Insulation | 0.070 | 0.070 | 0.069 | 0.068 |
| R-14 Exterior Insulation | 0.066 | 0.065 | 0.065 | 0.064 |
| R-15 Exterior Insulation | 0.062 | 0.061 | 0.061 | 0.060 |

Рисунок 2.11 – Таблиці A103.3.1 (5) з додатка А 2018 SEC

Підлога, в якій є теплові втрати поділяєтеся на два типи:

1. Підлога по ґрунті. Для розрахунку підлоги по ґрунті використовуються показник F-фактор який викликана одиничною різницею температур зовнішнього і внутрішнього повітря, на одиницю лінійної довжини відкритого периметра підлоги. За енергетичному нормативом потрібно рахувати тільки підлогу по ґрунті яка знаходиться вище ніж 60,96 см (24 дюйма) рівня землі, а все що нижче вважаються що втрати теплоти незначні і утеплене не обов’язкове. В даному випадку підлогу по ґрунті потрібно утеплювати. За проектом утеплення зроблено з жорсткої ізоляції, яка має загальний горизонтально R-10 $ft^2 \cdot F \cdot h/BTU$ укладено в глибину на 60,96 см (24 дюйма) по периметру и має тепловий розрив не менше R-5 по краю плити. Згідно з таблиці A1036.1 з додатка А рисунок 2.12 F-0.54 $BTU/ft \cdot F \cdot h$.

**TABLE A106.1**
**DEFAULT F-FACTORS FOR ON GRADE SLABS**

| Insulation type | R-0 | R-5 | R-10 | R-15 |
|---|---|---|---|---|
| **Unheated Slab** | | | | |
| Uninsulated slab | 0.73 | — | — | — |
| 2 ft Horizontal (No thermal break) | — | 0.70 | 0.70 | 0.69 |
| 4 ft Horizontal (No thermal break) | — | 0.67 | 0.64 | 0.63 |
| 2 ft Vertical | — | 0.58 | 0.54 | 0.52 |
| 4 ft Vertical | — | 0.54 | 0.48 | 0.45 |
| Fully insulated slab | — | — | 0.36 | — |
| **Heated Slab** | | | | |
| Uninsulated slab | 0.84 | — | — | — |
| Fully insulated slab | — | 0.74 | 0.55 | 0.44 |
| R-5 Center (With perimeter insulation) | — | — | 0.66 | 0.62 |
| R-10 Center (With perimeter insulation) | — | — | — | 0.51 |
| 3 ft Vertical | — | — | 0.78 | — |

Рисунок 2.12 – Таблиці A103.3.1 (5) з додатка A 2018 SEC

2. Бетонні перекриття к неопалюваним простору. За проектом має загальну показник ізоляції R-30 $ft^2 \cdot F \cdot h/BTU$ рис 2.11 і має показник U-0.031 $BTU/ft^2 \cdot F \cdot h$ згідно додатка A таблиці A105.1(3) (рис. 2.13 та 2.14).

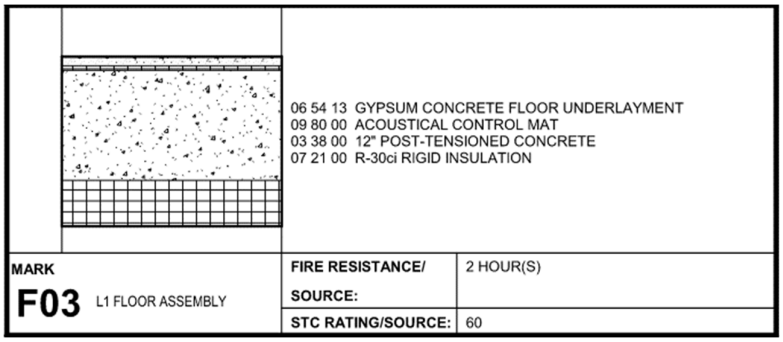



Рисунок 2.13 – Бетонні перекриття к неопалюваним простору

**TABLE A105.1(3)**
**DEFAULT U-FACTORS FOR EXPOSED FLOORS**

| U-Factor | | | |
|---|---|---|---|
| Nominal R-Value | Concrete | Wood Joist | Metal Joist |
| R-11 | 0.077 | 0.088 | 0.14 |
| R-15 | 0.059 | 0.076 | 0.12 |
| R-19 | 0.048 | 0.062 | 0.11 |
| R-21 | 0.043 | 0.057 | 0.11 |
| R-25 | 0.037 | 0.051 | 0.10 |
| R-30 | 0.031 | 0.040 | 0.09 |
| R-38 | 0.025 | 0.034 | 0.08 |

Рисунок 2.14 – Таблиці A105.1(3) з додатка A 2018 SEC

Вікна поділяються на два типи, перший вікна класу "AW" та все інші, адже вони за нормативом мают розное тепловой требование. Клас AW - це позначення AAMA для вікон, які зазвичай використовуються в середньо поверхових і висотних будівлях для протистояння високим вітровим і водним навантаженням, рама виготовляться виключно із металічного каркасу. До іншого типу відносяться вікна зроблені із металопластика або дерев'яних рам.

Кожне вікно яке встановлюються має бути сертифіковане NFRC і мати відповідну етикетку (рис. 2.15) NFRC є незалежною некомерційною організацією, яка встановлює об'єктивні рейтинги енергоефективності вікон, дверей і мансардних вікон, щоб допомогти вам порівнювати продукти та приймати обґрунтовані рішення щодо купівлі такими способами:

Рисунок 2.15 – Етикетка сертифіката NFRC

За проектом вікна матимуть наступні номера NFRC та теплові властивості:

- Неметалевий, нерухомий: U-0.21 SHGC 0.38 VPI-A-18-01970-00001;
- Неметалеві, що відкриваються: U-0.21 SHGC 0.36 VPI-A-20-02174-00001;
- Двері неметалеві, розсувні: U-0.21 SHGC 0.27 VPI-A-57-00869-00001;
- Двері неметалеві на петлях: U-0.21 SHGC 0.31 VPI-A-49-01153-00001.

## 2.2 Відповідність оболонки будівлі за нормативом 2018 SEC

Як зазначалося раніше, будівля побудована в відповідності до ряду нормативів міста Сіетл, а саме: 2018 SEC, 2018 SMC, 2018 SPSC, 2018 SBC, 2018 SRC і т.д., а отже архітектурні рішення в певній мірі продиктовані цими нормативами. Відповідно до енергетичного нормативу розділу 4 2018 SEC огороджувальні конструкції повіни відповідати для кожної групи занятості відповідними теплофізичними показниками. Для демонстрація відповідності кожного компонента оболонки будівлі в “Департамент будівництва та інспекцій Сіетла” (SDCI) [17], відповідну форму відповідності Енергетичному кодексу Сіетла 2018 для комерційних будівель, [17]. Є два шляхи відповідності оболонки будівлі перший – потрібно щоб всі значення питомого опору ізоляції відповідних конструкті відповідали нормативу, що свою чергу для таких конструкцій як масообміну плита (Mass Transfer Deck Slab) та край бетонної плити конструкційно важко ізолювати за нормативом, тому майже всі проекти роблять другий варіант який має назву “Продуктивність компонентів”.

В “Продуктивність компонентів” потрібно показати що сума площі компонентів будівлі помножена на коефіцієнт теплопередачи (U-фактор) відповідно за проектом буде менше або рівно сумі тих самих площ помножена на коефіцієнт теплопередачи (U-фактор) відповідно нормативних значень таблиця 2.1 , формула для порівняна  з нормативом наведено на рисунку 2.16.

Такий підхід дозволяє роботи окремі компоненти оболонки будівлі гірше ніж цього потребує норматив, але в водночас потрібно компенсувати цю різницю в інших компонентах оболонки, в більшості випадків це компенсуєтеся за допомогу встановлення більш продуктивних вікон, адже вони не потребують змін в конструкція будівлі.

**Proposed Total UA ≤ Allowable Total UA** **(Equation 4-2)**

Where:

| | | |
|---|---|---|
| **Proposed Total UA** | = | UA-glaz-prop + UA sky-prop + UA-opaque-prop + FL-slab-prop |
| **Allowable Total UA** | = | UA-glaz-allow + UA-glaz-excess + UA sky-allow + UA-sky-excess + UA-opaque-allow + FL-slab-allow |
| **UA-glaz-prop** | = | Sum of (proposed *U*-value × proposed area) for each distinct vertical fenestration type, up to code maximum area |
| **UA-sky-prop** | = | Sum of (proposed *U*-value × proposed area) for each distinct skylight type, up to the code maximum area |
| **UA-opaque-prop** | = | Sum of (proposed *U*-value × proposed area) for each distinct opaque thermal envelope type |
| **FL-slab-prop** | = | Sum of (proposed *F*-value × proposed length) for each distinct slab on grade perimeter assembly |
| **UA-glaz-allow** | = | Sum of (code maximum vertical fenestration *U*-value from Table C402.4, or Section C402.4.1.1.2 if applicable, × proposed area) for each distinct vertical fenestration type, not to exceed the code maximum area[1] |
| **UA-glaz-excess** | = | *U*-value for the proposed wall type from Table (( ~~C402.4[2]~~ )) C402.1.4[2] × vertical fenestration area in excess of the code maximum area |
| **UA-sky-allow** | = | Sum of (code maximum skylight *U*-value from Table C402.4 × proposed area) for each distinct skylight type proposed, not to exceed the code maximum area |
| **UA-sky-excess** | = | *U*-value for the proposed roof type from Table C402.4[3] × skylight area in excess of the code maximum area |
| **UA-opaque-allow** | = | Code maximum opaque envelope *U*-value from Table C402.1.4 for each opaque door, wall, roof, and floor assembly × proposed area |
| **FL-slab-allow** | = | Code maximum *F*-value for each slab-on-grade perimeter assembly × proposed length |

Рисунок 2.16 – формула для порівняння відповідності оболонки будівлі з 2018 SEC

Таблиця 2.1 – Мінімальне значення питомого опору ізоляції та Максимальний U-фактор Збірки

| **Шлях, що прописаний нормативом** | **Таблиця C402.1.3** | | **Таблиця C402.1.4** | |
|---|---|---|---|---|
| | **Мінімальне значення питомого опору ізоляції** | | **Максимальний U-фактор компонентів** | |
| **Група зайнятості** | **Всі інші** | **Група R** | **Всі інші** | **Група R** |
| **Непрозорі елементи** | | | | |
| ***Покрівлі*** | | | | |
| Ізоляція повністю над покрівлі | R-38 c.i. | R-38 c.i. | U-0.027 | U-0.027 |
| Металева покрівля (з терморозпірним блоком) | R-25 + R-22 Ls | R-25 + R-22 Ls | U-0.027 | U-0.027 |
| Горище та інші | R-49 | R-49 | U-0.021 | U-0.021 |
| Балочні або односхилі | R-49 | R-49 | U-0.027 | U-0.027 |
| ***Стіни, над рівнем землі*** | | | | |
| Бетоні | Зовнішні R-16 c.i., або<br>Внутрішні R-13 + R6 c.i. дерев'яна шпилька, або<br>Внутрішні R-13 + R-10 c.i. металевий шип | | U-0.057 | U-0.057 |
| масообміну плита(Mass Transfer Deck Slab) | Відсутність R-значення | | U-0.200 | U-0.200 |
| Плитна проникаюча теплоізоляційна стіна | Відсутність R-значення | | U-0.100 | U-0.100 |
| Металоконструкції | R-19 c.i., or R-13 + R-13 c.i. | | U-0.052 | U-0.052 |
| Сталевий каркас | R-13 + R-10c.i. | R-19 + R-8.5 c.i. | U-0.055 | U-0.055 |
| Дерев'яні каркас та інші | R-13 + R-7.5 c.i. | R-13 + R-7.5 c.i., or R-20 + R3.8 c.i., or R25 | U-0.051 | U-0.054 |
| ***Стіна нижче рівня землі*** | Зовнішній вигляд: R-10 c.i.<br>Внутрішнє оздоблення: Дерев'яна шпилька R-19, або<br>R-13 + R-6 c.i. металева шпилька | | U-0.070 | U-0.070 |
| ***Підлоги*** | | | | |
| Бетоні | R-30 c.i. | R-30 c.i. | U-0.031 | U-0.031 |
| Сталева балка | R-38 + R-10 c.i. | R-38 + R-10 c.i. | U-0.029 | U-0.029 |
| Дерев'яний брус | R-38 | R-38 | U-0.025 | U-0.025 |
| Бетонна колона / стіна проникаюча підлога | Відсутність R-значення | | U-0.55 | U-0.55 |
| Бетонна плита безпосередньо над електрощитовою | Відсутність R-значення | | N.R. | N.R. |
| Підлога по ґрунті | | | | |
| Неопалювальний | R-10 на 24 дюйма (зверху плити) | | F-0.54 | F-0.54 |
| З підігрівом | R-10 по периметру та під всією плитою | | F-0.55 | F-0.55 |

Продовження таблиці 2.1

| **Шлях, що прописаний нормативом** | **Таблиця C402.1.3** | | **Таблиця C402.1.4** | |
|---|---|---|---|---|
| | **Мінімальне значення питомого опору ізоляції** | | | |
| **Група зайнятості** | **Всі інші** | **Група R** | **Всі інші** | **Група R** |
| ***Непрозорі двері*** | | | | |
| Розпашні | U-0.37 | U-0.37 | U-0.37 | U-0.37 |
| Нерозпашні (крім гаражних воріт < 14% засклення) | R-4.75 | R-4.75 | U-0.34 | U-0.34 |
| Гаражні ворота < 14% скління | Відсутність R-значення | | U-0.31 | U-0.31 |
| **Скління** | **Максимальний U-фактор компонента** | | | |
| | ***Таблиця C402.4 - 0-35% від площі стіни, або 35%-40% відповідно до розділу C402.4.1.1 DLZ*** | | ***Розділ C402.3.1.4 Варіант високоефективного огородження - 0-40% площі стіни*** | |
| ***Вертикальне скління*** | | | | |
| Клас AW (фіксований) | U-0.34 | | U-0.30 | |
| Клас AW (відкривається) | U-0.36 | | U-0.36 | |
| Вхідні двері | U-0.60 | | U-0.60 | |
| Всі інші (фіксований) | U-0.26 | | U-0.22 | |
| Всі інші (відкривається) | U-0.28 | | U-0.24 | |
| ***Мансардні вікна*** | | | | |
| Мансардні вікна | U-0.45 | | U-0.45 | |
| ***Вертикальне остеклення*** | **Максимальний коефіцієнт SHGC компонента** | | | |
| ***Вертикальне скління*** | PF<0.2: північ - SHGC=0.51; всі інші SHGC=0.38<br>0.2 ≤ PF < 0.5: північ - SHGC-0.56; всі інші - SHGC-0.45<br>PF ≥ 0.5: північ - SHGC-0.61; всі інші - SHGC-0.61 | | PF<0.2: північ - SHGC=0.46; всі інші SHGC=0.34<br>0.2 ≤ PF < 0.5: північ - SHGC-0.50; всі інші - SHGC-0.40<br>PF ≥ 0.5: північ - SHGC-0.55; всі інші - SHGC-0.55 | |
| ***Вертикальне скління*** | SHGC-0.32 | | SHGC-0.32 | |

Також для вертикального скління за нормативом нормується коефіцієнт пропускання сонячного тепла (SHGC), адже Сієтл має більш теплий клімат, і цей показник важливий для енергоспоживання в літній період. Для півночі допускається використовувати збільшений SHGC, так як на цю сторону світу потрапляй найменше сонячного випромінювання на всі інші однаковий показник таблиця 2.1. Для розрахунку відповідності SHGC використовують ту саму логіку як і для теплової оболонки будівлі, формула для порівняння відповідності SHGC з 2018 SEC наведено на рисунку 2.17.

**Proposed Total SHGC×A ≤ Allowable Total SHGC×A** **(Equation 4-3)**

Where:

| | | |
|---|---|---|
| **Proposed Total SHGC×A** | = | SHGC×A-glaz-prop + SHGC×A sky-prop |
| **Allowable Total SHGC×A** | = | SHGC×A-glaz-allow + SHGC×A-sky-allow |
| **SHGC×A-glaz-prop** | = | Sum of (proposed SHGC × proposed area) for each distinct vertical fenestration type |
| **SHGC×A-sky-prop** | = | Sum of (proposed SHGC x proposed area) for each distinct skylight type |
| **SHGC×A-glaz-allow** | = | Sum of (code maximum vertical fenestration SHGC from Table C402.4, or Section C402.4.1.3 if applicable, × proposed area) for each distinct vertical fenestration type, not to exceed the code maximum area |
| **SHGC×A-sky-allow** | = | Sum of (code maximum skylight SHGC from Table C402.4 × proposed area) for each distinct skylight type, not to exceed the code maximum area |

Рисунок 2.17 – Формула для порівняння відповідності SHGC з 2018 SEC

На рисунках 2.18-2.21 представлена форма розрахунку відповідності будівлі, яка буде відправлена SDCI, для отримання відповідних документів для будівництва.

## Project Summary — PROJ-SUM

2018 Seattle Energy Code Compliance Forms for Commercial Buildings including R2, R3, & R4 over 3 stories and all R1 Revised Mar 2021 rev. 1

### General Info

*This PROJ-SUM form shall be provided as a cover sheet for all compliance form submittals.* ***Project Title*** *shall match plans title block.*

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Project Title:** | **LYNN ST APARTMENTS** | Date | 12/1/2022 |
| Project Street Address: | | For SDCI Use | |
| Project City, County, Zip: | **SeattleE, WA 98102** | | |
| Project Owner or Rep: | **Johnston Architects, LLC** | | |
| Jurisdiction: | **Seattle, WA** | | |

### Project Description

*Select all that apply to the scope of project.*

*Select Addition + Existing or Alteration + Existing if the existing building will be combined with the addition or alteration to demonstrate compliance per Section C502.1 or C503.1.*

New Construction and Additions

- [x] New Building
- [ ] Building Addition

Existing Building Retrofit

- [ ] Alteration
- [ ] Change of Occupancy
- [ ] Change in Space Conditioning
- [ ] Historic Building
- [ ] Substantial Alteration

Building Elements Scope - Select all that apply

- [ ] All
- [x] Building Envelope
- [ ] Mechanical Systems
- [ ] Service Hot Water Systems
- [ ] Lighting Systems
- [ ] Electrical Systems

### Occupancy Type

- ( ) All Commercial
- (•) Group R - R2, R3, & R4 over 3 stories and all R1
- ( ) Mixed Use

***Mixed Use*** *- Building is greater than three stories above grade and it has both Commercial and Group R occupancies.*

***Mixed Occupancy*** *- Building is three stories or less above grade and it has both Commercial and Group R2, R3 or R4 occupancies. Select All Commercial to document compliance for the commercial areas of the building. The residential spaces shall comply with the WSEC Residential Provisions.*

### Space Conditioning Categories

*Select all that apply to the scope of project*

- [x] Fully Conditioned
- [ ] Unconditioned[3]
- [ ] Refrigerated Spaces (Warehouse and/or Walk-in[1])
- [ ] Low energy[3]
- [ ] Semi-heated[2]
- [ ] Greenhouse[4]
- [ ] Personal wireless service facility shelter
- [ ] Equipment building
- [ ] Standalone elevator hoistway

### Floor Area and Stories

| Floors Above Grade | Building Gross Conditioned Floor Area | Project Gross Conditioned Floor Area |
|---|---|---|
| 5 | 16,787 | 16,787 |

### General Compliance Path

- (•) Prescriptive/Component Performance
- ( ) Total Building Performance
- ( ) Target Performance Path

***Prescriptive / Component Performance*** *- Projects shall demonstrate compliance with all applicable mandatory and prescriptive requirements of this code. Refer to C401.2, Item 1 for more information. Compliance forms to include with a Prescriptive submittal: All applicable ENV, LTG, and MECH.*

***Total Building Performance*** *- Projects complying via total building performance (TBP) shall include a summary of results from a whole building energy model per Section C407 and shall demonstrate compliance with all applicable mandatory provisions in this Code. Refer to Section C401.2, Item 2 for more information. Compliance forms to include with a TPB submittal: All applicable ENV, LTG, and MECH, and the Energy Analysis Summary.*

***Target Performance Path****- Projects complying via the Target Performance Path (TPP) shall include a summary of results from a whole building energy model per Section C407 and shall demonstrate compliance with all applicable mandatory provisions of C407.2. Refer to Section C401.3 for more information. Compliance forms to include with a TPP submittal: All applicable ENV, LTG, and MECH, and the Energy Analysis Summary.*

*Note 1 - Refrigerated Spaces - They shall comply with the envelope and refrigeration equipment requirements in Section C410. Warehouse coolers and freezers shall also comply with the envelope requirements in C402. C410 takes precedence for overlapping requirements.*
*Note 2 - Semi-heated Spaces - If heated with equipment other than electric resistance of limited capcity and not cooled may take an exemption for wall insulation. All other envelope assemblies shall comply with the thermal envelope provisions. See C402.1.1.2 for details.*
*Note 3 - Low Energy spaces including unconditioned spaces are exempt from all provisions in WSEC Section C402 Building Envelope, however all other applicable provisions in the Code do apply including lighting, mechanical, service water heating, etc.*
*Note 4 - Eligible greenhouses are defined as spaces that maintain a specialized sunlit environment that is used exclusively for cultivation, protection and maintenance of plants. Cooling with outside air and/or evaporative cooling is allowed, but cooling equipment that requires a condensing unit is NOT eligible. Radiant heating systems, gas or propane fired condensing heating systems and heat pumps with cooling disabled are allowed but all other heating systems are not.*

Рисунок 2.18 – Форма для розрахунку відповідності оболонки будівлі

**Envelope Summary** **ENV-SUM**

2018 Seattle Energy Code Compliance Forms for Commercial Buildings including R2, R3, & R4 over 3 stories and all R1 Revised Mar 2021 rev. 1

| | | |
|---|---|---|
| **Project Info** | **Project Title:** **LYNN ST APARTMENTS** | Date **12/01/2022** |
| ***Compliance forms do not require a password to use.*** *Instructional and calculating cells are write-protected.* | *Applicant Information. Provide contact information for individual who can respond to inquiries about compliance form information provided.* | For SDCI Use |
| | Company Name: | |
| | Company Address: | |
| | Applicant Name: | |
| | Applicant Phone: | |
| | Applicant Email: | |

| | |
|---|---|
| **Project Description** | ☑ New Building ☐ Addition ☐ Alteration ☐ No Envelope Scope |
| **Envelope Project Scope** *Select all that apply.* | ☐ All Commercial ☑ Group R - Commercial ☐ Mixed Use - Commercial + Group R<br>☐ Semi-heated ☐ Refrigerated Cooler ☐ Refrigerated Freezer ☐ Equipment Building |
| **Envelope Description** *Provide brief description of the project and relevant supporting documentation.* *If project includes multiple Target Insulation Allowance areas, and/or is demonstrating compliance as an Addition + Existing, Alteration + Existing, or Addition + Alteration + Existing project, provide a brief summary of the approach to whole building compliance.* | DEMO EXISTING QUADPLEX; BUILD 15-UNIT APARTMENT BUILDING WITH BELOW GRADE 10-STALL GARAGE & 5 SURFACE PARKING STALLS OFF ALLEY |
| **Air Barrier Testing** *Air barrier testing is required for all new construction projects. Testing criteria is 0.25 cfm/ft² under test pressure of 0.3 inch w.g.* *To comply with C406.11, demonstrate that measured air leakage does not exceed 0.17 cfm/ft² .* | ☑ Air barrier testing per Section C402.5.1.2 included in project scope<br>☐ Additional Efficiency Package Option - C406.11 Reduced Air Infiltration<br>☐ Testing not required. Explanation: |

| | |
|---|---|
| **Compliance Documentation Scope and Method** | |
| **Scope of This Calculation** | ☑ New Building ☐ Addition ☐ Alteration ☐ No Envelope Scope |
| **Target Insulation Allowance** *Sets the title and calculations in the compliance forms. Selection required to enable forms.* | ◉ Fully Conditioned - Commercial, Group R, Mixed Use<br>○ Semi-heated ○ Refrigerated Cooler ○ Refrigerated Freezer<br>*If project includes more than one Target Insulation Allowance area, and/or if project includes addition and alteration areas complying independently, for each area complete an ENV-SUM form Rows 16-55 and either an ENV-PRESCRIPTIVE form, or ENV-UA + ENV-SHGC forms if demonstrating compliance via component performance.* |
| **Envelope Compliance Path** *Selection required to enable forms.* | ○ Prescriptive ◉ Component Performance |
| **Component Performance Calculation Adjustments** | ☐ Change of Occupancy (C503.2) / Conditioning (C505)/C407 - *10% higher UA allowed*<br>☐ Substantial Alteration (C503.8) - *15% higher than C402.1.5 UA allowed*<br>☐ Additional Efficiency Package Option - C406.8 Enhanced Envelope - *15% lower UA allowed* |

Рисунок 2.19 – Форма для розрахунку відповідності оболонки будівлі

## Envelope Summary, pg. 2 — ENV-SUM

2018 Seattle Energy Code Compliance Forms for Commercial Buildings including R2, R3, & R4 over 3 stories and all R1 — Revised Mar 2021 rev. 1

| Project Title: | LYNN ST APARTMENTS | Date | 12/01/2022 |
|---|---|---|---|

### Additions

◯ Addition stand alone ◯ Addition + Existing

***Addition stand alone*** *- Complete Vertical Fenestration and Skylight Area Calculation. Enter total existing-to-remain wall, roof, vertical fenestration and skylight areas as EXISTING. Enter total addition envelope assembly areas as NEW. If resulting total building WWR exceeds 30% and/or SSR exceeds 5%, refer to C502.2.1 and C502.2.2 for prescriptive compliance alternatives. If complying via component performance, complete ENV-UA per instructions for addition stand alone projects.*

***Addition + existing*** *- Complete ENV-UA per instructions for addtion + existing projects.*

### Alterations - Fenestration and Skylight

☐ Replacement windows only, or resulting total building WWR ≤ original WWR

☐ Replacement skylights only, or resulting total building SRR ≤ original SRR

☐ Total building WWR increased by alteration

☐ Total building SRR increased by alteration

***WWR and SRR not increased*** *- Vertical Fenestration and Skylight Area Calculation not required.*

***WWR and/or SRR increased*** *- Complete Vertical Fenestration and Skylight Area Calculation. Enter total existing-to-remain wall, roof, vertical fenestration and skylight areas as EXISTING. Enter total altered envelope assembly areas as NEW. If resulting total building WWR exceeds 30% and/or SSR exceeds 5%, refer to C503.3.2 and C503.3.3 for prescriptive compliance alternatives. If complying via component performance, complete ENV-UA per instructions for alteration + existing projects.*

### Vertical Fenestration and Skylight Area Calculation

***Prescriptive Path*** *- Enter envelope sf values directly into this section of ENV-SUM for vertical fenestration, skylights, net walls and roof. For Additions and Alterations, refer to these sections in ENV-SUM for further instructions.*

***Component Performance*** *- When this Envelope Compliance Path is selected, write-protection of this section is enabled. Enter envelope sf values for all assemblies into the ENV-UA form. Envelope information from*

| | Total Vertical Fenestration Area (rough opening) | NET Exterior Above Grade Wall Area | Total Skylight Area (rough opening) | NET Exterior Roof Area |
|---|---|---|---|---|
| New | 4327 | 12902 | 0 | 3118 |
| Existing | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Total | 4,327 | 12,902 | 0 | 3,118 |
| | Vertical Fenestration-to-Wall Ratio (WWR) | 25.1% | Skylight-to-Roof Ratio (SRR) | |

| | | |
|---|---|---|
| **Exempt Single Glass** *Always enter exempt glazing area here.* | Area _____ | *Enter area here and: if complying prescriptively exempt area MUST also be included in total vertical fenestration in cell D30; If complying via component performance do not enter exempt glazing on ENV-UA or ENV-SHGC.* |
| **Mechanical Equipment Penetrations** *Always enter mech. equipment area here.* | Area _____ | |
| **Vertical Fenestration Area Compliance** | **Vertical Fenestration Area** | **VERTICAL FENESTRATION AREA COMPLIES WITH MAXIMUM ALLOWANCE** |
| **Skylight Area Compliance** | **Skylight Area** | **NO SKYLIGHT PROPOSED. COMPILIES WITH MAXIMUM ALLOWANCE.** |

### Maximum Prescriptive Vertical Fenestration (%)

*35% per C402.4.1.1*

### Vertical Fenestration Alternates

◯ High performance fenestration U-factors and SHGC per C402.4.1.1.2

◯ 50% or more of CONDITIONED floor area is within DLZ per C402.4.1.1.1

*Show locations of qualifying daylight zone areas and ft² on project plans.*

*For Daylight Zone Area Calculations -*
*a) Sidelight areas include primary + secondary daylight zone areas.*
*b) Include overlapping toplight and sidelight daylight zone areas under Toplight.*

**Daylight Zone Calculations**

| Daylight Zone Fenestration Alternate Not Selected. No Calculations Required | Sidelight Daylight Zone Area | Toplight Daylight Zone Area | Percent Daylight Zone Area |
|---|---|---|---|
| | | | |

### Street Level Retail

*If C402.4.1 Street Level Retail glazing exception taken for any portion of building read Street Level Retail instructions on Readme.*

Street Level Retail with other areas ◯

| | |
|---|---|
| Enter gross wall area per C402.4.1 exception requirements: | n/a |
| Enter total window area in Street Level Retail qualified wall : | n/a |
| Area of window transferred from other areas: | n/a |

Рисунок 2.20 – Форма для розрахунку відповідності оболонки будівлі

## Envelope Summary, pg. 3 — ENV-SUM

2018 Seattle Energy Code Compliance Forms for Commercial Buildings including R2, R3, & R4 over 3 stories and all R1 — Revised Mar 2021 rev. 1

| Project Title: | LYNN ST APARTMENTS | Date | 12/01/2022 |
|---|---|---|---|

### Single Story Spaces Requiring Skylights

*In these spaces a minimum of 50% of the floor area shall be within a skylight daylight zone (DLZ). Refer to C402.4.2 for requirements.*

*SRR = Skylight to roof ratio*

*List all enclosed spaces that exceed 2,500 ft², have ceiling height greater than 15 ft, and are space types required to comply with this provision. Indicate aperture with "AP" prefix ( AP 1.1%)*

| Space | Area (ft²) | DLZ Area (ft²) | SRR or Aperture | Exception |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |
| | | | | |

### Envelope Exemptions

#### Low Energy and Semi-heated Spaces

*Low energy spaces per C402.1.1.1 are exempt from the thermal envelope provisions. Uncooled, semi-heated spaces heated by systems other than electric resistance are exempt from wall insulation provisions only per C402.1.1.2.*

*List all installed equipment in spaces claiming this exemption to verify eligibility based on installed peak heating and cooling capacity per sf.*

#### Equipment Buildings

*Equipment buildings are exempt from the thermal envelope provisions per C402.1.2.*

*The following shall be met to be eligible: building size ≤ 500 sf, average wall/roof U-factor ≤ U-0.20, electronic equipment load ≥ 7 watts/sf, heating system output capacity ≤ 17,000 btu/h. Cooling system capacity not limited. Heat pumps can be larger than 17,000Btuh if cooling efficiency is 15% better than Table C403.3.2(2).*

| | Wall Insulation R-Value | Roof Insulation R-Value | Overall Average U-Factor |
|---|---|---|---|
| Equipment Building Envelope | | | |
| Electronic equipment power (watts/sf) | | | |
| Cooling system capacity (Btu/hr) | | | |
| Heating system output capacity (Btu/hr) | | | |
| Heat pump system capacity (Btu/hr) | | | |
| Heat pump system cooling efficiency | | | |
| Heat pump code required cooling efficiency | | | |

## Component Performance Path, pg. 1 — ENV-UA

2018 Seattle Energy Code Compliance Forms for Commercial Buildings including R2, R3, & R4 over 3 stories and all R1 — Revised Mar 2021 rev. 1

| Project Title: | LYNN ST APARTMENTS | Date | 12/01/2022 |
|---|---|---|---|

**Target Insulation Allowance:** Fully Conditioned Space - Commercial, Group R, Mixed Use

For SDCI Use

**Calculation Adjustments** None

**Fenestration Area** as % gross above-grade wall area — 25.1% — Max. Target: 35.0%

**Skylight Area** as % gross roof area — Max. Target: 5.0%

**Vertical Fenestration Alternates:** None Selected on ENV-SUM

| For Stand-alone Projects[14,15] / Existing-to-remain Areas | | | | | User Note |
|---|---|---|---|---|---|
| | Vertical Fenestration | | Net Wall | | |
| | Skylights | | Net Roof | | |

| Envelope Component | | | | Proposed UA | | | Target UA | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Cavity+CI | Plan/Detail # | U-factor Source & Table # [2] | U-factor | x Area (A) | = UA (U x A) | U-factor | x Area (A) = | UA (U x A) |
| Roofs – Deck | R= | | | | | | 0.027 | | |
| | R= | | | | | | Above Deck Insulation | | U-0.027 |
| | R= | | | | | | | | |
| Roofs – Mtl Bld | R= | | | | | | 0.027 | | |
| | R= | | | | | | Metal Building | | U-0.027 |
| | R= | | | | | | | | |
| Roofs – Joist/Rfr | R= | | | | | | 0.027 | | |
| | R= | | | | | | Joist/single rafter | | U-0.027 |
| | R= | | | | | | | | |
| Roofs – Attic/Oth | R= 30 + (20:30)ci | R01 / A815 / Level 5 | Table A101.5, Table A102.2.6(2) | 0.018 | 618 | 11.1 | 0.021 | 3118 | 65.5 |
| | R= 30 + (20:35)ci | R01 / A815 / Level 5 | Table A101.5, Table A102.2.6(2) | 0.017 | 956 | 16.3 | Single raft, attic, other | | U-0.021 |
| | R= 30 + (20:40)ci | R01 / A815 / Level 5 | Table A101.5, Table A102.2.6(2) | 0.016 | 314 | 5.0 | | | |
| | R= 30 + (20:45)ci | R01 / A815 / Level 5 | Table A101.5, Table A102.2.6(2) | 0.015 | 358 | 5.4 | | | |
| | R= 30+20ci | R01 / A815 / Stear and Elev | Table A101.5 | 0.020 | 238 | 4.8 | | | |
| | R= 30+20ci | R02 / A815 / Level 4 | Table A101.5 | 0.020 | 634 | 12.7 | | | |
| Opaque Walls - Above Grade[5,6,7] – Steel | R= | | | | | | 0.055 | | |
| | R= | | | | | | Steel/metal frame | | U-0.055 |
| | R= | | | | | | | | |
| Walls – Mtl Bld. | R= | | | | | | 0.052 | | |
| | R= | | | | | | Metal Building | | U-0.052 |
| | R= | | | | | | | | |
| Walls – Wood/Oth | R= | 6X01,6X02, 6N07 / ARCH / Levels P1-5, Roof | Table A103.3.1(5) | 0.054 | 11564 | 624.5 | 0.051 | 11564 | 589.8 |
| | R= | | | | | | Wood Frame, other | | U-0.051 |
| | R= | | | | | | | | |
| Walls – Mass | R= 5ci | Slab edge / Level 1 | Table A103.3.7.2 | 0.157 | 43 | 6.8 | 0.057 | 1092 | 62.2 |
| | R= 21 | 3X02+6N06 / A810 / Leves P1-1 | Table A101.5 | 0.057 | 748 | 42.6 | Mass Wall | | U-0.057 |
| | R= 10ci | 3X02+10ci / A810 / Leve P1 | Table A101.5 | 0.088 | 301 | 26.5 | | | |
| Walls – Transfer[4] | R= unins | Level 1 | Table A103.3.7.2 | 0.741 | 202 | 149.7 | 0.200 | 202 | 40.4 |
| | R= | | | | | | Mass Transfer Deck | | U-0.20 |
| | R= | | | | | | | | |
| Slab | R= | | | | | | 0.100 | | |

Рисунок 2.21 – Форма для розрахунку відповідності оболонки будівлі

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Intr. Sl | R= | | | | | | Slab piercing wall ins | | U-0.10 |
| | R= | | | | | | | | |
| Below Grd. Wall[4] | R= 10ci | Elev. Pit. | Table A101.5 | 0.080 | 159 | 12.7 | 0.070 | 719 | 50.3 |
| | R= unins | Slab edge / Level 1 | Table A101.5 | 0.373 | 33 | 12.3 | Assumed to be Mass Wall | | U-0.07 |
| | R= 21 | 3X02+6N06 / A810 / Leves P1-1 | Table A101.5 | 0.057 | 258 | 14.7 | | | |
| | R= 10ci | 3X01 / A810 / Leve P1 | Table A101.5 | 0.080 | 269 | 21.5 | | | |
| Floors[8] Mass | R= 30ci | F03 / A815 / Level 1 | Table A105.1(3) | 0.031 | 2301 | 71.3 | 0.031 | 2301 | 71.3 |
| | R= | | | | | | Mass Floor | | U-0.031 |
| | R= | | | | | | | | |
| Floors[8] Mtl Joist | R= | | | | | | 0.029 | | |
| | R= | | | | | | Joist/Framing, metal | | U-0.029 |
| | R= | | | | | | | | |
| Floors[8] Wd Joist | R= | | | | | | 0.025 | | |
| | R= | | | | | | Joist/Framing, wood | | U-0.025 |
| | R= | | | | | | | | |
| | | | | | Area[1] | UA | | Area[1] | UA |
| | | | | Page 1 Subtotal | 18996 | 1038 | | 18996 | 880 |

## Component Performance Path, pg. 2 — ENV-UA

2018 Seattle Energy Code Compliance Forms for Commercial Buildings including R2, R3, & R4 over 3 stories and all R1 — Revised Mar 2021 rev. 1

| Project Title: | LYNN ST APARTMENTS | | | Date | 12/01/2022 |
|---|---|---|---|---|---|
| **Fenestration Area** as % gross above-grade wall area | 25.1% | Max. Target: | 35.0% | For Building Department Use | |
| **Skylight Area** as % gross roof area | | Max. Target: | 5.0% | | |

| Building Component | Ins. R | Plan/Detail # | F-factor Source & Table # [9] | Proposed UA F-factor | x Perimeter | = FP(F x P) | Target UA F-factor | x Perimeter = | FP (F x P) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Slab-on-grade[8] Unheated | R= 10ci | F04 / A815 / Level P1 | Table A106.1 | 0.540 | 101 | 54.5 | 0.540 | 101 | 54.5 |
| | R= | | | | | | Slab-On-Grade | | U-0.55 |
| | R= | | | | | | | | |
| Slab-on-grade[8] Heated | R= | | | | | | 0.550 | | |
| | R= | | | | | | Heated Slab-On-Grade | | U-0.54 |
| | R= | | | | | | | | |
| | Schedule ID | | U-factor Source[10,11] | U-factor | x Area (A) | = UA (U x A) | U-factor | x Area (A) = | UA (U x A) |
| Doors[8,9] Swinging | 6S1, P1S1 | | Table A107.1(1) | 0.370 | 44 | 16.3 | 0.370 | 44 | 16.3 |
| | | | | | | | Opaque Swing Doors | | U-0.37 |
| Doors[8,9] Garage | | | | | | | 0.600 | | |
| | | | | | | | Garage Door, <14% Glaz. | | U-0.60 |
| Doors[8,9] Other | | | | | | | 0.340 | | |
| | | | | | | | Opaque rollup & sliding | | U-0.34 |
| Vertical Fenestration[8,11] AW, fixed | ST1, ST03 | | NFRC Certified | 0.34 | 47 | 16.0 | 0.34 | 47 | 16.0 |
| | | | | | | | AW, Fixed | | U-0.34 |
| Vertical Fenestration[8,11] AW, op. | | | | | | | 0.36 | | |
| | | | | | | | AW, Operable | | U-0.36 |
| Vertical Fenestration[8,11] Mtl entry | 100, 06 | | NFRC Certified | 0.60 | 50 | 30.0 | 0.60 | 50 | 30.0 |
| | | | | | | | Metal Frame, Entrance Dr. | | U-0.60 |
| Vertical Fenestration[8,11] Other, fix | A, B, D, E, F, G, H | | See A800 | 0.21 | 547 | 114.9 | 0.26 | 1892 | 491.9 |
| | M-T | | See A800 | 0.21 | 1345 | 282.5 | Non-AW, Fixed | | U-0.26 |
| Vertical Fenestration[8,11] Other, op | C, J, K, Z | | See A800 | 0.21 | 760 | 159.6 | 0.28 | 2338 | 654.6 |
| | Sliding door | | See A800 | 0.21 | 1091 | 229.1 | Non-AW, Operable | | U-0.28 |
| | Casement door | | See A800 | 0.21 | 461 | 96.8 | | | |
| | 1S2 | | See A800 | 0.21 | 26 | 5.5 | | | |
| Skylights[11] All Types | | | | | | | 0.45 | | |
| | | | | | | | All types | | U-0.45 |

| Refrigerated Space Freezer Floors | CI | Plan/Detail # | U-factor Source & Table # [2] | Proposed UA U-factor | x Area (A) | = UA (U x A) | Target UA U-factor | x Area (A) = | UA (U x A) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Freezer Floor | R= | | | | | | | | |
| | R= | | | | | | Freezer Floor | | |
| | R= | | | | | | | | |

| | Area[1] | UA | Area[1] | UA |
|---|---|---|---|---|
| Page 2 Subtotal | 4472 | 1005 | 4472 | 1263 |
| Page 1 Subtotal | 18996 | 1038 | 18996 | 880 |
| Project Total | 23468 | 2043 | 23468 | 2143 |

*TO COMPLY - The Proposed Total UA shall not exceed the Target Total UA.*

**Component Performance Compliance (UA)** — UA COMPLIES

Загальна площа оболонки будівлі та UA для предполагаемого случая

Загальна площа оболонки будівлі та UA согласно нормативу

Рисунок 2.22– Форма для розрахунку відповідності оболонки будівлі

## SHGC Calculation — ENV-SHGC

2018 Seattle Energy Code Compliance Forms for Commercial Buildings including R2, R3, & R4 over 3 stories and all R1 — Revised Mar 2021 rev. 1

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Project Title:** | **LYNN ST APARTMENTS** | Date | 12/01/2022 |
| **Target Insulation Allowance:** | **Fully Conditioned Space - Commercial, Group R, Mixed Use** | For SDCI Use | |
| **Fenestration Area** as % gross above-grade wall area | **25.1%** Max. Target: **35%** | | |
| **Skylight Area** as % gross roof area | Max. Target: **5%** | | |
| **Vertical Fenestration Alternates:** | **None Selected on ENV-SUM** | | |
| *Notes: 1 - Proposed vertical fenestration and skylight areas entered in ENV-SHGC must match proposed fenestration areas in ENV-UA.* | | User Note | |

*2 - If Target Area Adjustment is required per ENV-UA, then target areas will be automatically adjusted in ENV-SHGC. Refer to Target Area Adjustments worksheet for this calculation.*
*3 - Fenestration assembly SHGC shall be the manufacturer's NFRC product rating, or shall be the default value per Section C303.1.3.*
*4 - Fenestration that separates conditioned space from a non-conditioned space shall be included in this worksheet.*

| **Skylights** | | Proposed SHGC | | | Target SHGC | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Sch. ID | Provide SHGC source and fenestration schedule ID | SHGC | x Area (A) | = SHGC x A | SHGC | x Area (A) = | SHGC x A |
| | | | | | 0.32 | | |
| | | | | | SHGC | | 0.32 |
| | | | **Skylight Totals** | | | | |

| **All Non-North Vertical Fenestration+** | | | Proposed SHGC | | | Target SHGC ++ | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Sch. ID | Provide SHGC source and fenestration schedule ID | PF | SHGC | x Area (A) | = SHGC x A | PF Category | SHGC | x Area (A) = | SHGC x A |
| Non-metal fixed: B, A, M-T | See A800 | | 0.38 | 1429 | 543 | PF < 0.2 | 0.38 | 3682 | 1399.2 |
| Non-metal operable: K, J, Z | See A800 | | 0.36 | 660 | 238 | 0.2≤PF<0.5 | 0.46 | | |
| Metal fixed: ST1, ST03 | NFRC Certified | | 0.38 | 47 | 18 | PF ≥ 0.5 | 0.61 | | |
| Non-metal casement door | See A800 | | 0.31 | 405 | 126 | *++ If projection factor (PF) credits are applied to the proposed design, Target SHGC will sum fenestration area by PF category.* | | | |
| Non-metal sliding door | See A800 | | 0.27 | 1091 | 295 | | | | |
| Metal Entrance doors: 100, 06 | NFRC Certified | | 0.38 | 50 | 19 | | | | |
| | | | **Non-North Window Totals** | 3682.0 | 1237.6 | | | 3682.0 | 1399.2 |

*+ If PF credit is applied, then vertical fenestration must be entered in the correct table according to orientation. If credit is not applied then all vertical fenestration can be entered in either table.*

| **North Vertical Fenestration+** | | | Proposed SHGC | | | Target SHGC++ | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Sch. ID | Provide SHGC source and fenestration schedule ID | PF | SHGC | x Area (A) | = SHGC x A | PF Category | SHGC | x Area (A) = | SHGC x A |
| Non-metal fixed: D, E, F, G, H, M-T | See A800 | | 0.38 | 463 | 176 | PF < 0.2 | 0.51 | 645 | 329.0 |
| Non-metal operable: C | See A800 | | 0.36 | 100 | 36 | 0.2≤PF<0.5 | 0.56 | | |
| Non-metal casement door:1S2 | NFRC Certified | | 0.31 | 82 | 25 | PF ≥ 0.5 | 0.61 | | |
| | | | | | | *++ If projection factor (PF) credits are applied to the proposed design, Target SHGC will sum fenestration area by PF category.* | | | |
| | | | **North Window Totals** | 645.0 | 237.4 | | | 645.0 | 329.0 |

| | | Area | SHGC x A | | Area | SHGC x A |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *TO COMPLY - The Proposed Total SHGC x A shall not exceed the Target Total SHGC x A.* | **Total (Skylight + Window)** | 4327.0 | 1475.0 | | 4327.0 | 1728.1 |

**Component Performance Compliance (SHGC)** — **SHGC COMPLIES**

Рисунок 2.23 – Форма для розрахунку відповідності оболонки будівлі

## 2.3 Повітряний бар’єр будівлі

Особливу увагу при проектуванні каркасних будівель приділяють повітряним бар’єрам, адже безперервна та належним чином функціонуюча повітряна бар’єрна система є економічно ефективним способом контролювати витік повітря та підтримувати правильний рівень вологості в будівлі. Неконтрольований витік повітря може мати шкідливий вплив на системи опалення, вентиляції, вентиляції та кондиціонування та може скоротити очікуваний життєвий цикл будівлі. При правильній установці система повітряного бар’єру збільшить довговічність і енергоефективність, зупинивши неконтрольований витік повітря в огородження будівлі та з нього.

Суцільний повітряний бар'єр повинен бути передбачений по всій тепловій оболонці будівлі. Повітряні бар'єри дозволяється розташовувати на внутрішній або зовнішній стороні огороджувальної конструкції, всередині вузлів, що складають огороджувальну конструкцію, або в їх комбінації. огороджувальну конструкцію, або в будь-якій їх комбінації.

Конструкція повітряного бар'єра. Суцільний повітряний бар'єр повинен бути сконструйований таким чином, щоб відповідати наведеним нижче вимогам:

1. Повітряний бар'єр повинен бути безперервним для всіх вузлів, які є тепловою оболонкою будівлі, а також через з'єднань і вузлів.

2. Стики та шви повітряного бар'єру повинні бути герметичними, включаючи герметизацію переходів у місцях та зміни матеріалів. Стики і шви повинні бути Стики та ущільнення повинні бути надійно встановлені у стику або на стику по всій його довжині таким чином, щоб не зміщуватися, не розхитуватися та не погіршувати іншим чином погіршувати його здатність чинити опір позитивному і негативному тиску вітру, ефекту штабеля і механічної вентиляції.

3. Прорізи в повітряному бар'єрі повинні бути зашпакльовані, прокладені прокладками або іншим чином ущільнені у спосіб, сумісний з будівельними

матеріалами та місцем розташування. Ущільнення повинно допускати розширення, стиснення та механічні вібрації. Стики і шви, пов'язані з проникненнями, повинні бути ущільнені таким же чином або проклеєні стрічкою. Ущільнювальні матеріали повинні бути надійно встановлені навколо прорізів таким чином, щоб не зміщуватися, не розхитуватися та не погіршувати іншим чином здатність прорізів протистояти позитивному та негативному тиску вітру, ефекту штабеля та механічної вентиляції. Ущільнення прихованих пожежних спринклерів, де це необхідно, повинно здійснюватися у спосіб, рекомендований виробником. Для заповнення порожнеч між кришками спринклерних установок і стінами або стелею не дозволяється застосовувати конопатку або інші клейкі герметики.

4. Вбудовані освітлювальні прилади повинні відповідати вимогам розділу C402.5.8. У разі встановлення подібних об'єктів, які проникають через повітряний бар'єр, повинні бути передбачені заходи для збереження цілісності повітряного бар'єру.

5. Будівельна документація повинна містити схему, що показує границю тиску будівлі в плані (планах) і розрізі (розрізах) та розрахунок площі межі тиску, що враховується під час випробування.

Кожна будівля після завершення будівництва повинна пройти випробування на герметичність з наступними параметрами та результатами: швидкість витоку повітря з огороджувальних конструкцій не повинна перевищувати 0,25 куб. футів/фут2 при перепаді тиску 0,3 дюйма водяного манометра 1,27 л/с·м2 при 75 Па при верхньому 95-відсотковому довірчому інтервалі відповідно до ASTM E 779 або еквівалентного методу, схваленого посадовою особою, відповідальною за ухвалення Кодексу. Звіт, який включає випробувану площу поверхні, площу поверху, об'єм повітря за об'ємом, кількість поверхів над рівнем землі та швидкість витоку, подається власнику будівлі та посадовій особі, відповідальній за дотримання будівельних норм і правил. Якщо швидкість витоку перевищує визначену в цьому документі на 0,15 куб. футів/фут2, необхідно провести візуальний огляд повітряного бар'єру, а

будь-які виявлені витоки повинні бути загерметизовані, наскільки це практично можливо. Додатковий звіт, що визначає коригувальні дії, вжиті для герметизації витоків повітря, повинен бути представлений власнику будівлі та Посадовій особі Кодексу, і будь-яка подальша вимога щодо дотримання швидкості витоку повітря буде скасована. Якщо перевірений показник перевищує 0,40 cfm/ft2, необхідно вжити коригувальних заходів і провести випробування ще раз. Випробування з показником вище 0,40 cfm/ft2 не буде прийнято.

Максимально допустимий витоку повітря через огороджувальні конструкції при випробування на герметичність має складати 5716 CFM (кубічних футів на хвилину). Результати розрахунку наведено на рисунку 2.24.

Whole Building

| BUILDING ENVELOPE AIR LEAKAGE CALCULATIONS<br>Based on AutoCAD and PDF drawings provided by architect. | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Floor Perimeter ft | Level Height ft | Floor Area ft² | Exterior Floor area ft² | Exterior Ceiling Area ft² | Exterior Wall Area ft² | Thermal Envelope Area ft² | Thermal Envelope Volume ft³ |
| Level P1 | 175 | 10.5 | 950 | 950 | 0 | 1,838 | 2,788 | 9,975 |
| Level 1 | 277 | 10.1 | 3,235 | 2,285 | 0 | 2,798 | 5,083 | 32,674 |
| Level 2 | 277 | 10.1 | 3,235 | 0 | 0 | 2,798 | 2,798 | 32,674 |
| Level 3 | 277 | 10.1 | 3,235 | 0 | 0 | 2,798 | 2,798 | 32,674 |
| Level 4 | 277 | 10.3 | 3,235 | 0 | 632 | 2,853 | 3,485 | 33,321 |
| Level 5 | 239 | 10.9 | 2,603 | 0 | 2,309 | 2,605 | 4,914 | 28,373 |
| Roof | 81 | 8.7 | 294 | 0 | 294 | 705 | 999 | 2,558 |
| Total Building | 1,603 | 71 | 16,787 | 3,235 | 3,235 | 16,394 | 22,864 | 172,247 |
| **MAX ALLOWED AIR LEAKAGE OF BUILDING ENVELOPE** | | | | | | | | |
| per AREA of Building Thermal Envelope at 75 Pa | | | 0.25 | cfm/ft² x | 22,864 | ft² = | **5,716** | **CFM** |
| | | | | | | | | |
| AVE. GRADE | | | 52' | | | | | |
| T.O. ROOF DECK | | | 106' | | | | | |
| REDUCED AIR INFILTRATION IN ACCORDANCE WITH SECTION C406.11 CREDIT IS NOT APPLIED | | | | | | | | |

BASED ON : 2022-0404_LYNN_PERMIT PROGRESS SET

Рисунок 2.24 – Результати розрахунку максимального витоку повітря через огороджувальні конструкції

# 3 СИСТЕМИ ОВК ТА ГВП

## 3.1 Система ОВК

Загальні вимоги до систем ОВК, що стосуються будь-якої нової будівлі, побудованої в Сіетлі прописані в секції 403 2018 SEC.

Вимоги висуваються до:

- Типу систем що можна використовувати (заборонено використовувати паливні та електро- нагрівачі починаючи з певної потужності);
- Діаметрів повітропроводів та трубопроводів;
- Енергоефективності обладнання ОВК;
- Енергоефективності вентиляторів ОВК;
- Вимоги до термостатів;
- Додаткові окремі вимоги до певних конфігурацій систем.

Оскільки Built Green 4-Star вимагає продемонструвати, що будівля відповідає $PCI_t$ при використанні BPF 0,52 (ці цифри відносяться до процесу моделювання, та будуть описані нижче, у розділі моделювання), в будівлі необхідні деякі покращення.

До 2018 циклу кодів, типовим дизайном для будівель було опалення електричними (для багатосімейних будівель) або газовими (для односімейних та таунхаусів) обігрівачами, проте при такому дизайні задовільнити вимоги 2018 SEC або 2021 Built Green є дуже не простою задачею, саме тому в даному проекті запропонована система опалення являє собою тепловий насос типу повітря-повітря.

Тепловий насос типу повітря-повітря дозволяє забезпечити ефективність у три-чотири рази вищу ніж може запропонувати сучасний електронагрівач.

Теплові насоси, запропоновані до встановлення представлено в таблицях 3.1 та 3.2:

Таблиця 3.1 – Зовнішні блоки теплових насосів запропонованих в проєкті

| Індекс на малюнках | Виробник та модель | Потужність, МВН | Холодильна еффективність, SEER | Теплова еффективність, HSPF при 47F |
|---|---|---|---|---|
| CU-101, 201, 301, 401 | Trane / Mitsubishi, TUMYH0361AK41NA | 36 | 18,3 | 11,7 |
| CU-102, 202, 302, 402 | Trane / Mitsubishi, NTXMMX20 | 18 | 20 | 9,8 |
| CU-103, 203, 303, 403 | Trane / Mitsubishi, NTXMMX24 | 24 | 17,8 | 12,4 |
| CU-501 | Trane / Mitsubishi, TUMYH0361AK41NA | 36 | 18,3 | 11,7 |
| CU-502 | Trane / Mitsubishi, NTXMMX30 | 18 | 20 | 22 |
| CU-001 | Trane / Mitsubishi, NTXWPH15B | 14 | 22,2 | 12 |

Таблиця 3.2 – Внутрішні блоки теплових насосів

| Індекс на малюнках | Виробник та модель | Максимальна подача повітря, cfm | Максимальна Холодильна Потужність, МВН | Максимальна Опалювальна Потужність, МВН |
|---|---|---|---|---|
| HP-001 | Trane / Mitsubishi, NTXWPH15B | 225 | 14 | 10 |
| HP-101A-401A | Trane / Mitsubishi, TPKFYP009HM142A | 200 | 8 | 9 |
| HP-101B-401B | Trane / Mitsubishi, TPKFYP018HM142A | 320 | 18 | 17,7 |
| HP-101C-401C | Trane / Mitsubishi, TPKFYP006HM142A | 200 | 6 | 6,7 |
| HP-102A-402A | Trane / Mitsubishi, NXTWST09 | 200 | 9 | 10,9 |
| HP-102B-402B | Trane / Mitsubishi, NXTWST06 | 200 | 6 | 7,2 |
| HP-103A-403A | Trane / Mitsubishi, NXTWST09 | 200 | 9 | 10,9 |
| HP-103B403B | Trane / Mitsubishi, NXTWST09 | 200 | 9 | 10,9 |
| HP-103C-403C | Trane / Mitsubishi, NXTWST06 | 200 | 6 | 7,2 |

Продовження таблиці 3.2

| Індекс на малюнках | Виробник та модель | Максимальна подача повітря, cfm | Максимальна Холодильна Потужність, МВН | Максимальна Опалювальна Потужність, МВН |
|---|---|---|---|---|
| HP-501A | Trane / Mitsubishi, TPKFYP009HM142A | 200 | 8 | 9 |
| HP-501B | Trane / Mitsubishi, TPKFYP018HM142A | 320 | 18 | 17,7 |
| HP-501C | Trane / Mitsubishi, TPKFYP009HM142A | 200 | 8 | 9 |
| HP-502A | Trane / Mitsubishi, NXTWST09 | 200 | 9 | 10,9 |
| HP-502B | Trane / Mitsubishi, NXTWST15 | 300 | 14 | 18 |
| HP-502C | Trane / Mitsubishi, NXTWST06 | 200 | 6 | 7,2 |

Також, для підвищення енергоефективності будівлі, а також за вимогами 2018 SEC, повітря в квартири подається за допомогою DOAS, з додатково встановленою системою рекуперації повітря, з ефективністю останньої 70% (рис.3.1).

Рисунок 3.1 – Intelli-Balance® 100 Balanced Air Solution, Cold Climate ERV, 50 to 100 CFM, DOAS система використана для механічної вентиляції в будівлі

На рисунках 3.2–3.5 представдлені плани ОВК для різних поверхів будівлі, а також вид розміщення обладнання на фасадах.

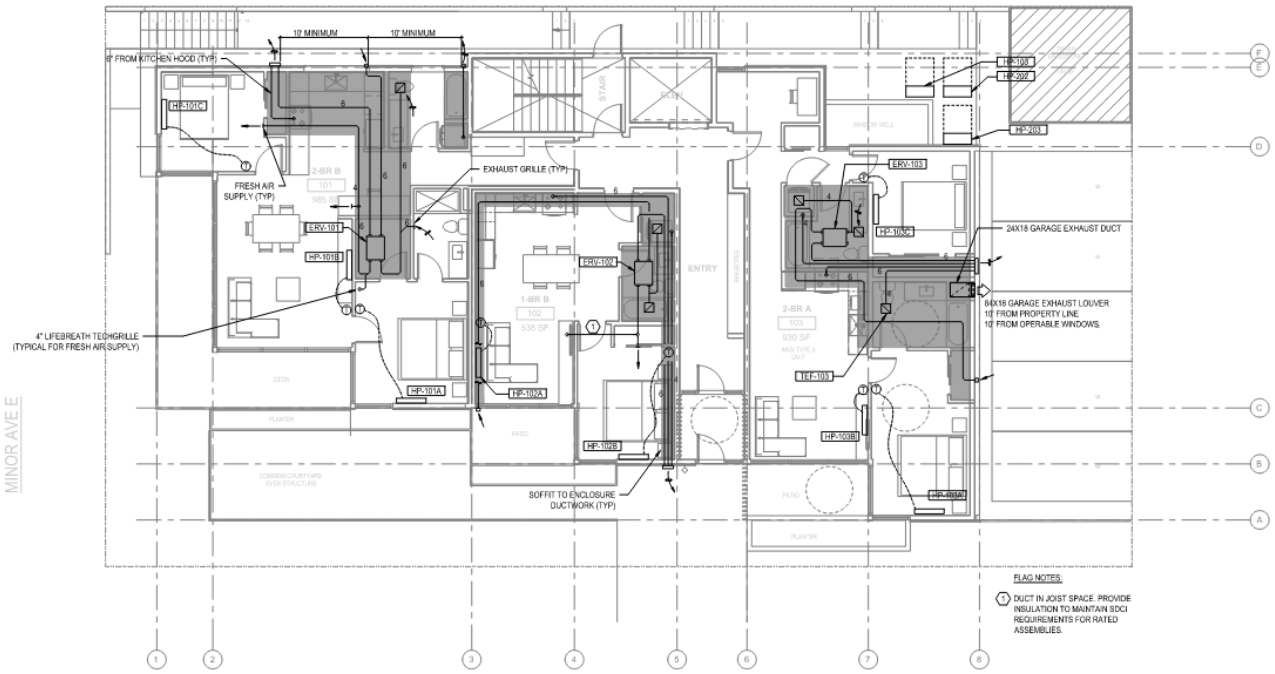



Рисунок 3.2 – План ОВК першого поверху будівлі

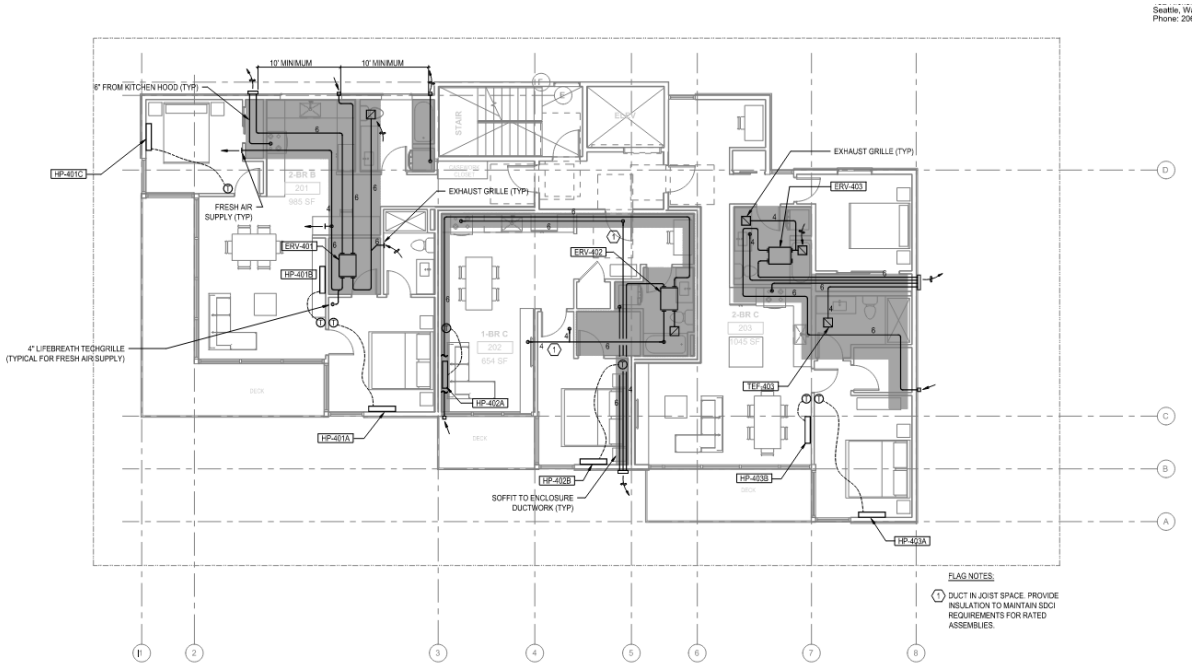



Рисунок 3.3 – План ОВК другого-четвертого поверхів будівлі

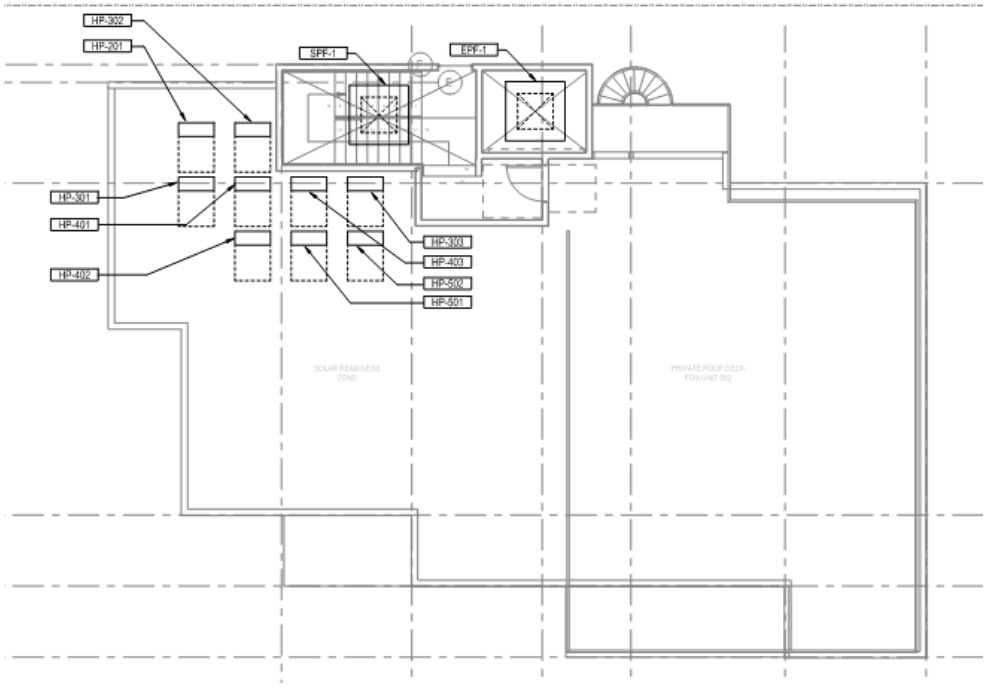



Рисунок 3.4 – План розміщення зовнішніх блоків теплових насосів на даху будівлі (вид згори)

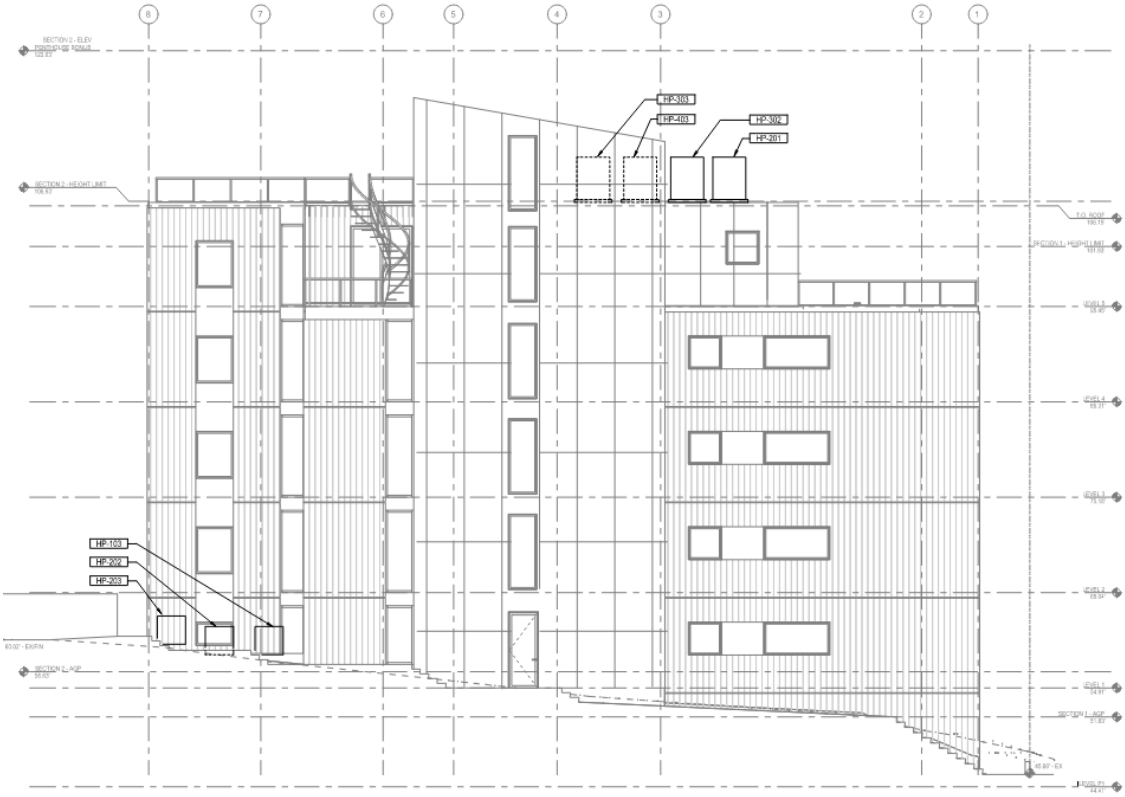



Рисунок 3.5 – План розміщення зовнішніх блоків теплових насосів на даху та фасаді будівлі (вид збоку)

## 3.2 Система ГВП

Система ГВП в будівлі забезпечена тепловими насосами повітря-вода, за вимогою 2018 SEC.

В цілому схема (рис. 3.6) складається з чотирьох зовнішніх блоків (теплові насос, на малюнку позначені WH-1, WH-2, WH-3, WH-4), двох баків-акумуляторів ємністю 200 галонів кожен (на малюнку позначені ST-1, ST-2). Циркуляція води забезпечена насосом з цифровим керуванням (DCP-1), а також наявний додатковий насос для контуру в системі теплових насів (P-1).

Джерелом додаткового нагріву виступають електронагрівачі розташовані безпосередньо в одному з баків (ST-3).

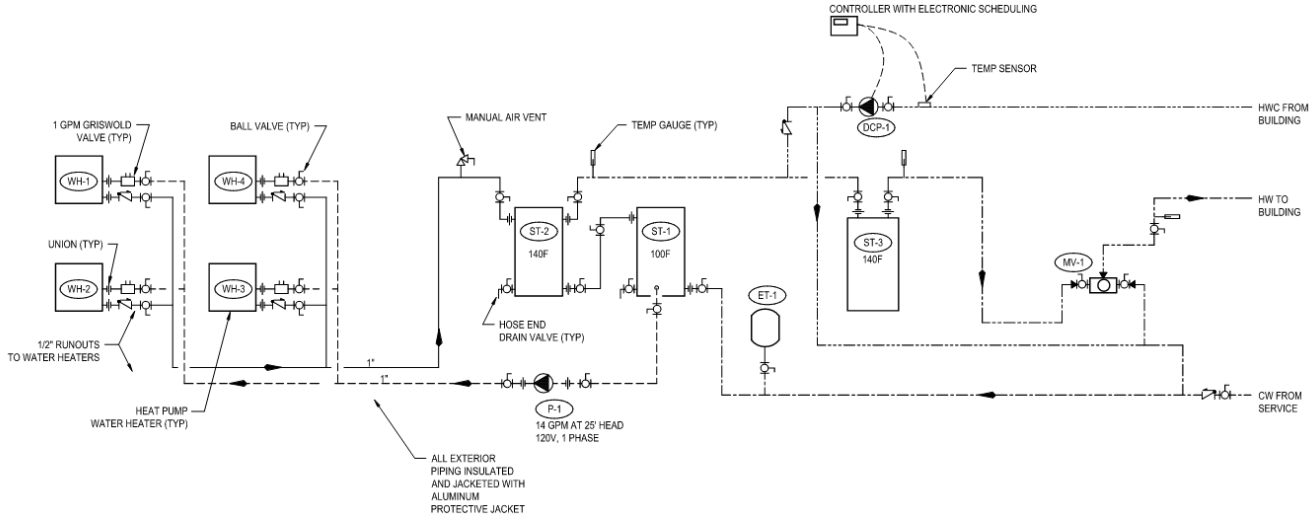



Рисунок 3.6 – схема ГВП

Основне обладнання ГВП зведено до таблиць 3.3, 3.4 та 3.5:

Таблиця 3.3 – Характеристики баків-акумуляторів системи ГВП

| Індекс на малюнках | Виробник та модель | Об’єм, гал | Наявність електричного догріву, та потужність кВт |
|---|---|---|---|
| ST-1, ST-2 | A.O. Smith | 200 | Ні |
| ST-3 | A.O. Smith DRE-120 | 120 | 15 |

Таблиця 3.4 – Характеристики теплових насосів ГВП

| Performance | 43 Gal Sys | 83 Gal Sys | 119 Gal Sys |
|---|---|---|---|
| Uniform Energy Factor | 3.1 | 3.75 | 3.4 |
| First Hour Rating | 69 gallons | 115 gallons | 135 gallons |
| | | | |
| **Specifications** | | | |
| Water Temperature Setting | | 145 or 150°F | |
| Ambient Air Operating Range | | -25 to 104°F | |
| Nom Heating Capacity (Btu/h) | | 15,400 Btu/h | |
| Nom Heating Capacity (kw) | | 4.5kw | |
| Heating COP @80/47/17°F | | 5.5 / 4.2 / 2.8 | |
| Refrigerant Type | | R744 ($CO_2$) | |
| Power Voltage | | 208/230v-1Ph-60Hz | |
| Breaker Size | | 15 Amps | |
| MCA (Amps) | | 7.2 Amps | |
| Compressor Type | | Rotary | |
| Noise Level (DbA) | | 37 | |
| Weight (lbs) | | 108lbs | |
| Pipe Size (Tank to Heat Pump) | | ½"(Both Hot Supply & Cold Return) | |
| Max Length inc Vertical Sep | | 66 ft | |
| Max Vertical Separation | | 23 ft | |
| Max Incoming Water Pressure | | 95 Psi | |

Таблиця 3.5 – Насоси системи ГВП

| Індекс на малюнках | Виробник та модель | Продуктивність, гал/хв | Тиск, фут. водяного стовпа | Контроль |
|---|---|---|---|---|
| P1 | Armstrong | 14 | 25 | Hi |
| DCP-1 | Armstrong | 30 | 35 | Температурний |

# 4 ОПИС СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

2018 SEC нормує енергоефективність світла в секції C405. Оскільки в даній секції кодекс спирається на ASHRAE 90.1, вимога до більшості приміщень висувається в Вт/фут$^2$ (секція C406.3.1), проте, для самих квартир вимагається щоб не менше 90% світла була забезпечена LED лампами (секція C405.1.1 Dwelling and sleeping unit lighting efficacy).

Для демонстрації відповідності до вимог 2018 SEC в місто надсилають спеціальні форми, що називаються Lightning Forms (Фоми Освітлення) (рис. 4.1).

**Interior Lighting - Space-By-Space Method** **LTG-INT-SPACE**

2018 Seattle Energy Code Compliance Forms for Commercial Buildings including R2, R3, R4 over 3 stories and all R1 Revised Aug 2021 rev. 3

| | | | |
|---|---|---|---|
| Project Title: | Lynn St Apartments | Date | 3/2/2022 |
| Calculation Area NOTE 0 | ○ New Construction ○ Addition - stand alone ○ Addition + existing ○ Spaces where < 20% of luminaires are replaced ○ Spaces where ≥ 20% of luminaires are replaced ○ Spaces where the Use is changing (C505) | For SDCI Use | |
| LPA Calculation Type | ○ Standard ◉ C406.3.1 Reduced LPA 10% ○ C406.3.2 Reduced LPA 20% *To comply with C406.3.1 or C406.3.2, the Proposed LPD shall be 10% or 20% lower respectively than the Target LPA. Refer to C406.3 for additional requirements.* | User Note | |

**Maximum Allowed Lighting Wattage** NOTE 1

| Location (plan #, room #) | Space Type | | Gross Interior Area in ft$^2$ | Allowed Watts per ft$^2$ | Watts Allowed (watts/ft$^2$ x area) |
|---|---|---|---|---|---|
| E2.00 - E2.60 | Stairwell | | 900 | 0.440 | 396 |
| E2.00 | Electrical/mechanical | | 330 | 0.390 | 129 |
| E2.00 | Storage room > 100 ft2 | | 157 | 0.340 | 53 |
| E2.00 - E2.60 | Corridor: all other | | 721 | 0.370 | 267 |
| E2.00 | Parking area, interior | | 3362 | 0.140 | 471 |
| | | | | | |
| | | Total Area | 5470 | | |

Retail Display Allowance from LTG-INT-DISPLAY

Art/Display/Exhibit/Ornamental Extra Lighting from LTG-INT-DISPLAY NOTE 6 — Allowed Watts 1316

**Proposed Lighting Wattage** NOTE 3

| Location (plan #, room #) | Fixture Description NOTE 4, 5, 8 | Number of Fixtures | Watts/ Fixture NOTE 7 | | Watts Proposed |
|---|---|---|---|---|---|
| E2.00 - E2.60 stairwell | F4 - 48" Wall mounted LED stairwell fixture | 14 | 45 | | 630 |
| E2.00 elink, sprink, elec, heater | F5 - 4'X8-1/4" Linear wavestream technology LED | 4 | 35 | | 139 |
| E2.00 bike storage | F5 - 4'X8-1/4" Linear wavestream technology LED | 1 | 35 | | 35 |
| E2.00 - E2.60 corridors | F1 - 7" Round semi-recessed LED downlight | 11 | 16 | | 180 |
| E2.00 | G1 - 16"x16" Integral occupancy sensor, 50/100 | 3 | 66 | | 198 |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

Proposed Retail Display Lighting from LTG-INT-DISPLAY

*Total Proposed Watts may not exceed Total Allowed Watts for Interior Lighting* — Total Proposed Watts 1182

**Interior Lighting Power Allowance** **COMPLIES WITH C406.3.1**

Рисунок 4.1 – Частина Lightning Forms проекту

Додатково енергетичний кодекс висуває вимоги до зовнішнього освітлення та контролю приладів освітлення.

Електрична схема будівлі представлена на Рисунку 4.1:

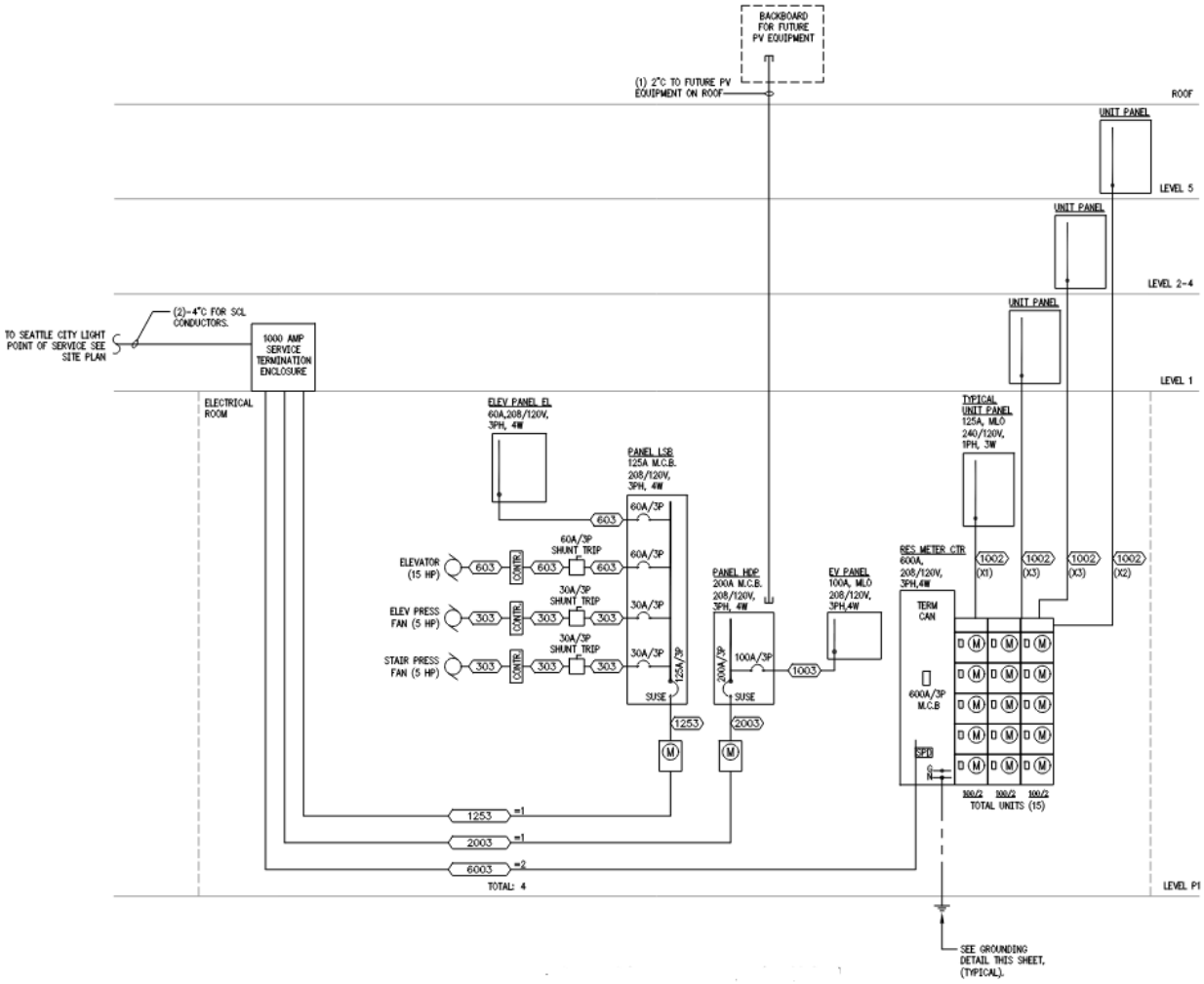



Рисунок 4.1 – Електросхема будівлі

Приклад електричного плану однієї з квартир наведено на Рисунках 4.2 та 4.3 та легенда наведена на Рисунку 4.4:

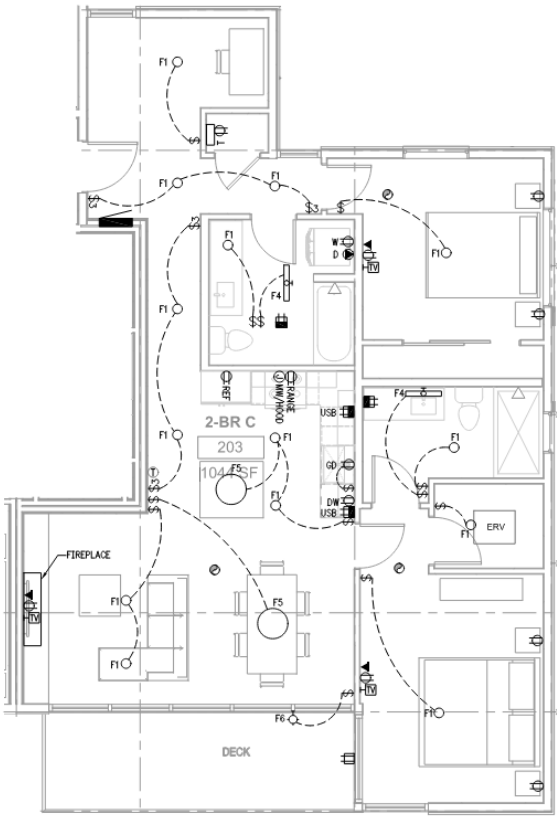



Рисунок 4.2 – Електричний план кімнати типу 2BR C

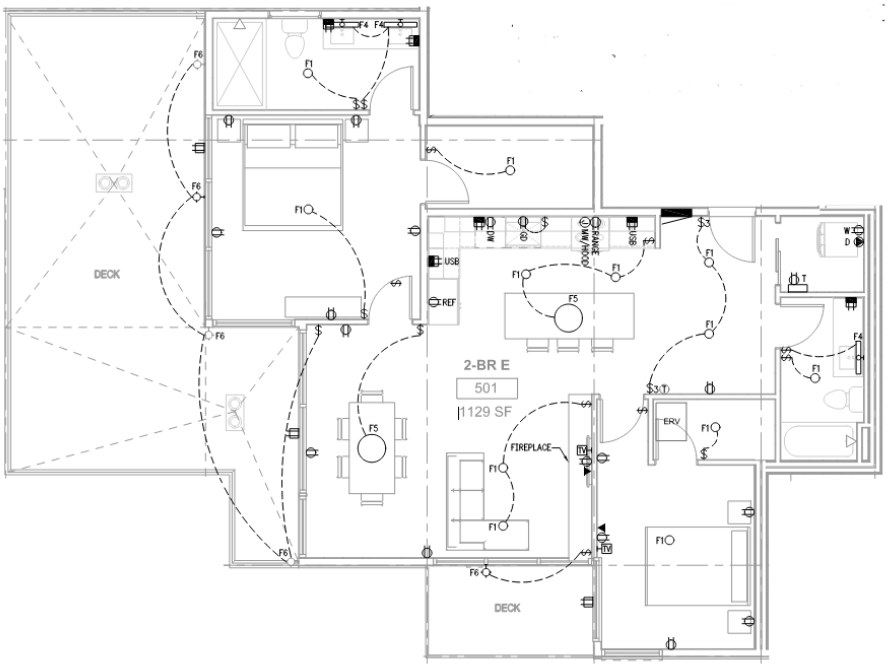



Рисунок 4.3 – Електричний план кімнати типу 2BR E

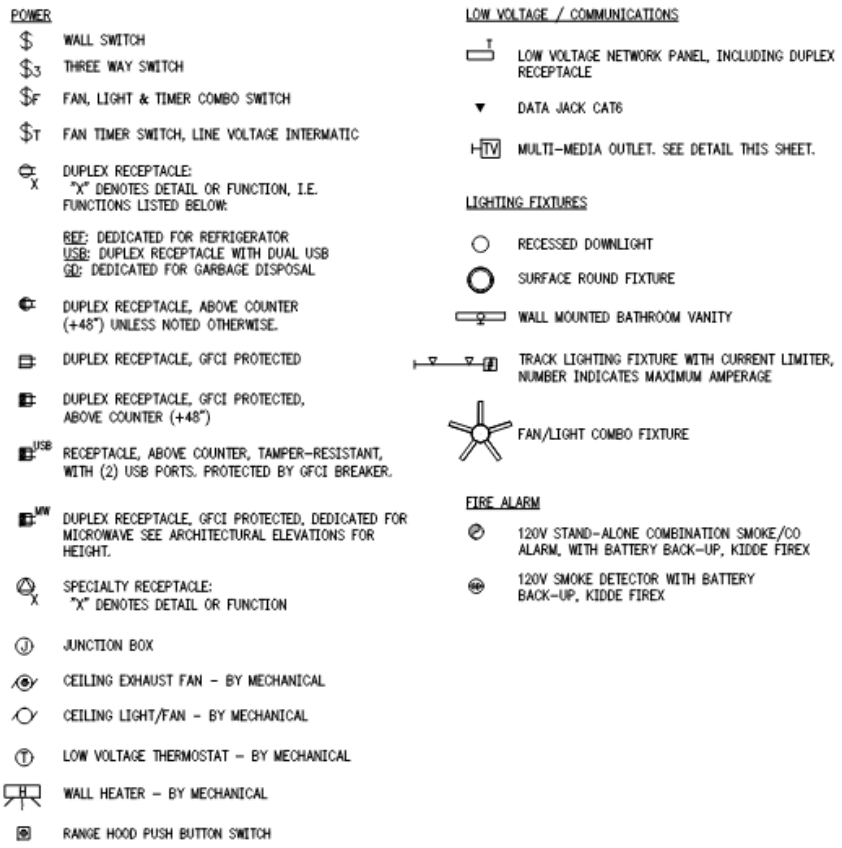



Рисунок 4.4 – Умовні позначення до малюнку 4.2

# 5 ЕНЕРГЕТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ БУДІВЛІ

## 5.1 Опис програми моделювання

Частиною даної магістерської дисертації є визначення рівня енергоефективності за допомогою моделювання будівлі в програмі eQUEST – QUick Energy Simulation Tool (Інструмент швидкого моделювання енергії).

eQUEST – це візуальний інтерфейс до DOE-2, який дозволяє користувачу пройти крок-за-кроком через розробку моделі та спрощує доступ до обчислювальних можливостей DOE-2. eQUEST та інші інструменти моделювання зазвичай використовуються проектними групами як інструмент для оцінки впливу споживання енергії, пов’язаного з конкретними варіантами дизайну.

eQUEST надзвичайно популярна програма для моделювання енергоспоживання будівлі, що продиктовано, не в останню чергу, тим, що програма повністю безкоштовно. В переважній більшості зелених нормативів та локальних кодексів eQUEST є одним з продуктів, що приймаються як інструмент моделювання.

Програма дозволяє моделювати наступне:

1. Експлуатація будівлі за повний календарний рік (8760 годин).
2. Кліматичні дані за повний календарний рік (8760 годин) і відображають затверджені погодинні збіги.
3. Дані про температуру, сонячну радіацію, вологість і швидкість вітру для розташування будівлі.
4. Десять і більше теплових зон.
5. Теплові масові ефекти.
6. Погодинні коливання заповнюваності, освітлення, електричне обладнання, налаштувань термостата, механічна вентиляція, наявність обладнання для вентиляції та кондиціонування повітря, використання гарячої води тощо технологічні навантаження.

7. Криві продуктивності при частковому навантаженні для механічного обладнання.

8. Криві корекції потужності та ефективності механічного нагрівального та охолоджувального обладнання.

Усе перераховане вище є мінімальними вимогами до програми в якій будуть здійснюватися моделювання відповідно до Appendix G, ASHRAE 90.1.

## 5.2 Опис моделювання та вимоги до енергоефективності

Процедура моделювання багатоквартирних будівель для визначення їх рівня енергоефективності описана в Appendix G, ASHRAE 90.1, в нашому випадку, 2016 року.

В основі процедури лежить порівняння нашого дизайну з базовою моделлю, яка відповідає мінімальним вимогам ASHRAE 90.1.

В таблиці 5.1 представленні основні елементи моделі, для обох дизайнів, та короткі інструкції по їх моделюванню, а в таблиці 5.2 вимоги до огороджуючих конструкцій:

Таблиця 5.1 – Основні елементи запропонованого дизайну та базової моделі для посилання

| Елемент дизайну | Запропонований дизайн | Базова модель |
|---|---|---|
| Архітектура | За архітектурними планами | Відповідно до запропонованого дизайну |
| Огороджуючі конструкції | За архітектурними планами, теплотехнічні характеристики відповідно до розрахунків | Спеціально визначені конструкції для кожного елементу оболонки, теплотехнічні характеристики відповідно до мінімальних вимог ASHRAE 90.1 (Таблиця 5.2) |

Продовження таблиці 5.1

| Елемент дизайну | Запропонований дизайн | Базова модель |
|---|---|---|
| Всітлопрозорі елементи | За архітектурними планами, теплотехнічні характеристики відповідно до документації та специфікацій | Площа 40% від площі стін або відповідно до запропонованого дизайну (менше з двох) Теплотехнічні характеристики відповідно до мінімальних вимог ASHRAE 90.1 |
| Освітлення | За електричними планами | Відповідно до мінімальних вимог ASHRAE 90.1 |
| Електричне Обладнання | За електричними планами та специфікаціями | Відповідно до запропонованого дизайну (іноді дозволено демонструвати економію) |
| ОВК | За механічними планами | Тип обладнання обрати відповідно до типу будівлі (Табл. 5.3, 5.4), ефективність відповідно до мінімальних вимог ASHRAE 90.1 |
| ГВП | Згідно документації Потреба в гарячій воді демонструється окремим розрахунком | Потреба в гарячій воді відповідно до запропонованого дизайну (в деяких випадках дозволено демонструвати економію), тип обладнання обрати відповідно до типу будівлі (Таблиця 5.5), ефективність відповідно до мінімальних вимог ASHRAE 90.1 |
| Графіки експлуатації | Обрати відповідно типів приміщень | Відповідно до запропонованого дизайну (для освітлення дозволено змінювати щоб відобразити автоматичний контроль) |

Таблиця 5.2 – Мінімальні вимоги до теплотехнічних характеристик для будівлі в кліматичній зоні 4C відповідно до ASHRAE 90.1-2016

| *Opaque* Elements | *Nonresidential* | | | *Residential* | | | Semiheated | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Assembly Maximum | Insulation Min. *R-Value* | | Assembly Maximum | Insulation Min. *R-Value* | | Assembly Maximum | Insulation Min. *R-Value* | |
| *Roofs* | | | | | | | | | |
| *Insulation entirely above deck* | U-0.032 | R-30 c.i. | | U-0.032 | R-30 c.i. | | U-0.093 | R-10 c.i. | |
| *Metal building*[a] | U-0.037 | R-19 + R-11 *Ls* or R-25 + R-8 *Ls* | | U-0.037 | R-19 + R-11 *Ls* or R-25 + R-8 *Ls* | | U-0.082 | R-19 | |
| *Attic and other* | U-0.021 | R-49 | | U-0.021 | R-49 | | U-0.034 | R-30 | |
| *Walls, above Grade* | | | | | | | | | |
| *Mass* | U-0.104 | R-9.5 c.i. | | U-0.090 | R-11.4 c.i. | | U-0.580 | NR | |
| *Metal building* | U-0.060 | R-0 + R-15.8 c.i. | | U-0.050 | R-0 + R-19 c.i. | | U-0.162 | R-13 | |
| *Steel-framed* | U-0.064 | R-13 + R-7.5 c.i. | | U-0.064 | R-13 + R-7.5 c.i | | U-0.124 | R-13 | |
| *Wood-framed and other* | U-0.064 | R-13 + R-3.8 c.i. or R-20 | | U-0.064 | R-13 + R-3.8 c.i. or R-20 | | U-0.089 | R-13 | |
| *Wall, below Grade* | | | | | | | | | |
| *Below-grade wall* | C-0.119 | R-7.5 c.i. | | C-0.092 | R-10 c.i. | | C-1.140 | NR | |
| *Floors* | | | | | | | | | |
| *Mass* | U-0.057 | R-14.6 c.i. | | U-0.051 | R-16.7 c.i. | | U-0.107 | R-6.3 c.i. | |
| *Steel joist* | U-0.038 | R-30 | | U-0.038 | R-30 | | U-0.052 | R-19 | |
| *Wood-framed and other* | U-0.033 | R-30 | | U-0.033 | R-30 | | U-0.051 | R-19 | |
| *Slab-on-Grade Floors* | | | | | | | | | |
| *Unheated* | F-0.520 | R-15 for 24 in. | | F-0.520 | R-15 for 24 in. | | F-0.730 | NR | |
| *Heated* | F-0.843 | R-20 for 24 in. | | F-0.688 | R-20 for 48 in. | | F-0.900 | R-10 for 24 in. | |
| *Opaque Doors* | | | | | | | | | |
| *Swinging* | U-0.370 | | | U-0.370 | | | U-0.370 | | |
| *Nonswinging* | U-0.310 | | | U-0.310 | | | U-0.360 | | |
| *Fenestration* | Assembly Max. U | Assembly Max. *SHGC* | Assembly Min. *VT/SHGC* | Assembly Max. U | Assembly Max. *SHGC* | Assembly Min. *VT/SHGC* | Assembly Max. U | Assembly Max. *SHGC* | Assembly Min. *VT/SHGC* |
| *Vertical Fenestration*, 0% to 40% of *Wall* | | (for all frame types) | | | (for all frame types) | | | (for all frame types) | |
| *Nonmetal framing*, all | 0.31 | 0.36 | 1.10 | 0.31 | 0.36 | 1.10 | 0.51 | NR | NR |
| *Metal framing, fixed* | 0.38 | | | 0.38 | | | 0.73 | | |
| *Metal framing, operable* | 0.46 | | | 0.46 | | | 0.81 | | |
| *Metal framing, entrance door* | 0.68 | | | 0.68 | | | 0.77 | | |
| *Skylight*, 0% to 3% of *Roof* | | | | | | | | | |
| All types | 0.50 | 0.40 | NR | 0.50 | 0.40 | NR | 1.15 | NR | NR |

В таблицях 5.3 та 5.4 представлені інструкції щодо моделювання ОВК для базового дизайну, а в таблиці 5.5 для системи ГВП:

Таблиця 5.3 – Тип системи опалення для базового дизайну відповідно ASHRAE 90.1-2016 (позначено систему для даного проєкту)

**Table G3.1.1-3 Baseline *HVAC System* Types**

| *Building* Type, Number of *Floors*, and *Gross Conditioned Floor Area* | Climate Zones 3B, 3C, and 4 to 8 | Climate Zones 0 to 3A |
|---|---|---|
| *Residential* | *System* 1—*PTAC* | *System* 2—*PTHP* |
| Public assembly <120,000 $ft^2$ | *System* 3—PSZ-AC | *System* 4—PSZ-HP |
| Public assembly ≥120,000 $ft^2$ | *System* 12—SZ-CV-HW | *System* 13—SZ-CV-ER |
| Heated-only storage | *System* 9—Heating and *ventilation* | *System* 10—Heating and *ventilation* |
| Retail and 2 *floors* or fewer | *System* 3—PSZ-AC | *System* 4—PSZ-HP |
| Other nonresidential and 3 *floors* or fewer and <25,000 $ft^2$ | *System* 3—PSZ-AC | *System* 4—PSZ-HP |
| Other nonresidential and 4 or 5 *floors* and <25,000 $ft^2$ or 5 *floors* or fewer and 25,000 $ft^2$ to 150,000 $ft^2$ | *System* 5—Packaged *VAV* with *reheat* | *System* 6—Packaged *VAV* with PFP boxes |
| Other nonresidential and more than 5 *floors* or >150,000 $ft^2$ | *System* 7—*VAV* with *reheat* | *System* 8—*VAV* with PFP boxes |

Таблиця 5.4 – опис систем опалення для базового дизайну відповідно ASHRAE 90.1-2016 (позначено систему для даного проєкту)

**Table G3.1.1-4 Baseline *System* Descriptions**

| *System* No. | *System* Type | Fan *Control* | Cooling Type [a] | Heating Type [a] |
|---|---|---|---|---|
| 1. *PTAC* | *Packaged terminal air conditioner* | Constant volume | Direct expansion | Hot-water *fossil fuel boiler* |
| 2. *PTHP* | *Packaged terminal heat pump* | Constant volume | Direct expansion | Electric heat pump |
| 3. PSZ-AC | Packaged rooftop air conditioner | Constant volume | Direct expansion | *Fossil fuel* furnace |
| 4. PSZ-HP | Packaged rooftop heat pump | Constant volume | Direct expansion | Electric heat pump |
| 5. Packaged *VAV* with *reheat* | Packaged rooftop *VAV* with *reheat* | *VAV* | Direct expansion | Hot-water *fossil fuel boiler* |
| 6. Packaged *VAV* with PFP boxes | Packaged rooftop *VAV* with parallel fan power boxes and *reheat* | *VAV* | Direct expansion | *Electric resistance* |
| 7. *VAV* with *reheat* | *VAV* with *reheat* | *VAV* | Chilled water | Hot-water *fossil fuel boiler* |
| 8. *VAV* with PFP boxes | *VAV* with parallel fan-powered boxes and *reheat* | *VAV* | Chilled water | *Electric resistance* |
| 9. Heating and *ventilation* | Warm air furnace, gas fired | Constant volume | None | *Fossil fuel* furnace |
| 10. Heating and *ventilation* | Warm air furnace, electric | Constant volume | None | *Electric resistance* |
| 11. SZ–*VAV* | Single-zone *VAV* | *VAV* | Chilled water | See note (b). |
| 12. SZ-CV-HW | *Single-zone system* | Constant volume | Chilled water | Hot-water *fossil fuel boiler* |
| 13. SZ-CV-ER | *Single-zone system* | Constant volume | Chilled water | *Electric resistance* |

Варто зазначити, що до кожного типу системи, додатково до вимог щодо ефективності, висуваються вимоги щодо енергоспоживання вентиляторів, а також додаткові вимоги (наприклад рекуперація, осушувач і т.д.).

Таблиця 5.5 – Тип системи ГВП для базового дизайну від ASHRAE 90.1-2016 (позначено систему для даного проєкту)

**Table G3.1.1-2 Baseline *Service Water-Heating System***

| *Building* Area Type | Baseline Heating Method | *Building* Area Type | Baseline Heating Method |
|---|---|---|---|
| Automotive facility | Gas storage *water heater* | Performing arts theater | Gas storage *water heater* |
| Convenience store | *Electric resistance water heater* | Police station | *Electric resistance* storage *water heater* |
| Convention center | *Electric resistance* storage *water heater* | Post office | *Electric resistance* storage *water heater* |
| Courthouse | *Electric resistance* storage *water heater* | Religious *facility* | *Electric resistance* storage *water heater* |
| Dining: Bar lounge/leisure | Gas storage *water heater* | Retail | *Electric resistance* storage *water heater* |
| Dining: Cafeteria/fast food | Gas storage *water heater* | School/university | Gas storage *water heater* |
| Dining: Family | Gas storage *water heater* | Sports arena | Gas storage *water heater* |
| Dormitory | Gas storage *water heater* | Town hall | *Electric resistance* storage *water heater* |
| Exercise center | Gas storage *water heater* | Transportation | *Electric resistance* storage *water heater* |
| Fire station | Gas storage *water heater* | Warehouse | *Electric resistance* storage *water heater* |
| Grocery store | Gas storage *water heater* | Workshop | *Electric resistance* storage *water heater* |
| Gymnasium | Gas storage *water heater* | All others | Gas storage *water heater* |
| Health-care clinic | *Electric resistance* storage *water heater* | | |
| Hospital and outpatient surgery center | Gas storage *water heater* | | |
| Hotel | Gas storage *water heater* | | |
| Library | *Electric resistance* storage *water heater* | | |
| Manufacturing facility | Gas storage *water heater* | | |
| Motel | Gas storage *water heater* | | |
| Motion picture theater | *Electric resistance* storage *water heater* | | |
| Multifamily | Gas storage *water heater* | | |
| Museum | *Electric resistance* storage *water heater* | | |
| Office | *Electric resistance* storage *water heater* | | |
| Parking garage | *Electric resistance* storage *water heater* | | |
| Penitentiary | Gas storage *water heater* | | |

Після того, як готові 2 варіанти моделей (базовий та запропонований), можна визначити чи відповідає проєкт вимогам. Процедура розрахунку прописана в секції 4.2.1.1 ASHRAE 90.1.

В основі розрахунку лежить порівняння двох розрахункових величин – $PCI_t$ та PCI (для того, щоб відповідати стандарту $PCI_t$<=PCI).

$$PCI_t = [BBUEC + (BPF*BBREC)]/BBP, \quad (1)$$

де

PCI – Performance Cost Index, розрахований відповідно до розділу G1.2 (формула (2)).

BBUEC – частка витрат коштів на річну енергію будівлі, що включає нерегульовані витрати на енергію будівлі;

BBREC – частка витрат коштів на річну енергію будівлі, що включає регульовані витрати на енергію будівлі;

BPF – коефіцієнт ефективності будівлі з таблиці 4.2.1.1 (табл. 5.6). Якщо будівля має кілька типів зон забудови, необхідний BPF має дорівнювати середньозваженому за площею типів площ забудови (для даного проєкту не потрібно);

BBP – продуктивність базової будівлі (в коштах на рік).

Якщо спростити пояснення формули та розрахунку, це просте порівняння витрат коштів на річну експлуатацію базової та запропонованої будівлі, проте, вплив нерегульованої частки енергії (себто, частка енергії яку не можна зменшити покращуючи технічний стан будівлі) на кінцевий результат зменшений.

Таблиця 5.6 – BPF для різних кліматичних зон відповідно до ASHRAE 90.1-2016

**Table 4.2.1.1 *Building* Performance Factor (BPF)**

| *Building* Area Type[a] | Climate Zone | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0A and 1A | 0B and 1B | 2A | 2B | 3A | 3B | 3C | 4A | 4B | 4C | 5A | 5B | 5C | 6A | 6B | 7 | 8 |
| Multifamily | 0.73 | 0.73 | 0.71 | 0.69 | 0.74 | 0.73 | 0.68 | 0.78 | 0.81 | 0.81 | 0.76 | 0.80 | 0.81 | 0.76 | 0.79 | 0.74 | 0.80 |
| Healthcare/ hospital | 0.64 | 0.56 | 0.60 | 0.56 | 0.60 | 0.56 | 0.54 | 0.57 | 0.53 | 0.55 | 0.59 | 0.52 | 0.55 | 0.57 | 0.52 | 0.56 | 0.56 |
| Hotel/motel | 0.64 | 0.65 | 0.62 | 0.60 | 0.63 | 0.65 | 0.64 | 0.62 | 0.64 | 0.62 | 0.60 | 0.61 | 0.60 | 0.59 | 0.61 | 0.57 | 0.58 |
| Office | 0.58 | 0.62 | 0.57 | 0.62 | 0.60 | 0.64 | 0.54 | 0.58 | 0.60 | 0.58 | 0.60 | 0.61 | 0.58 | 0.61 | 0.61 | 0.57 | 0.61 |
| Restaurant | 0.62 | 0.62 | 0.58 | 0.61 | 0.60 | 0.60 | 0.61 | 0.58 | 0.55 | 0.60 | 0.62 | 0.58 | 0.60 | 0.63 | 0.60 | 0.65 | 0.68 |
| Retail | 0.52 | 0.58 | 0.53 | 0.58 | 0.54 | 0.62 | 0.60 | 0.55 | 0.60 | 0.60 | 0.55 | 0.59 | 0.61 | 0.55 | 0.58 | 0.53 | 0.53 |
| School | 0.46 | 0.53 | 0.47 | 0.53 | 0.49 | 0.52 | 0.50 | 0.49 | 0.50 | 0.49 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.49 | 0.50 | 0.47 | 0.51 |
| Warehouse | 0.51 | 0.52 | 0.56 | 0.58 | 0.57 | 0.59 | 0.63 | 0.58 | 0.60 | 0.63 | 0.60 | 0.61 | 0.65 | 0.66 | 0.66 | 0.67 | 0.67 |
| All others | 0.62 | 0.61 | 0.55 | 0.57 | 0.56 | 0.61 | 0.59 | 0.58 | 0.57 | 0.61 | 0.57 | 0.57 | 0.61 | 0.56 | 0.56 | 0.53 | 0.52 |

PCI = Proposed building performance/Baseline building performance, (2)

де

Proposed building performance – річні кошти на енергію для запропонованого дизайну;

Baseline building performance – те саме що й формулі (1);

Як запропоновані характеристики будівлі, так і базові характеристики будівлі повинні включати всі компоненти кінцевого використання всередині будівлі та пов'язані з нею під час розрахунку індексу ефективності.

При аналізі нормативів США було виявлено цікаву закономірність: починаючи з 2018 циклу кодексів, більшість нормативів почали в більшій мірі посилатись на Appendix G, ASHRAE 90.1, проте ті програми та кодекси, що вимагають більшої енергоефективності просто мають індивідуальні вимоги до BPF.

Продовжуючи огляд вимог енергоефективності саме для нашого проєкту, вимоги наступні:

- ASHRAE 90.1-2016 – BPF 0.81;
- 2018 SEC – моделювання по ASHRAE 90.1-2019, BPF 0.52, додатково вимоги до BPF для будівель без встановленої фотовольтаїки більш суворі (BPF 0.5044). Також розрахунок PCI та $PCI_t$ має проводитись з використанням викидів $CO_2$ замість розрахунку через кошти на енергію.
- Built Green Multifamily 4-Star – моделювання по відповідно до 2018 WSEC та використати BPF 0.52 для розрахунку, або моделювання по відповідно до 2018 SEC.

Отже, кінцевою цілью проєкту є відповідність 2018 SEC шляхом Total Building Performance.

## 5.3 Моделювання в програмі eQUEST архітектура

Першим кроком в моделюванні в даній програмі є обрання загальних типу будівлі, графіку експлуатації (в залежності від типу), тарифів на енергію, та кліматології.

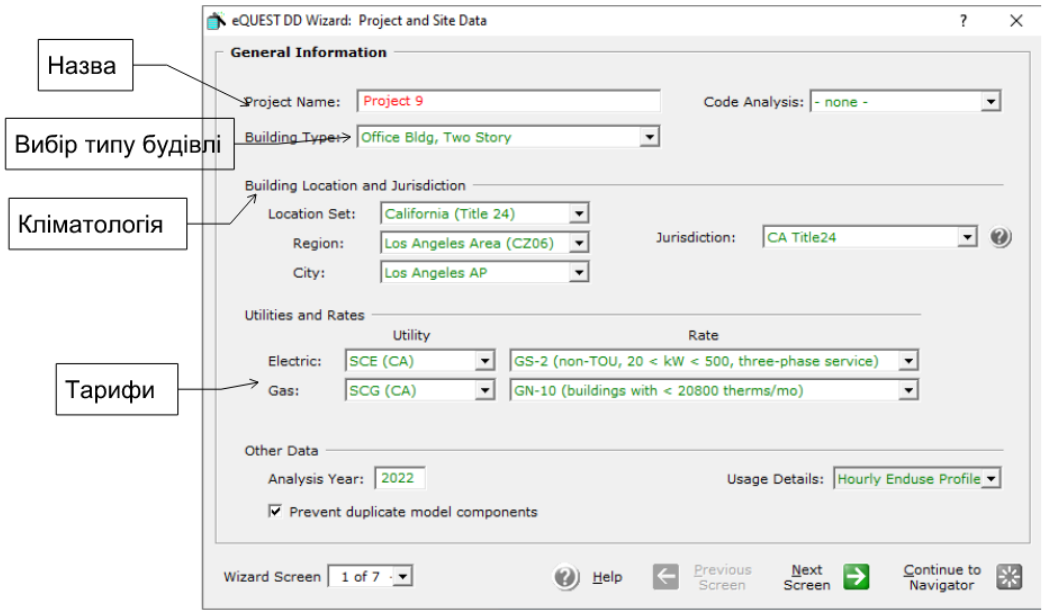



Рисунок 5.1 – Стартова сторінка проєкту в програмі eQUEST

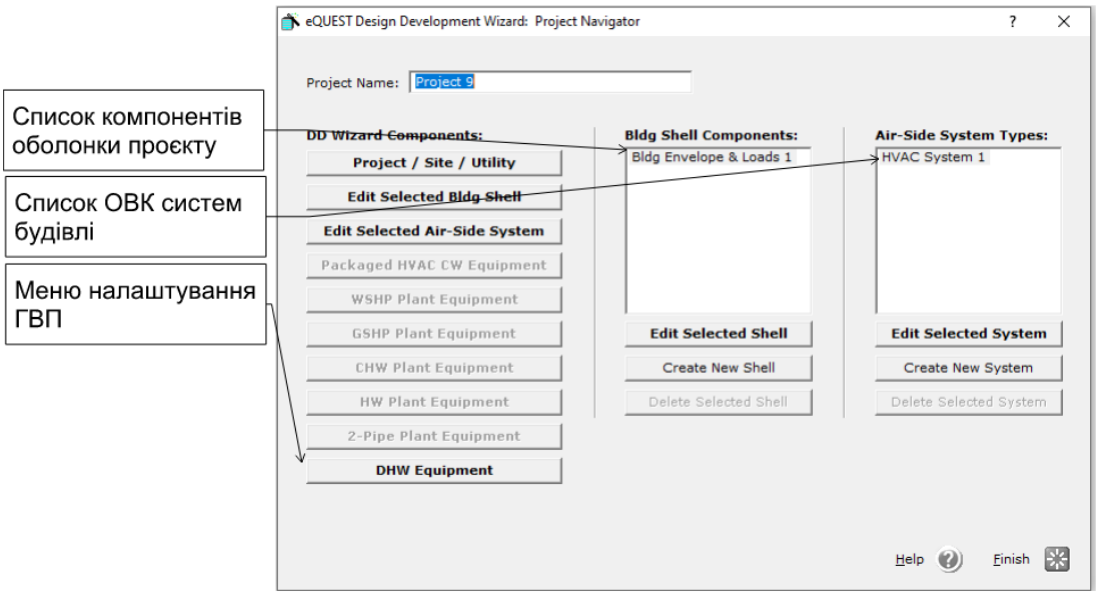



Рисунок 5.2 – меню огороджень, ОВК та ГВП (спрощений режим) в програмі

Після заповнення основної інформації по проєкту, програма відкриє меню в якому можна задати архітектуру, характеристику огороджень, ОВК та ГВП. Цей режим називається Design Development Wizard, та дозволяє швидко заповнити модель, проте більшість моделей потребують доопрацювання в іншій частині програми – Detailed Mode.

Detailed Mode не дозволяє так швидко заповнювати інформацію, проте дає змогу пропрацювати кожен акцент будівлі більш детально та індивідуально для кожного приміщення. При переходів від Design Development Wizard, заповнена в ньому інформація збережеться, що значно пришвидшує процес.

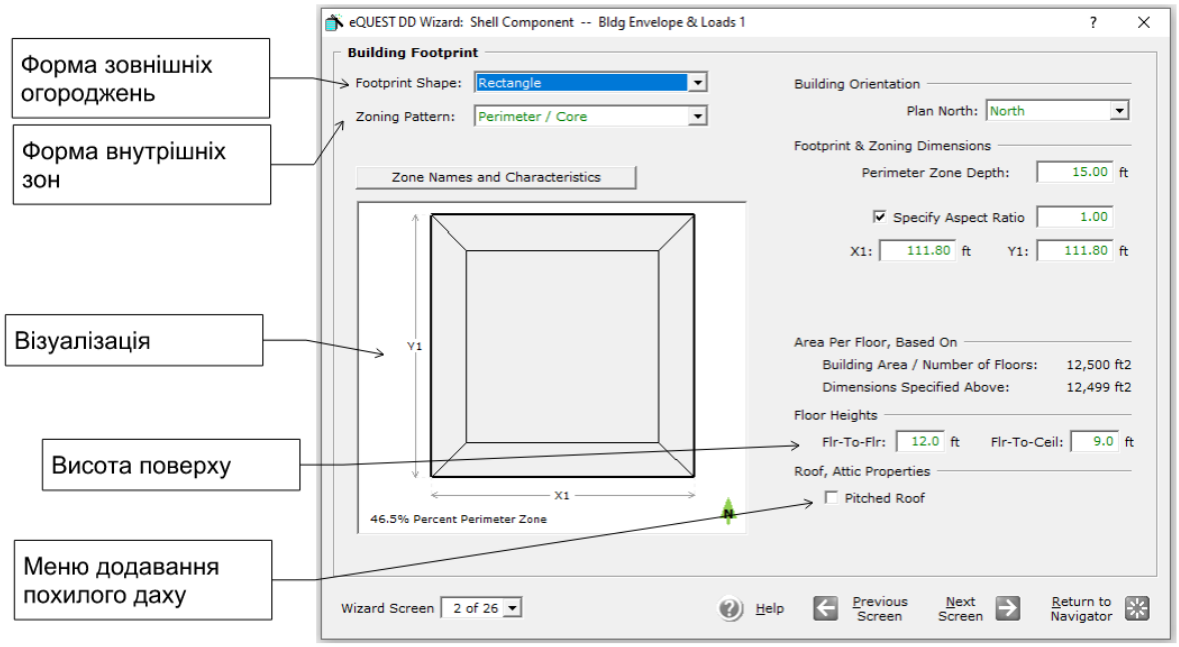



Рисунок 5.3 – меню додавання архітектури

При додаванні форми для елементу оболонки будівлі, можна як використати прості геометричні фігури, так й додати підкладку планів будівлі.

Подальші екрани в меню дозволяють налаштувати склад та характеристики огороджуючих конструкцій, вікна, режими експлуатації, освітлення, електроприлади та згрупувати зони для подальшого додавання ОВК.

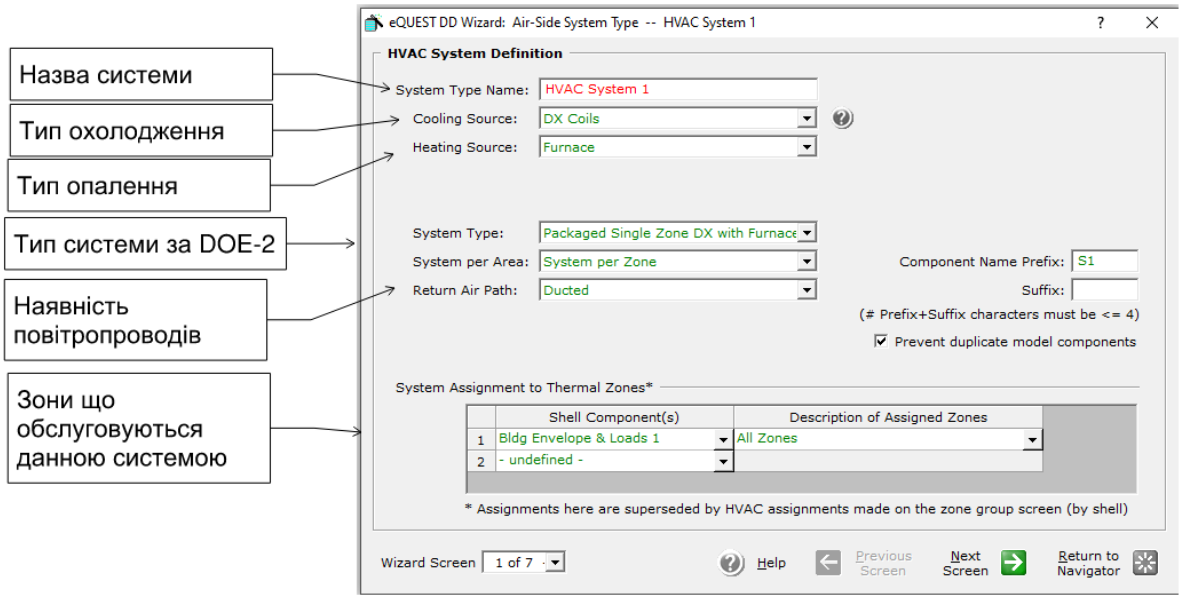



Рисунок 5.4 – меню додавання систем ОВК

Далі пропонується додати системи ОВК через відповідне меню (Рисунок 5.4), проте системи ОВК дуже часта необхідно доопрацювати в детальному режимі.

Тут же задаємо тип системи, джерела опалення та охолодження, та обираємо відповідну систему в бібліотеці. Також, вказуємо наявність повітропроводів та зазначаємо які зони обслуговуються цією системою.

На подальших вікнах меню вказуємо ефективності для опалення та охолодження, за необхідності підбираємо необхідні криві обладнання. Для систем з водяним контуром задаємо параметри контуру.

Меню додавання систем ГВП (Рисунок 5.5) дозволяє задати параметри системи ГВП для нашого проєкту. Варто обрати паливо, тип нагрівача та розрахункову потребу на ГВП в гал. (найчастіше приймається 25 гал/людину на день, проте за умови використання ефективних крані, робиться перерахунок, щоб це врахувати).

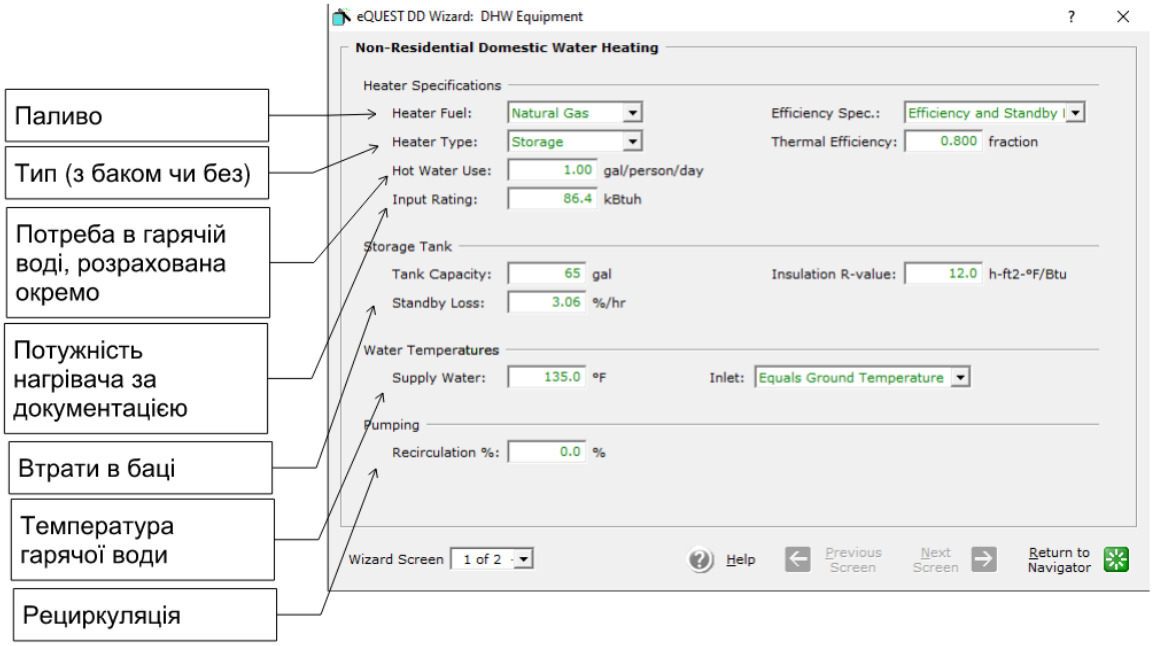



Рисунок 5.5 – меню додавання систем ГВП

Також тут задаються втрати в баці (якщо він є), система рециркуляції, ефективність та потужність нагрівача за наявності такої інформації.

Після того як створена геометрія всіх поверхів, та задані інші параметри будівлі (за бажанням), можна переходити в детальний режим, який зустрічає нас візуалізацією побудованого об’єкту в 3-Д та меню більш детального налаштування огороджуючих конструкцій. На рисунку 5.6 наведено дерево компонентів вкладки Building Shell eQUEST:

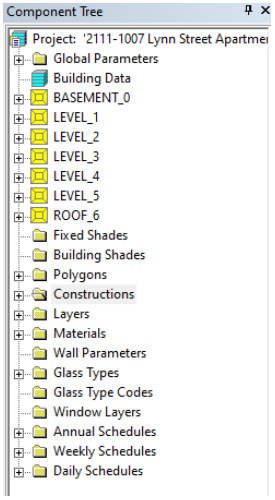



Рисунок 5.6 – Дерево компонентів вкладки Building Shell eQUEST

Починаючи з цього меню, більш детально будуть описані вхідні данні для моделей саме цього проєкту, та процес внесення цих даних в програму.

Результати моделювання архітектури наведено на рисунках 5.7 та 5.8:

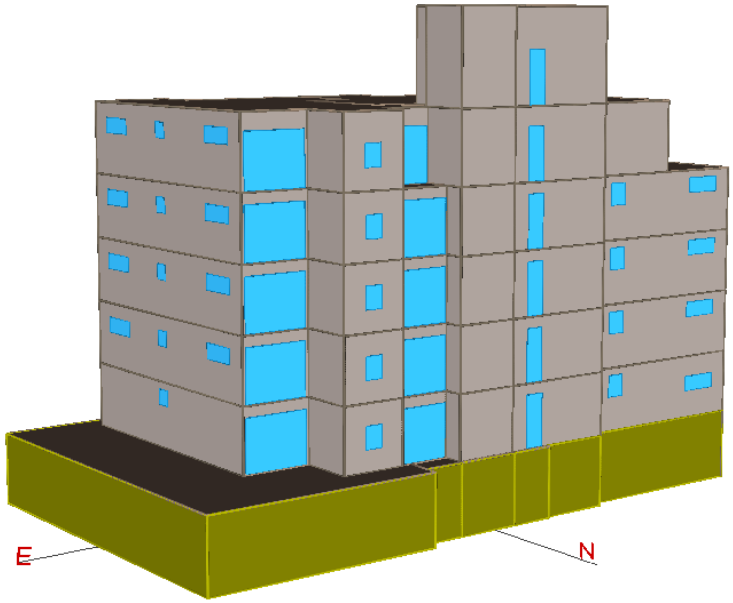



Рисунок 5.7 – Енергетична модель eQUEST, 3-D рендер північного та східного фасадів

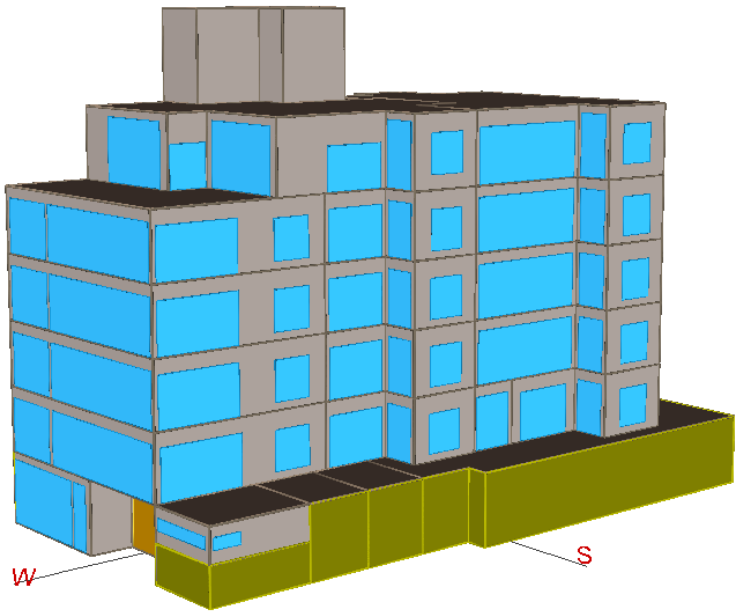



Рисунок 5.8 – Енергетична модель eQUEST, 3-D рендер південного та західного фасадів

## 5.4 Моделювання огороджувальних конструкцій

Для кожного типу стіни (в даному проєкті типи такі: масивні стіни, дерев'яна рама, стіни по ґрунту) та даху проводиться розрахунок для того щоб отримати приведений коефіцієнт теплопередачі (див. пункт 2 дисертації), та створюються відповідні «пироги», та об'єднується з відповідним типом стін/даху. Процедура повторюється для вікон. На рисунках 5.9 та 5.10 наведені рендери будівлі в програмі:

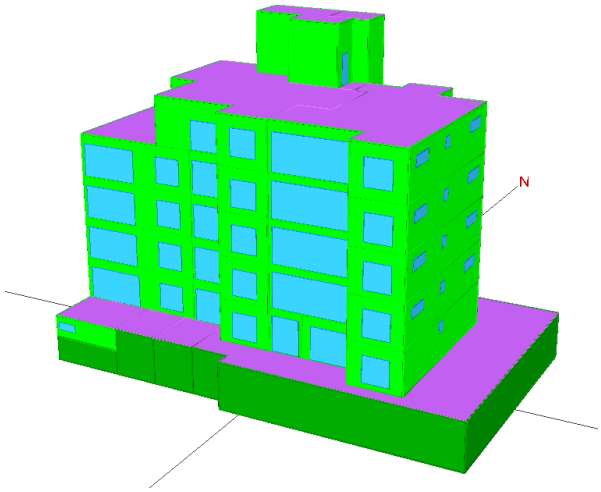



Рисунок 5.9 – Енергетична модель eQUEST, 3-D рендер з ввідображенням непрозорих огороджувальних конструкцій в залежності від типу

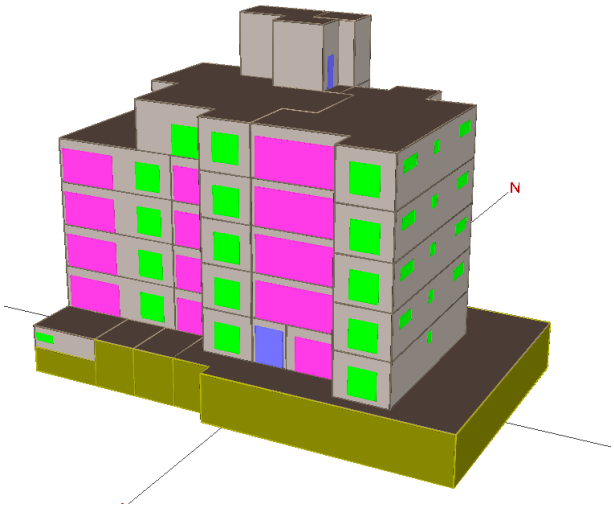
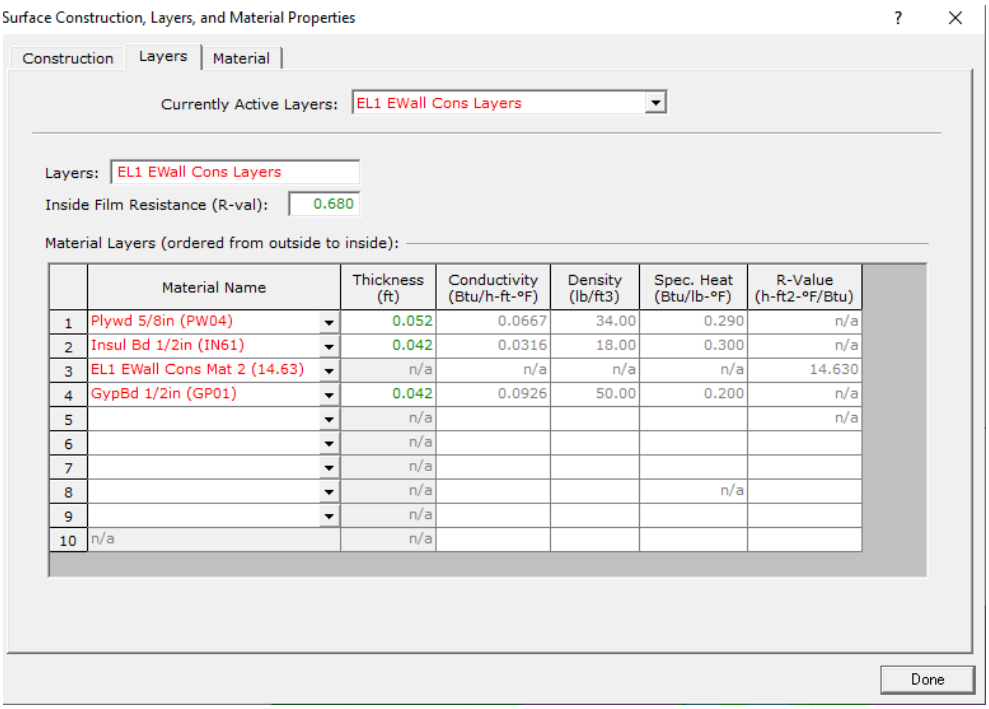



Рисунок 5.10 – Енергетична модель eQUEST, 3-D рендер з відображенням прозорих огорожувальних конструкцій в залежності від типу

Для непрозорих елементів оболонки сама ж конструкція задається з урахуванням складу стіни та масивності шарів, а U-value регулюється зміною характеристик теплоізоляційного шару.




| | Material Name | Thickness (ft) | Conductivity (Btu/h-ft-°F) | Density (lb/ft3) | Spec. Heat (Btu/lb-°F) | R-Value (h-ft2-°F/Btu) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Plywd 5/8in (PW04) | 0.052 | 0.0667 | 34.00 | 0.290 | n/a |
| 2 | Insul Bd 1/2in (IN61) | 0.042 | 0.0316 | 18.00 | 0.300 | n/a |
| 3 | EL1 EWall Cons Mat 2 (14.63) | n/a | n/a | n/a | n/a | 14.630 |
| 4 | GypBd 1/2in (GP01) | 0.042 | 0.0926 | 50.00 | 0.200 | n/a |
| 5 | | n/a | | | | n/a |
| 6 | | n/a | | | | |
| 7 | | n/a | | | | |
| 8 | | n/a | | | n/a | |
| 9 | | n/a | | | | |
| 10 | n/a | n/a | | | | |

Рисунок 5.11 – приклад задання огороджуючих конструкцій використаних в даному проєкті

Для світлопрозорих елементів найчастіше вистачає задати U-value та SHGC в відповідному меню.

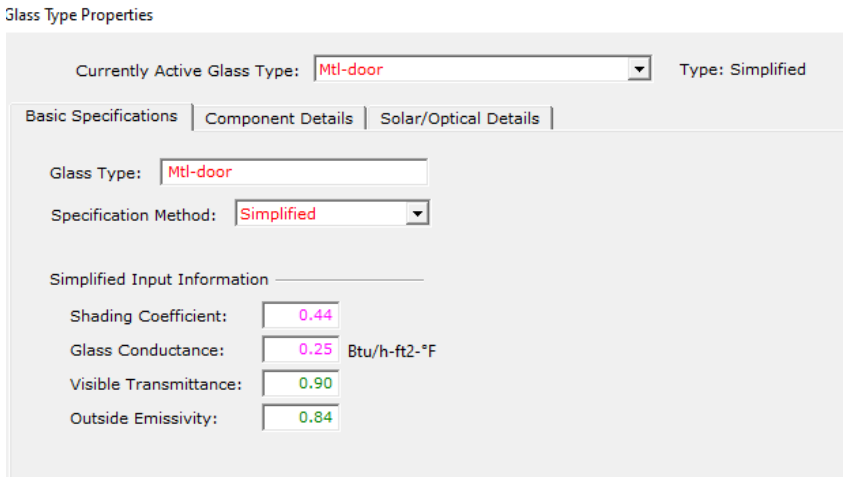



Рисунок 5.11 – приклад задання вікон використаних в даному проєкті

## 5.5 Моделювання в програмі eQUEST внутрішні навантаження

На даній вкладці були задані такі параметри:

1. Кількість людей в кожному приміщені та графік їх перебування
2. Навантаження та контроль системи освітлення
3. Електричне обладнання
4. Інфільтрація
5. Додаткова внутрішня маса

Кількість людей та графік перебування в будівлі:

Кількість людей визначається згідно до ASHRAE 62.1 для більшості нежитлових приміщень. Для житлових кімнат для визначення кількості людей використовується наступна формула:

$$n = 2 + (NB-1)*1 \quad (3)$$

де

n – розрахункова кількість людей в кімнаті;

NB – кількість спалень в кімнаті.

Навантаження та контроль системи освітлення:

Найчастіше інформацію про освітлення задається в вигляді середньозважених питомих потужностей (Вт/фут$^2$) для кожного типу приміщення, відповідно до таблиці 9.5.1 ASHRAE 90.1 (рис. 5.12), данні з якої також використовуються в базовому дизайні. Для житлових кімнат (запропонованого дизайну) необхідний додатковий розрахунок, що включає в себе урахування додаткового освітлення (того що вмикається в розетку), оскільки такий дизайн є типовим для США (таб. 5.7).

Таблиця 5.7 – розраховані питомі потужності для різних типів приміщень в запропонованому дизайні та базовій моделі

| Тип приміщень | Питома потужність, Вт/фут$^2$ | Питотма потужність, Вт/фут$^2$ |
|---|---|---|
| Кімнати | 0,68 | 0,68 |
| Сходи | 0,44 | 0,6 |
| Трансформаторні кімнати | 1,5 | 1,5 |
| Кладові кімнати | 0,8 | 0,8 |

**Table 9.5.1 *Lighting Power Density* Allowances Using the *Building* Area Method**

| *Building* Area Type[a] | *LPD*, W/ft$^2$ |
|---|---|
| Automotive facility | 0.71 |
| Convention center | 0.76 |
| Courthouse | 0.90 |
| Dining: Bar lounge/leisure | 0.90 |
| Dining: Cafeteria/fast food | 0.79 |
| Dining: Family | 0.78 |
| Dormitory | 0.61 |
| Exercise center | 0.65 |
| Fire station | 0.53 |
| Gymnasium | 0.68 |
| Health-care clinic | 0.82 |
| Hospital | 1.05 |
| Hotel/motel | 0.75 |
| Library | 0.78 |
| Manufacturing facility | 0.90 |
| Motion picture theater | 0.83 |
| Multifamily | 0.68 |
| Museum | 1.06 |
| Office | 0.79 |
| Parking garage | 0.15 |
| Penitentiary | 0.75 |
| Performing arts theater | 1.18 |
| Police station | 0.80 |
| Post office | 0.67 |
| Religious facility | 0.94 |
| Retail | 1.06 |
| School/university | 0.81 |
| Sports arena | 0.87 |
| Town hall | 0.80 |
| Transportation | 0.61 |
| Warehouse | 0.48 |
| Workshop | 0.90 |

a. In cases where both a general *building* area type and a specific *building* area type are listed, the specific *building* area type shall apply.

Рисунок 5.12 – таблиця .5.1 ASHRAE 90.1 1 Lighting Power Density Allowances Using the Building Area Method, саме такі типи приміщень використовують при діленні будівлі на зони освітлення, а також максимальна допустима потужність освітлення для кожного типу зони

Електричне обладнання:

Навантаження електричного обладнання можна задати як індивідуальне навантаження кожного приладу (до 5 штук), або як питому величину на одиницю площі. Додатково програма просить визначитись з частками явного та прихованого навантаження, що в другому випадку треба середньозважити для групи приладів.

Також, згідно ASHRAE 90.1 навантаження від електроприладів має бути розподілене на частку приладів (холодильник, пральна, сушильна та посудомиюча машини, плита) та частку так званих Plague Loads, що враховує непостійне обладнання (фени, телевізори і т.д.) (таб. 5.8). Відрізняє ці групи приладів те, що на першій групі приладів модна показувати економію, оскільки їх можна встановлювати від забудовника, та бути впевненим, яке саме обладнання буде придбане.

Таблиця 5.8 – стандартне споживання електроприладів для моделювання (в базовому дизайні вважається, що завжди встановлено не Energy Star, в запропонованому в залежності від дизайну)

| Load Source | Energy Consumption | Sensible/Latent Load Fraction (4) |
|---|---|---|
| Refrigerator (1,6) | 529 kWh/yr Baseline Building electricity usage (conventional unit)<br>423 kWh/yr Proposed Design electricity usage (ENERGY STAR unit) | 1.00/0.0 |
| Dishwasher (1) | 206 kWh/yr Baseline Building electricity usage (conventional unit)<br>164 kWh/yr Proposed Design electricity usage (ENERGY STAR unit) | 0.60/0.15 |
| Clothes Washer (1) | In-unit clothes washers: 81 kWh/yr<br>Baseline Building electricity usage (conventional unit) 57 kWh/yr<br>Proposed Design electricity usage (ENERGY STAR unit)<br>Commercial clothes washers: 196 kWh/yr<br>Baseline Building electricity usage (conventional unit) 138 kWh/yr<br>Proposed Design electricity usage (ENERGY STAR unit) | 0.80/0.0 |
| Cooking (2) (electric stove/range) | 604 kWh/year | 0.40/0.30 |
| Cooking (2) (gas stove/range) | 45 Therms/year | 0.30/0.20 |
| Clothes Dryer (2)(5) | Electric Dryer: kWh/yr = [418 + (139*Nbr)]*F<br>Gas Dryer: Electricity: kWh/yr = [38 + (12.7*Nbr)]*F<br>Gas: Therms/yr = [26.5 + (8.8*Nbr)]*F<br>Nbr = Average number of Bedrooms in dwelling units.<br>F = scale factor to account for increased number of cycles of common space clothes dryers. F=1 for in-unit clothes dryers. F=2.423 for common space clothes dryers. | Electric Dryer: 0.15/0.05<br>Gas Dryer:<br>Electricity – 1.0/0.0<br>Gas – 0.10/0.05 |
| Miscellaneous Dwelling unit Plug Loads (3) | 1.05 kWh/FFA annual usage<br>FFA = Finished Floor Area of living space in square feet | 0.90/0.1 |
| Miscellaneous Non-Dwelling unit Plug Loads (3) | Corridors, restrooms, stairs, and support areas: 0.7 kWh/ft2 annual usage.<br>Offices: 4.9 kWh/ft2 annual usage<br>Other Multifamily Public& Common Areas: 1.6 kWh/ft2 annual usage | 1.0/0.0 |

Інфільтрація

В базовому варіанті має бути встановлена на рівні 0,4 cfm/ft$^2$ при тиску в 50Па, для запропонованого варіанту за результатами тесту (див. секцію 2 дисертації), в нашому випадку це 0,25 cfm/ft$^2$ при тиску в 50Па (за мінімальними вимогами 2018 SEC). Проте, перед занесенням до моделі, результати тесту мають бути перераховані на нормальні умови за формулою:

$$Inf_m = TR*0.112 \quad (4)$$

де

$Inf_m$ – значення, що має бути занесеним до моделі;

TR – результат тесту при 50Па.

Додаткова внутрішня маса

Задається згідно ASHRAE 90.1 для офісних та житлових приміщень на рівні 8 ibs/ft$^2$.

Графіки перебування людей, освітлення, роботи обладнання, ГВП та ОВК задаються згідно даних електронного ресурсу comnet [18].

## 5.6 Моделювання водяна частина ОВК

На даній вкладці задаються (якщо не були задані) або корегуються (якщо потребується після спрощеного режиму) параметри водонагрівачів та системи ГВП.

Системи ГВП

Програма дозволяє моделювати електронагрівачі, газові котли (атмосферні та конденсаційні) та теплові насоси (повітря-вода, вода-вода) як джерело енергії для потреб ГВП з баками та без.

В запропонованому варіанті ми моделюємо тепловий насос з COP 2,9, а також покращені крани (потреба води буде меншою за базовий варіант), а також вказуємо місце розташування нагрівача, та насоси рециркуляції (див. частину 3).

Для базового варіанту тут моделюється газовий атмосферний водонагрівач з баком, ефективність 80% за вимогами ASHRAE 90.1.

Водонагрівачі для системи ОВК в базовому варіанті

На цій вкладці ми моделюємо 2 бойлери які будуть задовільняти потреби ОВК. Ефективність має бути 80%, а також сумарна потужність має задовільнити 125% потреби розрахованої програмою (задається через функцію Capacity Ratio по 62,5% на кожен бойлер).

## 5.7 Моделювання ОВК

Опалювальні прилади моделюються на цій вкладці. Програма дає можливість симулювати один тип обладнання плюс baseboard heater в кожному приміщені, або поєднувати декілька зон під одним обладнанням, за необхідності.

Додатково, є можливість симулювати рекуперацію, осушувачі, економайзери, приточні та витяжні вентилятори (як зонадьні так і ті, що є частиною системи). Також можливе ручне задання кількості повітря що циркулює в приміщенні. На рисунку 5.13 навенений приклад системи ОВК змодельованої в програмі:

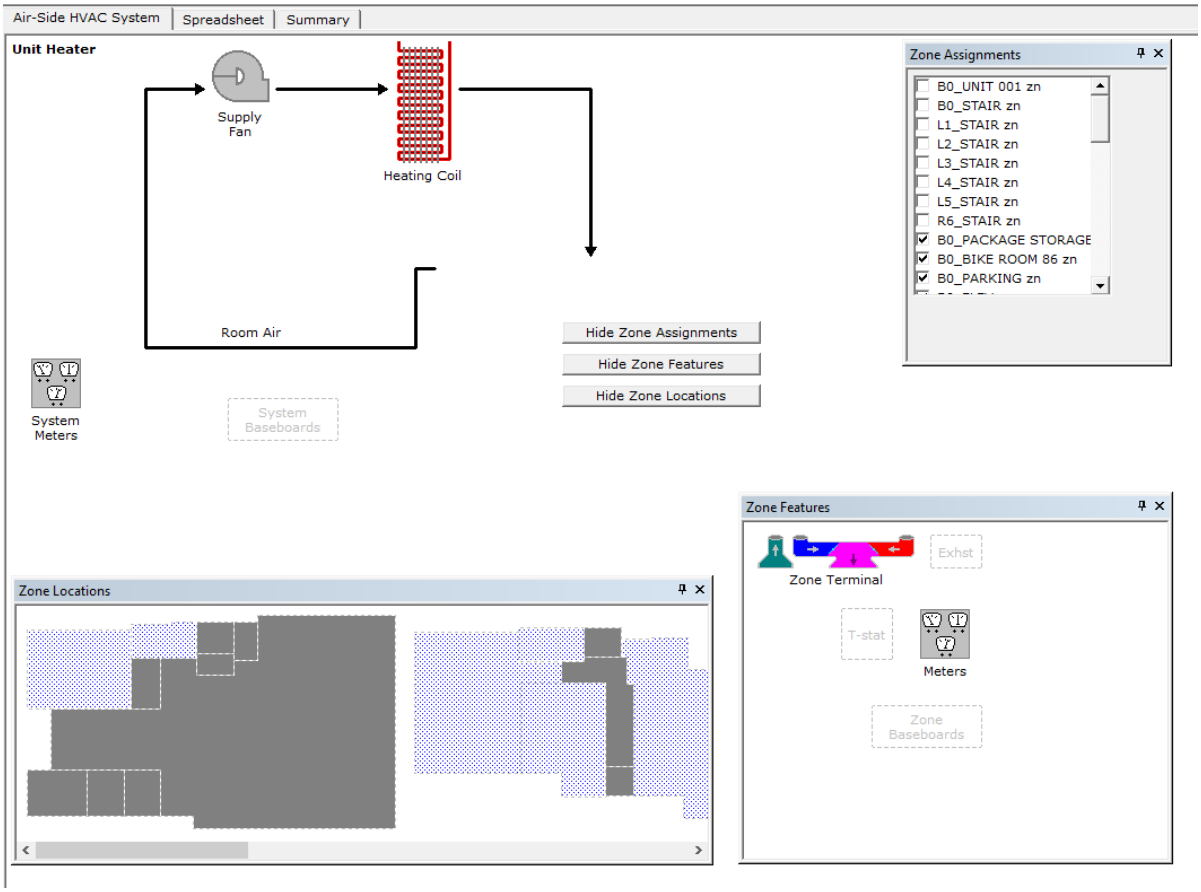



Рисунок 5.13 – візуальний інтерфейс вкладки Air-Side HVAC

В запропонованому варіанті були просимульовані такі системи:

- Теплові насоси типу повіртя повітря (характеристики відповідно до документації) + рекуператори в кожній житловій кімнаті

- Електронагрівачі на сходах

При заданні ефективності теплових насосів програма просить ввести ERI, Btu/Btu, для отримання необхыдної нам величини були використані наступні формули (3)-(7):

$$COP_{nfcooling} = 7.84\text{E-}8 \times EER \times Q + 0.338 \times EER$$

$$COP_{nfcooling} = -0.0076 \times \text{SEER}^2 + 0.3796 \times SEER$$

$$COP_{nfheating} = 1.48\text{E-}7 \times COP_{47} \times Q + 1.062 \times COP_{47}$$

(applies to heat pump heating *efficiency* only)

$$COP_{nfheating} = -0.0296 \times \text{HSPF}^2 + 0.7134 \times HSPF$$

Далі, COP переводиться в EIR за формулою:

$$\text{EIR} = 1 / \text{COP} \tag{8}$$

де

EIR – Electric Input Ratio (Електричний вхідний коефіцієнт), Btu/Btu;

COP – Coefficient of Performance (Коефіцієнт ефективності), Btu/Btu.

Додатково було задано ефективність приточного вентилятора для системи опалення, та окремо для рекуператора, а також еффективність рекуператора.

В базовій моделі всі системи мають один тип за вимогами ASHRAE 90.1. Система складається з фан койлу, що живиться від водонагрівача (згаданий раніше) та кондиціонеру, з COP 3,1-3,2. Система без повітропровадів. Еффективність приточного вентилятора 0,3 W/cfm, за додатковою вимогою до системи 1.

Додатково, в приміщеннях задані значення механічного притоку свіжого повітря згідно з ASHRAE 62.1 та 62.2:

- Житлові кімнати 15cfm на людину;
- Лоббі 0,06 cfm/ft$^2$ плюс 5cfm на людину;
- Інші кімнати 0,06 cfm/ft$^2$.

## 5.8 Моделювання лічильники та економіки

На даній вкладці можна додавати загальнобудинкові, окремі, та суб-лічильники для електроенергії або різних видів палива.

За необхідності, тут же модна додати тарифи, що корисно при розрахунку PCI.

Також, саме тут можна просимулювати сонячну панель (у спрощеному вигляді) та економія електроенергії автоматично пропорційно розподілиться між різними частинами споживання.

В даному проекті, також було додане пряме навантаження на загальнобудинковий електролічильник для врахування витяжних вентиляторів в гаражі та спільних зонах (навантаження однакове в базовому та запропонованому дизайні).

Таким самим чином задається навантаження зовнішнього освітлення.

## 5.9 Сумарні вхідні данні використані в моделюванні

Данні, застосовані в моделі обох дизайнів проєктів наведені в таблиці 5.9:

Таблиця 5.9 – Вхідні дані для базового та запропонованого дизайнів

| **Компонент будівлі** | **Стандартний дизайн** | **Джерело даних** | **Пропонований дизайн** | **Джерело даних** |
|---|---|---|---|---|
| **Дах** | Тип: Ізоляція над декою<br>Площа: як в запропонованому дизайні<br>U: 0.063 | Табл. G3.4-4 ASHRAE 90.1 2016 | Тип: Інше<br>Площа: 3,118 $ft^2$<br>U: 0.0177 | Секція 2 |
| **Стіни** | Тип: металева рама<br>Площа: як в запропонованому дизайні<br>U-factor: 0.064 | Табл. G3.4-4 ASHRAE 90.1 2016 | Тип: дерев'яна рама<br>Площа: 12,066 $ft^2$<br>U: 0.054<br>Тип: Масивна<br>U: 0.266 | Секція 2 |
| **Стіни по грунту** | Тип: Масивна<br>C-factor: 1.140 | Табл. G3.4-4 ASHRAE 90.1 2016 | Тип: Масивна<br>U: 0.0836 | Секція 2 |
| **Підлога** | Тип: Steel-joist<br>Площа: як в запропонованому дизайні<br>U-factor: 0.038 | Табл. G3.4-4 ASHRAE 90.1 2016 | Тип: Масивна<br>Площа: 2,301 $ft^2$<br>U: 0.031 | Секція 2 |
| **Двері** | Тип: Розпашні<br>Площа: як в запропонованому дизайні<br>U: 0.70 | Табл. G3.4-4 ASHRAE 90.1 2016 | Тип: Розпашні<br>Area: 47 $ft^2$<br>U: 0.37 | Секція 2 |
| **Вертикальне скління** | Площа: як в запропонованому дизайні<br>U-factor: 0.5<br>SHGC – 0.39 | Табл. G3.4-4 ASHRAE 90.1 2016 | Площа: 5,106 $ft^2$;<br>U: 0.23<br>SHGC – 0.38 | Секція 2 |
| **Інфільтрація** | 0.40 cfm/ft2 | Секція 5.4.3 ASHRAE | 0.25 cfm/ft2 | Вимоги місцевого кодексу |

| Компонент будівлі | Стандартний дизайн | Джерело даних | Пропонований дизайн | Джерело даних |
|---|---|---|---|---|
| | | 90.1 2016 | | |
| **Освітлення, внутрішнє** | Квартири: як в запропонованому дизайні<br>Лоббі:<br>0.80 W/SF<br>Сходи:<br>0.60 W/SF<br>Паркінг:<br>0.20 W/SF<br>Кладові:<br>0.80 W/SF<br>Щитові: 1.50 W/SF | Табл. G3.7 ASHRAE 90.1 2016; | Квартири:<br>0.68 W/SF<br>Лоббі:<br>0.65 W/SF<br>Сходи:<br>0.44 W/SF<br>Паркінг:<br>0.14 W/SF<br>Кладові:<br>0.34 W/SF<br>Щитові: 0.39 W/SF | Табл. 9.5.1 ASHRAE 90.1 2016; Табл. C405.4.2(2) SEC2018 |
| **Освітлення, зовнішнє** | 412.34 Вт | Табл. G3.6 ASHRAE Standard 90.1 2016; | 206.17 Вт | Табл. C405.5.3(3) SEC2018 |
| **Електро прилади** | Як в запропонованому дизайні | Табл. G3.1 ASHRAE 90.1 2016 | Холодильники - 423 кВт/р<br>Посудомийки - 164 кВт/р<br>Пральні Машини – 57 кВт/р<br>Сушилки - 418+139*Nbr кВт/р<br>Плити - 604 кВт/р<br>Дод. навантаження - 1.05 кВт/р/ft2 | |
| **Системи опалення** | **Вся будівля:**<br>Система 1 – PTAC<br>Опалення – Бойлер<br>Ефективність: 80% ( <300 kBtu/г )<br>Вентилятор – 0.3 W/CFM | Табл. G3.1.1-3; G3.1.1-4; G3.5.6 ASHRAE 90.1 2016 | **Квартири:**<br>Тепловий насос COP-4.02<br>Вентилятор: 0.093 W/CFM<br>**Сходи:**<br>Ел. нагрівач | M200 (проєкт) |

| Компонент будівлі | Стандартний дизайн | Джерело даних | Пропонований дизайн | Джерело даних |
|---|---|---|---|---|
| **Системи охолодження** | **Вся будівля:**<br>Система 1– PTAC<br>Тип – Кондиціонер прямого випаровування<br>COP-3.2 | Табл. G3.1.1-3; G3.1.1-4; G3.5.4 ASHRAE 90.1 2016 | **Квартири:**<br>Тепловий насос COP-4.26<br>**Сходи:**<br>Як в стандартному дизайні | M200 (проєкт) |
| **Рекуперація** | Відсутня | | 60% | C403.3.6 WSEC2018 |
| **ГВП** | Газовий водонагрівач з баком<br>Еф. – 80% | Табл G3.1.1-2; 7.8 ASHRAE 90.1 2016 | Тепловий насос UEF-2.9 | P301 (проєкт) |

## 5.9 Результати моделювання

Отримані результати моделювання зведені до таблиці 5.10:

Таблиця 5.10 – результати моделювання по типу використання

| | | Стандратний дизайн | | Запроп. дизайн | | Різниця |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Використання | Паливо | Вкористання енергії Вт/р | % від дизайну | Використання енергії Вт/р | % від дизайну | Використання енергії Вт/р |
| Освітлення - інтер'єр | ЕЛ. | 121,581,431 | 10.5% | 75,933,800 | 19.9% | 45,647,631 |
| Освітлення - фасад | ЕЛ. | 4,790,647 | 0.4% | 2,395,323 | 0.6% | 2,395,323 |
| Опалення приміщень | ЕЛ. | 0 | 0.0% | 92,673,767 | 24.3% | -92,673,767 |
| Опалення приміщень | ГАЗ | 679,036,992 | 58.9% | 0 | 0.0% | 679,036,992 |
| Охолодження приміщення | ЕЛ. | 66,342,270 | 5.8% | 29,044,150 | 7.6% | 37,298,120 |
| Вентилятори - вентиляція | ЕЛ. | 111,065,210 | 9.6% | 43,497,982 | 11.4% | 67,567,229 |
| ГВП | ГАЗ | 89,478,520 | 7.8% | 0 | 0.0% | 89,478,520 |
| ГВП | ЕЛ. | 0 | 0.0% | 30,381,709 | 8.0% | -30,381,709 |
| Різне обладнання | ЕЛ. | 60,388,083 | 5.2% | 60,388,083 | 15.9% | 0 |
| Ліфти &Ескалаторів | ЕЛ. | 14,047,787 | 1.2% | 14,047,787 | 3.7% | 0 |

Структура споживання енергії будівлею для базового та запропонованого дизайнів представлена на рисунках 5.14 та 5.15:

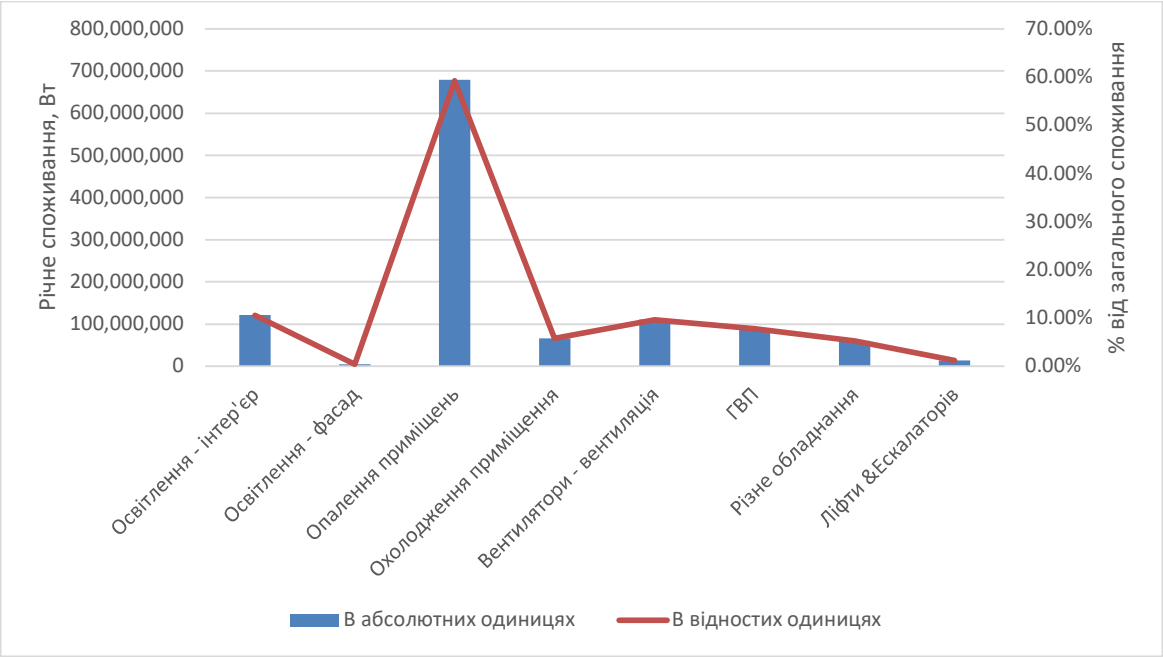



Рисунок 5.14 – Структура споживання енергії будівлею для базового дизайну

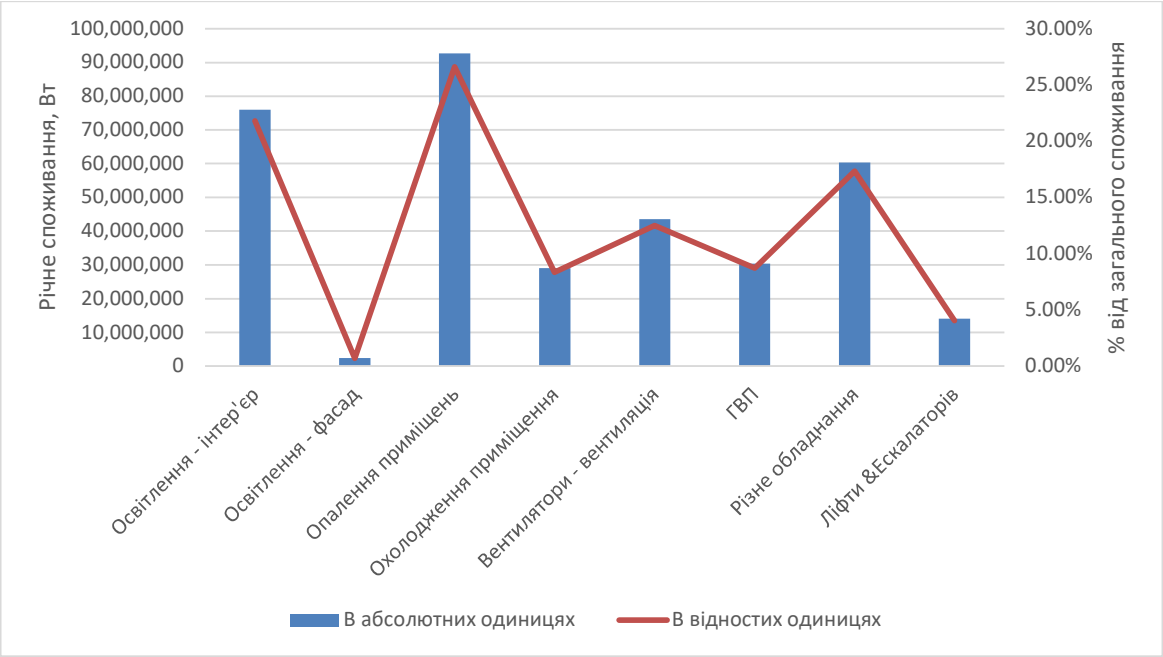



Рисунок 5.15 – Структура споживання енергії будівлею для запропонованого дизайну

Структура розподілу економії за результатами моделювання в різних частинах споживання будівлі представлена на рисунку 5.16:

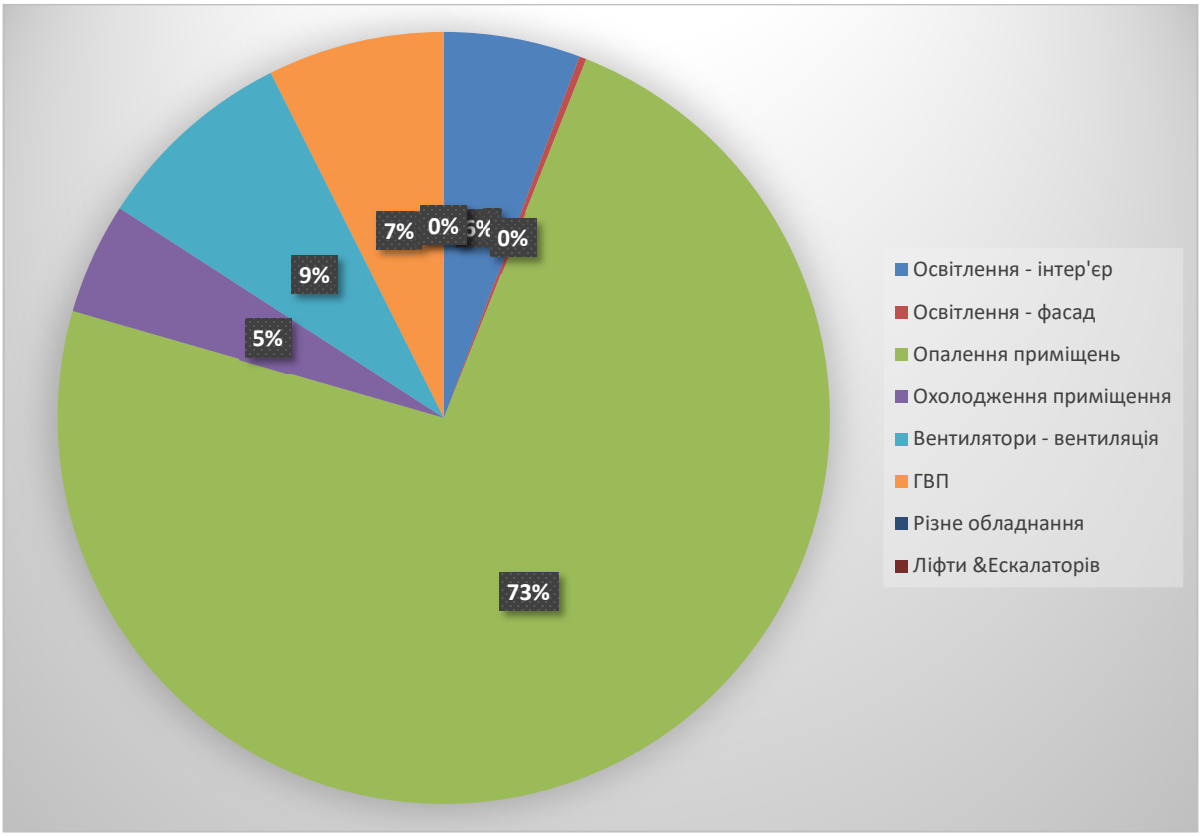



Рисунок 5.16 – Відносна економія для різних частин споживання будівлі

## 5.10 Відповідність стандартам

Відповідність Built Green 4-зірковому стандарту вимагає відповідності WSEC2018 із зміненим коефіцієнтом ефективності будівлі – BPF-0,52.

Таблиця 5.10 – Вимоги до мінімального рівня енергоефективності програми Built Green

| Minimum Project Energy Requirements per Star Level | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Code | Residential Code | | Commercial Code | |
| Performance Pathway | Performance | Prescriptive | Performance | Prescriptive |
| Compliance Metric | *Energy Rating Index (ERI)* | 2018 WSEC/SEC R406.3 Credits | Building Performance Factor (BPF) | 2018 WSEC/SEC C406.1 Credits |
| 3-Star | 62 | 5.5 | 0.55 | 11* |
| 4-Star | 55 | 6 | 0.52 | 16* |
| 5-Star | 47 or less | 7 | 0.48 or less | 23 or more* |
| Emerald Star | Independently verified to be net zero energy on an annual basis | | | |

** Initial construction of unimproved tenant space and their related accessory areas that will be completed and occupied under a separate permit (i.e. core-and-shell space) shall achieve at least 1 credit from Table C406.1. See Appendix A for further details.*

Як зазначалося раніше, 2018 WSEC C407.3 Відповідність на основі продуктивності. Відповідність цьому розділу вимагає дотримання стандарту ASHRAE 90.1 Додаток G, Метод оцінки продуктивності, відповідно до стандарту 90.1, розділ 4.2.1.

Посилання на вартість енергії в Розділі 4.2.1.1 і Додатку G слід замінити викидами вуглецю (табл. 5.10), розрахованими шляхом множення споживання енергії на місці на коефіцієнт викидів вуглецю з Таблиці C407.3(1).

Таблиця 5.10 –викиди вуглецю для природного газу та електроенергії

| **Тип** | **CO2e (Фунт/одиниця)** | **Одиниця** |
|---|---|---|
| Електрика | 0,70 | кВт |
| Природний газ | 11,7 | Therm |

За результатами поделювання та розрахунків:

BPF – 0.52;

BBUEC – 12,388.6;

BBREC – 156,337.8;

BBP – 168,726.4;

PBP – 78,128.4.

Відповідно до (1):

$$PCI_t=[12388,6+(0,52*156337,8)]/168726,4=0,555$$

Відповідно до (2):

$$PCI=78128,4/168726,4=0,463$$

Отже, оскільки за результатами розрахунків $PCI_t>PCI$, запропонований дизайн відповідає вимогам нормативу.

## 5.11 Висновки до розділу енергетичне моделювання будівлі

Однією з опцій перевірки на відповідність будівлі на енергетичну ефективність в США є використання динамічного моделювання, шляхом порівняння запропонованого та стандартного дизайнів.

Більшість сучасних нормативів базуються на Appendix G ASHRAE 90.1 різних редакцій (в випадку даного проєкту застосовними є 2016 та 2019 нормативи) при визначенні процедури моделювання, проте можуть висувати додаткові вимоги до ходу моделювання, а також змінювати можливість чи неможливість екомомії в різних частинах споживання.

Додатково, на кодекси сімейства ASHRAE посилаюься при розробці вимог до освітлення, вентиляції і т.д..

При роботі над розділом було проведено енергетичне моделювання будівлі (whole building energy modeling) за процедурою та вимогами Appendix G ASHRAE 90.1-2016 в програмі eQUEST. Хід моделювання детально описаний в данному розділ, а також окремо винесені сумарні вхідні та вихідні дані. За результатами моделювання зроблений висновок стосовно відповідності будівлі енергетичним вимогам сертицікації Built Green 4-Star.

За результатами моделювання та розрахунків: запропонований дизайн відповідає вимогам енергетичної частини Built Green 4-Star, досягаючи індексу вартості продуктивності (PCI) 0,463 (допустимий максимум 0,555). Енергетичну модель було змодельовано відповідно до WSEC 2018 (2018 Washington State Energy Code). При розрахунку $PCI_t$ був використаний BPF-0.52 за вимогами стандарту.

Структура споживання та економії показала найбільше зменшення (відносно базового дизайну) в частині витрат на опалення, це викликано використанням теплових насосів повітря-повітря, рекуперації та покращення огороджувальних конструкцій. Інші вагомі заощадження: вентилятори (через використання більш ефективних моделей), охолодження (через більш

ефективне обладнання) та ГВП (через перехід від газового нагрівача до теплового насосу повітря-повітря).

# 6 СТАРТАП ПРОЄКТ

Мета стартапу – створити сервіс, який забезпечуватиме енергомоделювання для американських дизайнерських фірм і забудовників за доступною ціною. Бачення бізнес плану полягає в тому, що енергетичне моделювання є важливим для підвищення ефективності будівлі та зменшення викидів вуглецю. Тому, чим більше забудовників ми зможемо підштовхнути на енергетичне моделювання, тим краще для людства.

Цілі такі:

- Розвивати інженерну сервіс з мінімальним вкладенням;
- Досягти рентабельної ціни за послуги;
- Розробити успішну маркетингову програму.

Ми виберемо ту країну, яка має високий рівень інженерної освіти, але низьку вартість робочої сили. Згідно з дослідженнями, Україна є одним із лідерів. Крім того, керівництво компанії знайоме з культурою, і вірить, що вони можуть бути успішними в країні.

Топ-менеджер/інженер із пострадянської країни зі знанням культури має відвідати Київ, оскільки це столиця і має найбільше талантів, щоб наймати першу групу інженерів.

Вартість повного робочого дня інженера в Києві коливається від $600 до $1500 доларів на місяць, тоді як у США від $4000 до $7000.

План полягає в тому, щоб найняти три інженери з коледжу, щоб зменшити витрати, отримати найбільш енергійних людей і уникнути перепідготовки за стандартами США.

Офісні приміщення дуже важливі. Це приносить статус і допомагає заручитися найвищими умами. Офісне приміщення буде орендовано в Unit City (Бізнес-цент, воно ж інноваційне місто) необхідний розмір офісу – 5 робочих місць. Повна вартість $1500/місяць.

Загальні щомісячні витрати на співробітників становлять:

5*$800+$1500=$5500.

Початкові інвестиції – 5 комп’ютери ($1500 кожен):

5*$1500=$7500.

Також, для найму гарних спеціалістів та побудови команди знадобиться особистий контакт, тому додаємо витрати на подорож (відрядження) до Києва на 2-3 поїздки близько $10000.

Для просування продукту, також знадобляться вкладення в маркетинг проєкту, розпочати пропонується зі створення веб-сторінки та просування шляхом електронною поштою. Щоб розробити веб-сторінку та почати маркетинг, знадобиться ще $20000.

Отже, повний бюджет на перший рік становить:

$5500*12+$7500+$10000+$20000=$103500.

Загальна сума необхідних інвестицій становить близько $103500, також пропонується додати до цієї суми 20% на непередбачувані витрати.

Кожен інженер за перший рік має продуктивність близько 1,5 проектів на місяць (з урахуванням часу на навчання, та зниженої продуктивності через брак досвіду). Середня, дуже конкурентна ціна енергетичної моделі в США становить близько $7000. Отже, орієнтовний прибуток за перший рік становитиме:

1,5*12*5*$7000=$630000

Фінансові результати за перший рік: максимальний загальний обсяг виконаних проєктів досягає суми $630000, а загальні витрати – $103500.

Найактуальнішою проблемою при реалізації даного бізнес плану є вихід на Американськи ринок, а саме знаходження клієнтів, оскільки споживачі в США дуже цінують репутацію, яка, на жаль, напрацьовується роками.

Побудувавши графік на якому зазначені затрати та прибуток в помісячному розрізі (рис. 6.1), наглядно бачимо строк окупності:

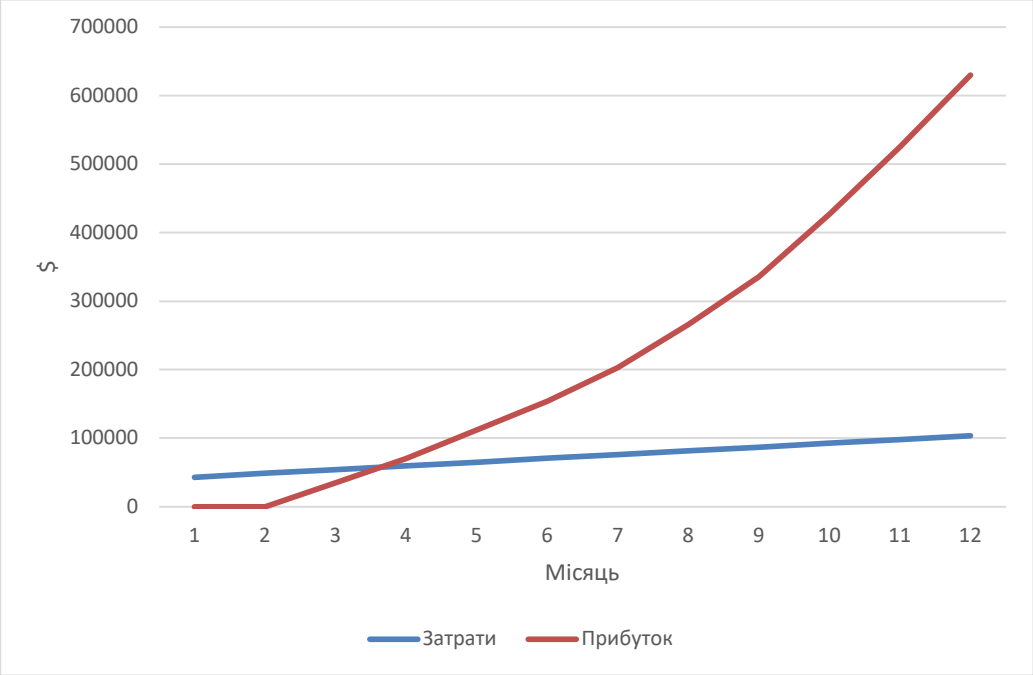



Рисунок 6.1 – Помісячні затрати та прибуток

Виходячи з графіку, орієнтовний термін окупності проєкту 3,5-4 місяці.

# ВИСНОВКИ

В магістерскій дисертації було з різних сторін досліджено проєкт в м. Сієтл (США), проведено аналіз його проєктної документації, а також нормативів, що регулюють будівництво в цій місцевості.

В розділах детально описані системи та оболонку будівлі з зазначенням їх характрених особливостей.

Також в даній роботі розглянуто ряд сучасних нормативів що базуються на Appendix G ASHRAE 90.1 різних редакцій (в випадку даного проєкту застосовними є 2016 та 2019 нормативи), та надоно їх короткий опис, як і потенційні шляхи відповідності їх енергетичним частинам.

В даній роботі було проведено енергетичне моделювання будівлі (whole building energy modeling) за процедурою та вимогами Appendix G ASHRAE 90.1-2016 в програмі eQUEST, а також детально описаний сам процес моделювання в програмі eQUEST.

За результатами моделювання зроблений висновок стосовно відповідності будівлі енергетичним вимогам сертицікації Built Green 4-Star.

За результатами моделювання та розрахунків: запропонований дизайн відповідає вимогам енергетичної частини Built Green 4-Star, досягаючи індексу вартості продуктивності (PCI) 0,463 (допустимий максимум 0,555). Енергетичну модель було змодельовано відповідно до WSEC 2018 (2018 Washington State Energy Code). При розрахунку $PCI_t$ був використаний BPF-0.52 за вимогами стандарту.

Структура споживання та економії показала найбільше зменшення (відносно базового дизайну) в частині витрат на опалення, це викликано використанням теплових насосів повітря-повітря, рекуперації та покращення огороджувальних конструкцій. Інші вагомі заощадження: вентилятори (через використання більш ефективних моделей), охолодження (через більш ефективне обладнання) та ГВП (через перехід від газового нагрівача до теплового насосу повітря-повітря).

Також в дисертації запропонований стартап проєкт, який дозволяє розглянути енергетичне моделювання будівель з фінінсової точки зору (як бізнес ідеї), термін окупності показує, що ідея є досить привабливаю з фінансової точки зору.

# ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Магістерська дисертація. Організація, вимоги до структури, змісту та оформлення. [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 144 «Теплоенергетика» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: В.В. Дубровська, В.І. Шкляр, С.В. Бойченко. – Електронні текстові дані (1 файл: 0,5 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 60 с..

2. Built Green Multifamily 2021 Workbook, [Електронний ресурс] //efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.builtgreen.net/docs/librariesprovider2/handbooks/multifamily-certification-handbook.pdf?sfvrsn=adf95a4f_12.

3. Будівельна Кліматологія ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010;

4. ANSI/ASHRAE [Електронний ресурс] https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standard-90-1.

5. ANSI/ASHRAE 169-2013 [Електронний ресурс] //efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://xp20.ashrae.org/standard169/169_2013_a_20201012.pdf.

6. 2018 SEC, Appendix C [Електронний ресурс] //efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.seattle.gov/documents/Departments/SDCI/Codes/SeattleEnergyCode/2012SECWAAppendixC.pdf.

7. 2018 Seattle Building Code [Електронний ресурс] https://www.seattle.gov/sdci/codes/codes-we-enforce-(a-z)/building-code.

8. 2018 Seattle Energy Code [Електронний ресурс] https://www.seattle.gov/sdci/codes/codes-we-enforce-(a-z)/energy-code-overview.

9. 2018 Washington State Mechanical Code with amendments [Електронний ресурс] https://up.codes/viewer/seattle/imc-2018.

10. EPA WaterSense programe [Електронний ресурс] https://www.epa.gov/watersense.

11. ICC A117.1-2009, [Електронний ресурс] https://codes.iccsafe.org/content/icca117-12009.

12. HUD Mortgage Insurance Premium Requirements [Електронний ресурс] https://www.hud.gov/program_offices/housing/comp/premiums/ufmain.

13. LEED Program Requiremnts [Електронний ресурс] https://www.usgbc.org/leed.

14. Energy Star Multifamily New Construction Program Requirements [Електронний ресурс] https://www.energystar.gov/partner_resources/residential_new/homes_prog_reqs/multifamily_national_page.

15. NGBS Program Requirements [Електронний ресурс] https://www.ngbs.com/the-ngbs-green-promise.

16. ASHRAE 90.1 [Електронний ресурс] //efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://arkanarzesh.com/wp-content/uploads/2016/09/ASHRAE%2090.1-2013%20%20-IP.pdf.

17. Департамент будівництва та інспекцій Сієтла (SDCI) форма подачі відповідності параметрів оболонки будівлі [Електронний ресурс] https://www.seattle.gov/sdci/codes/codes-we-enforce-(a-z)/energy-code-overview.

18. Comnet [Електронний ресурс] https://comnet.org/modeling-guidelines.