

**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 697.1

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Ольга ЧЕРНОУСЕНКО

(підпис)

(ініціали, прізвище)

« » 2023р

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 144 «Теплоенергетика»

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

на тему: «Оцінювання енергоефективних заходів для житлової багатоповерхівки
за допомогою динамічного моделювання»

Виконала: студентка II курсу, групи ОТ-21мп

(шифр групи)

Пирятинська Анастасія Володимирівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник асист., доктор філософії Яценко О.І.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультанти:

Моделювання енергетичних

процесів і систем

к.т.н., доцент Суходуб І.О.

Нормоконтроль

к.т.н., доцент Шкляр В.І.

Рецензент доцент, к.т.н., доцент Шовкалюк М.М.

(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 – 2023 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

Завідувач кафедри

_____ Ольга ЧЕРНОУСЕНКО

« ____ » _____ 2023р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студентці
Пирятинській Анастасії Володимирівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

**1. Тема дисертації «Оцінювання енергоефективних заходів для житлової
багатоповерхівки за допомогою динамічного моделювання»,**
науковий керівник дисертації Яценко Олена Ігорівна, доктор філософії,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «06» листопада 2023р. №5152-с

2. Термін подання студентом дисертації 28 грудня 2023р.

**3. Об'єкт дослідження ОСББ «Клавдіївська 40В», м. Київ, вул. Клавдіївська,
будинок 40В.**

**4. Вихідні дані до магістерської дисертації Технічна документація ОСББ,
споживання енергетичних ресурсів об'єктом, нормативна база України.**

**5. Перелік завдань, які потрібно розробити 1) обстеження фактичного стану
огорожувальних конструкцій будівлі; 2) обстеження систем тепло-, електро- та
водопостачання (гарячого та холодного), а також вентиляції; 3) аналіз даних по
фактичному енергоспоживанню будівлі; 4) енергетичний аналіз будівлі за допомогою
спеціалізованих програм для динамічного моделювання; 5) дослідження потенціалу
підвищення енергоефективності будівлі; 6) розробка стартап-проекту.**

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу: 1) презентація 15-20 слайдів; 2) загальна інформація про об'єкт, дані по енергоспоживанню до та після заходів; 3) Результати енергетичного 3D-моделювання об'єкту.

7. Орієнтовний перелік публікацій:

Яценко О.І., Олексюк А.В. Використання програмного середовища DesignBuilder для енергетичного моделювання житлової багатопверхової будівлі. Матеріали XX Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики» (м. Київ, 25–28 квітня 2023 року). Київ, 2023. С. 204-205.

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Моделювання енергетичних процесів і систем	доцент Суходуб І.О.		
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	26.10.2023 – 13.11.2023	
2	Інжиніринг енергетичних систем	26.10.2023 – 23.12.2023	
3	Науково-дослідний інжиніринг	26.10.2023 – 23.12.2023	
4	Енергоменеджмент та моніторинг	26.10.2023 – 23.12.2023	
5	Стартап-проект	28.11.2023 – 23.12.2023	
6	Нормативне оформлення магістерської дисертації	28.11.2023 – 23.12.2023	
7	Перевірка роботи на академічний плагіат	23.12.2023 – 30.12.2023	
8	Попередній захист	27.12.2023 – 28.12.2023	

Студентка

(підпис) Пирятинська А.В.
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис) Яценко О.І.
(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація «Оцінювання енергоефективних заходів для житлової багатоповерхівки за допомогою динамічного моделювання» складається з 5 розділів, 107 сторінок, 40 ілюстрацій, 36 таблиць.

Головною метою даної магістерської дисертації є розробка і застосування динамічних моделей для оцінювання та оптимізації енергоефективних заходів у житловій багатоповерхівці. Дослідження спрямоване на використання методів динамічного моделювання для прогнозування та аналізу впливу різних енергоощадних заходів на споживання енергії, комфортних умов у приміщеннях та економічну ефективність.

В ході роботи над дисертацією матеріали досліджень пройшли апробацію на XX міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених та студентів «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики».

Ключові слова: *енергозбереження, енергоспоживання, енергоефективність, енергетичне моделювання будівлі, енергетичний аудит, динамічне моделювання, DesignBuilder, PV*SOL.*

ABSTRACT

The master's thesis, "Evaluation of energy efficiency measures for a residential multi-story building using dynamic modeling," consists of 5 chapters, 107 pages, 40 illustrations, and 36 tables.

The main purpose of this master's thesis is to develop and apply dynamic models for the evaluation and optimization of energy efficiency measures in a residential high-rise building. The research is aimed at using dynamic modeling methods to predict and analyze the impact of various energy-saving measures on energy consumption, indoor comfort and economic efficiency.

During the work on the dissertation, the research materials were tested at the XX International Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Students "Modern Problems of Scientific Support of Energy".

Keywords: *energy saving, energy consumption, energy efficiency, building energy modeling, BEM, energy audit, dynamic modeling, DesignBuilder, PV*SOL.*

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ, СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВТСУП.....	13
1 ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ ПРО ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	17
1.1 Інформація про житлову будівлю.....	17
1.2 Фактичне споживання та облік енергоресурсів.....	21
Висновки до розділу.....	22
2 ІНЖИНІРИНГ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ БУДІВЛІ.....	23
2.1 Огороджувальні конструкції будівлі.....	23
2.1.1 Поточний стан огороджувальних конструкцій.....	23
2.1.2 Визначення теплотехнічних показників огороджувальних конструкцій.....	25
2.2 Інженерні системи будівлі.....	30
2.2.1 Система теплопостачання.....	30
2.2.2 Системи водопостачання та каналізації.....	32
2.3 Розрахунок енергетичних показників житлової будівлі.....	33
2.3.1 Енергоспоживання під час опалення.....	33
2.3.2 Енергоспоживання під час охолодження.....	48
2.3.3 Визначення класу енергоефективності будівлі.....	56
Висновки до розділу.....	57
3 ВИКОРИСТАННЯ ДИНАМІЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЛІ.....	59
3.1 Енергетичне моделювання в програмному середовищі DesignBuilder.....	59
3.1.1 Розробка енергетичної 3D-моделі житлової будівлі.....	60
3.1.2 Аналіз енергетичних показників будівлі.....	68

3.1.3 Дослідження потенціалу для підвищення енергетичної ефективності будівлі.....	76
3.2 Енергетичне моделювання сонячної електростанції на даху будівлі в програмному середовищі PV*SOL premium	80
3.2.1 Проектування сонячної електростанції на даху будівлі.....	82
Висновки до розділу.....	91
4 ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТ ТА МОНІТОРИНГ	92
Висновки до розділу.....	96
5 СТАРТАП-ПРОЕКТ.....	97
Висновки до розділу.....	103
ВИСНОВКИ.....	105
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	106

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ, СКОРОЧЕНЬ

ПОЗНАЧЕННЯ ТА СИМВОЛИ

R_{OK} – питомий опір теплопередачі певної огорожувальної конструкції, $(m^2 \cdot K)/W$;

F_I – площа поверхні огорожувальної конструкції за сторонами світу, m^2 ;

t_{BH} – розрахункова температура внутрішнього повітря, $^{\circ}C$;

$t_{ЗОВ}$ – розрахункова температура зовнішнього повітря для проектування опалення, $^{\circ}C$;

$\Sigma\beta$ – додаткові втрати теплоти в долях від основних;

$Q_{OK.ПН}$ – втрата теплоти огорожувальної конструкції розташованої на півночі, kW ;

$Q_{OK.ПД}$ – втрата теплоти огорожувальної конструкції розташованої на півночі, kW ;

$Q_{OK.СХ}$ – втрата теплоти огорожувальної конструкції розташованої на півночі, kW ;

$Q_{OK.ЗХ}$ – втрата теплоти огорожувальної конструкції розташованої на півночі, kW ;

$\delta_{Р.Ц.П}$ – товщина шару розчину цементно-піщаного, m ;

$\lambda_{Р.Ц.П}$ – теплопровідність розчину цементно-піщаного, $W/(m \cdot K)$;

$\delta_{ЗБ}$ – товщина залізобетону, m ;

$\lambda_{ЗБ}$ – теплопровідність залізобетону, $W/(m \cdot K)$;

$\delta_{ПН}$ – товщина пінополістиролу, m ;

$\lambda_{ПН}$ – теплопровідність пінополістиролу, $W/(m \cdot K)$;

$\delta_{Ш.Б.П}$ – товщина шару з будівельного піску, m ;

$\lambda_{Ш.Б.П}$ – теплопровідність шару з будівельного піску, $W/(m \cdot K)$;

$\delta_{РУБ}$ – товщина шару руберойду, m ;

$\lambda_{руб}$ – теплопровідність руберойду, Вт/(м·К);

$F_I, F_{II}, F_{III}, F_{IV}$ – площа відповідно першої, другої, третьої та четвертої зон, м²;

$R_I, R_{II}, R_{III}, R_{IV}$ – термічний опір відповідно першої, другої, третьої та четвертої зон, (м²·К)/Вт;

V – кондиціонований (опалювальний) об'єм приміщення будівлі, м³;

$Q_{\Sigma OK}$ – загальні втрати огорожувальних конструкцій, кВт;

$Q_{IH\Phi}$ – загальні втрати через інфільтрацію, кВт;

$H_{tr,adj}$ – загальний коефіцієнт теплопередачі трансмісією, Вт/К, зони встановлений для різниці температур всередині-зовні,

$\theta_{int,set,H}$ – задана внутрішня температура в будівлі в опалювальний період, °С;

$\theta_{int,set,C}$ – задана внутрішня температура в будівлі в період охолодження, °С;

θ_e – середньомісячна температура зовнішнього середовища, °С;

t – тривалість місяцю, для якого проводиться розрахунок, год;

H_D – безпосередній узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до зовнішнього середовища, Вт/К;

H_A – безпосередній узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до суміжних будівель, Вт/К;

H_U – безпосередній узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією через некондиціоновані об'єми, Вт/К;

H_G – стаціонарний узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до ґрунту, Вт/К;

A_i – площа і-го елемента оболонки будівлі, м²;

$R_{\Sigma np}$ – опір теплопередачі приведенного елемента оболонки будівлі, (м²·К)/Вт;

$Q_{ve,mn,H}$ – усереднена за часом витрата повітря від повітря, м³/год;

$\Sigma_k \Phi_{int,mn,k}$ – тепловий потік від k -го внутрішнього джерела, який враховує теплове надходження від людей, освітлення, обладнання, виражається у середньому значенні за певний період часу, Вт/м²;

A_f – опалювальна площа будівлі, м²;

$\Sigma_k \Phi_{sol,mn,k}$ – середній тепловий потік від k -го джерела сонячного випромінювання, вимірюється у Вт та усереднюється протягом певного періоду часу;

$F_{sh,ob,k}$ – коефіцієнт затінення, який зменшує ефективну площу інсоляції для k -ої поверхні;

$A_{sol,k}$ – еквівалентна площа інсоляції k -ої поверхні з визначеною орієнтацією та кутом нахилу в конкретній зоні чи об'ємі, м². Окремо обчислюється для прозорих та непрозорих поверхонь;

$I_{sol,k}$ – сонячна радіація, що визначає енергетичну освітленість для сприймаючої площі k -ої поверхні з вказаною орієнтацією та кутом нахилу при середніх умовах хмарності, Вт/м²;

$\Phi_{r,k}$ – додатковий тепловий потік, який виникає через теплове випромінювання в атмосферу від k -го елемента будівлі, Вт;

$F_{sh,gl}$ – понижувальний коефіцієнт затінення для рухомих засобів, якщо рухомих засобів немає, тоді коефіцієнт приймається рівним одиниці;

F_F – частка площі обрамлення, яка визначається як відношення площі проекції обрамлення до загальної площі проекції зашкленого елемента;

$A_{w,p}$ – загальна площа проекції зашкленого елемента, м²;

$\alpha_{s,c}$ – безрозмірний коефіцієнт поглинання сонячної радіації непрозорою частиною;

U_c – коефіцієнт теплопередачі непрозорої частини, Вт/(м²·К);

A_c – площа проекції непрозорої частини, м²;

h_r – коефіцієнт теплопередачі випромінюванням зовнішньої поверхні, Вт/(м²·К);

C_m – внутрішня теплоємність будівлі або зони будівлі, Вт·год/К;

f_{hydr} – коефіцієнт, який враховує гідравлічне налаштування системи;

f_{im} – коефіцієнт, який враховує застосування періодичного теплового режиму приміщення;

η_{ctr} – складова, яка враховує регулювання температури в приміщенні;

$W_{H,em,aux,i}$ – додаткова енергія впродовж і-го місяця, Вт·год, розраховується за наявності додаткових джерел енергії;

$Q_{H,em,ls,rvd,i}$ – утилізовані тепловтрати підсистем тепловіддачі впродовж і-го місяця, Вт·год;

$\psi_{L,j}$ – лінійний коефіцієнт теплопередачі j-го трубопроводу, Вт/(м·К);

$\theta_{m,i}$ – середня температура теплоносія в зоні упродовж і-го місяця, °С;

θ_i – температура навколишнього середовища, °С;

L_j – довжина трубопроводу, м;

$t_{op,an,i}$ – час опалення впродовж і-го місяця, год;

$\eta_{C,ce}$ – ступінь утилізації теплообміну в системі охолодження, визначається за ДСТУ 9190:2022;

$\eta_{C,ce,sens}$ – ступінь явної утилізації теплообміну в системі охолодження, визначається за ДСТУ 9190:2022;

$\eta_{C,d}$ – ступінь утилізації підсистеми розподілення, визначається за ДСТУ 9190:2022;

$\eta_{C,ac}$ – ефективність автоматичного управління або регулювання, обирається в залежності від класу ефективності системи;

E_{R_p} – граничне питоме енергетичне споживання при опаленні, охолодженні;

СКОРОЧЕННЯ

ОСББ – об'єднання співвласників багатоквартирного будинку;

РК – розподільча камера;

ТК – теплова камера;

ГВП – гаряче водопостачання;

ІТП – індивідуальний тепловий пункт;

ОК – Огороджувальна конструкція.

ВСТУП

У сучасних умовах, коли питання енергетичної ефективності стає все більш необхідним та актуальним аспектом у всіх галузях, зокрема в будівництві, де багатоповерхові житлові будівлі відіграють важливу роль у формуванні енергетичного обличчя міст та поселень. Розширення міст та масштабність житлового будівництва й використання сучасних технологій призводить до збільшення кількості житлових об'єктів, що вимагають більше енергії для опалення, освітлення та роботи побутових приладів, забезпечення комфортних умов проживання.

Багато будинків можуть мати неефективну ізоляцію і теплові втрати через неякісні огорожувальні конструкції, що вимагають збільшення енергії для опалення в холодні періоди. Використання застарілих систем опалення та охолодження без врахування сучасних, оптимізованих систем управління, можуть призвести до неефективного використання енергії. Розширення використання електроніки та побутових приладів також сприяє збільшенню споживання електроенергії.

Мета та задачі дослідження. Метою магістерської дисертації є розробка та застосування динамічних моделей для оцінювання і вдосконалення енергоефективності житлової багатоповерхівки. Основний акцент робиться на використанні методів динамічного моделювання для прогнозування та аналізу впливу різних енергозберігаючих заходів на споживання енергії, комфорт у приміщеннях, енергетичну ефективність та економічний потенціал.

Реалізація заданої мети вимагає вирішення наступних питань:

- провести детальний аналіз сучасних методів та технологій енергозбереження в житловому будівництві та вивчити наявні динамічні

моделі, що використовувалися для оцінювання енергоефективності будівель;

- розробити динамічні моделі, що враховують основні параметри енергоефективних заходів та їх взаємодії у різних умовах експлуатації, включивши в моделі кліматичні умови, зміни в потребах енергії;
- визначити вплив різних енергозберігаючих заходів на енергоефективність та комфорт, а також провести порівняльний аналіз різних стратегій використання енергії та їхнього впливу на вартість експлуатації;
- використати результати моделювання для визначення оптимальних стратегій впровадження енергоефективних заходів та розробити конкретні рекомендації щодо оптимізації втрат й підвищення енергоефективності;

Наукова новизна. Наукова новизна полягає в ряді ключових аспектів та інновацій, які роблять це дослідження унікальним та важливим в контексті розвитку енергетичної ефективності у житловому будівництві.

Застосування динамічного моделювання для оцінювання енергоефективних заходів є ключовою особливістю дослідження. Динамічні моделі дозволяють враховувати взаємодію різних факторів, таких як кліматичні умови, зміни в поведінці мешканців, технічні параметри будівель. Це дозволяє отримати детальний вигляд на синергію між різними заходами та їхнім впливом на ефективність. Також враховується комплексний підхід до оцінки енергоефективних заходів, включаючи різні аспекти від ізоляції та опалення до використання електроніки. Це дозволяє отримати повний обсяг впливу різних технологій на енергетичну ефективність. Дослідження не лише надає теоретичні висновки, але і розробляє практичні рекомендації для власників та розробників житлових об'єктів, що робить його значущим для реального впровадження.

Методи дослідження. В магістерську дисертацію було включено:

- *Математичне моделювання.* Розробка математичних моделей для опису енергетичних процесів в житловій багатоповерхівці. Це включає в себе розробку диференціальних рівнянь, які враховують динаміку енергетичних параметрів та взаємодію між ними.
- *Динамічне моделювання.* Використання комп'ютерних програм та спеціалізованих інструментів для динамічного моделювання енергетичних процесів в житлових будівлях. Це дозволяє аналізувати зміни в часі та взаємодію між різними системами.
- *Емпіричні дослідження.* Збір та аналіз даних з реальних об'єктів для підтвердження та калібрування математичних моделей. Емпіричні дослідження можуть включати в себе вимірювання споживання енергії, температурні параметри, кліматичні умови та інші фактори.
- *Симуляція та оптимізація.* Використання симуляцій для проведення віртуальних експериментів та оптимізації різних сценаріїв впровадження енергоефективних заходів. Це дозволяє визначити оптимальні стратегії для покращення енергетичної ефективності.

Об'єктом дослідження є житлова багатоповерхівка, представлена в якості конкретного будівельного об'єкту. Дослідження зосереджується на всіх аспектах її енергетичного функціонування, включаючи ізоляцію, системи опалення, вентиляції, кондиціонування, використання електроенергії та інші аспекти побутового споживання енергії.

Предметом дослідження є оцінка енергоефективних заходів для житлової багатоповерхівки. Включаючи в себе різні технології та стратегії, такі як:

- Підвищення ізоляції та теплового комфорту.
- Використання ефективних систем опалення та кондиціонування.

- Впровадження сонячних батарей та інших джерел відновлювальної енергії.
- Вдосконалення систем вентиляції та рециркуляції повітря.
- Оптимізація управління споживанням енергії на побутовому рівні.

1 ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ ПРО ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Інформація про житлову будівлю

Об'єктом дослідження виступає ОСББ «Клавдіївська 40В» (Рис. 1.1) розташований за адресою: місто Київ, Святошинський район, вулиця Клавдіївська, будинок 40В.

Дім побудовано у 2015 році, в будинку 26 поверхів, 234 квартири та 353 житлові кімнати.



Рисунок 1.1 – ОСББ «Клавдіївська 40В»

Загальні геометричні характеристики об'єкту наведені у таблиці 1.1. Технічні характеристики конструктивних елементів будівлі наведені у таблиці 1.2.

Таблиця 1.1 – Основні геометричні показники житлової будівлі

Кількість поверхів	26	Кількість під'їздів	1
Об'єм будівлі, м ³	52995	Житлова площа, м ²	5815,9
Площа забудови, м ²	940,4	Площа нежитлових приміщень, м ²	683,4
Площа житлового будинку, м ²	14953,2	Площа балконів, лоджій й терас, м ²	291,4
Опалювальна площа, м ²	15577,4	Опалювальний об'єм, м ³	45345,9

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики конструктивних елементів

Найменування конструктивних елементів	Опис конструктивних елементів
Фундамент	з\б моноліт
Стіни	бетонні з утепленням
Перегородки	збірні залізобетонні панелі
Перекриття (міжповерхові, надпідвальні, горищні)	збірні залізобетонні панелі, горище: холодне
Підлога	цементно-піщана стяжка
Покрівля (на суміщених, горищних дахах)	рулонна
Вікна	Металопластикові з двокамерними склопакетами
Двері	вхідні-металеві, внутрішні-ДВП
Сходи	бетонні марші

Інженерне обладнання будинку складає:

- Водопровід;
- Каналізація;
- Централізоване опалення;
- Гаряче водопостачання;
- Електропостачання;
- Три ліфти;
- Телебачення;
- Телефон.

Технічний опис конструктивних елементів інженерного обладнання будинку буде наведено у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Технічний опис конструктивних елементів інженерного обладнання

Частини будівель, конструкцій інженерного обладнання			Одиниця виміру	Кількість
Фундамент	Стрічковий	з\б монолітний	п.м	402,2
Цоколь	З фасаду	утеплення	м ²	139,8
Стіни	Зовнішні	монолітні бетонні	“	7891
	Внутрішні	з\б панелі	“	11475,1
Фасади		Фасади лицьові	м ²	2790,9
		Фасади дворові	“	7288
		Лоджії	м ²	582,8
Водовідвідні обладнання		Труби сталеві	“	128
		Воронки і вимощення	шт.	2
Дахи		Покрівля 1	м ²	614,7
		Парапети і решітки	п.м	105,6
Перекриття	Горища	з/бетон	кв.м	692,1
	Міжповерхові	з/бетон	“	16682,5
	Цокольний поверх	з/бетон	“	
Підлоги	На перекриттях	1. цем.стяжка	“	
		2. лінолеум	“	
		3. плитка	“	15432,6
	Цокольний поверх	1. цем.стяжка	“	
		2. лінолеум	“	
		3. плитка	“	
	Підвал	1. цем.стяжка	“	
Перегород.	1. з/б		“	11475,1
	2. гіпсокартон		“	7099,1
Вікна і двері	Вікна і балконні двері		“	2130,1
	Внутрішні двері		“	2637,9
	Зовнішні двері		“	53,1
Сходи	Мірші		з/бетон	“
	Площадки		з/бетон	“
	Поручні дощаті		п.м	158

Продовження таблиці 1.3

Благоустрій	Вимощення	кв.м	768,6
	Ганки	“	21,1
Центральне опалення	Радіаторів	секцій	695
	Мереж	п.м	12468
Гаряче водопостачання	Мереж	п.м	1450
Водопровід і каналізація	Мереж водопров.	п.м	2790
	Раковини	шт.	234
	Умивальників	“	239
	Ванн	“	84
	Мереж каналізації	п.м	1108
	Унітазів	шт.	246
	Змивних бачків	“	246
Вентиляція	Коробів у приміщеннях	п.м	230
Електрообладнання	Мереж	п.м	51486
	Лічильників силов.	шт.	8
	Лічильників заг. користування	“	2
	Лічильників кварт.	“	234
	Щитових	“	1
	Фотоелект. приборів	“	-
	Вводів телефонної мережі	“	1
Підкач. устаткування	Насосів	“	12

1.2 Фактичне споживання та облік енергоресурсів

Дані про споживання теплової енергії [1] за 2020-2022 роки наведені в таблиці 1.4 та зображено на графіку (рис. 1.2).

Таблиця 1.4 – Споживання теплової енергії по роках

№	Місяць	2020	2021	2022
		Гкал	Гкал	Гкал
1	Січень	196,394	197,273	218,475
2	Лютий	168,314	221,704	195,009
3	Березень	121,42	135,249	112,77
4	Квітень	25,422	32,787	29,105
10	Жовтень	46,269	29,371	41,331
11	Листопад	126,859	109,634	94,701
12	Грудень	192,383	145,477	167,237
Σ	Всього	877,061	871,495	634,514



Рисунок 1.2 – Графік споживання теплової енергії

Дані про фактичні обсяги споживання електричної та теплової потреби на ГВП не наведені, оскільки відсутній облік загального енергоспоживання будинку для відповідних систем.

Висновки до розділу

В цьому розділі було розглянуто місце знаходження об'єкту магістерської дисертації та рік побудови будівлі, площі та об'єми будинку, технічні характеристики конструктивних елементів, технічний опис конструктивних елементів інженерних систем обладнання, споживання теплової енергії по роках.

2 ІНЖИНІРИНГ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ БУДІВЛІ

2.1 Огороджувальні конструкції

2.1.1 Поточний стан огороджувальних конструкцій

Нормативні дані об'єкту магістерської роботи:

- ОСББ знаходиться в 1 кліматичній зоні України;
- розрахункова температура становить мінус 22°C;
- середня опалювальна температура складає мінус 0,1°C;
- внутрішня температура приміщення відповідає 20°C;
- кількість опалювальних днів – 176 діб.

В таблиці 2.1 наведені початкові дані для розрахунків. Тобто найменування огороджувальної конструкції (ОК), склад шарів, з яких складається конструкція, товщини шарів, їх теплопровідність [3], а також площі, які орієнтовані за сторонами світу.

Таблиця 2.1 – Початкові дані по ОК для подальших розрахунків

ОК	Шар	δ, м	λ, Вт/(мК)	Площа за стороною світу, м²			
				Пн	Пд	Сх	Зх
Вікна	Металопластик			305	833,9	604,7	593,8
Двері	Метал			9	2,1	11	0
Зовнішня стіна	Розчин цементно-піщаний	0,005	0,81	2242,6	1722,7	1592,9	1614,9
	Залізобетон	0,2	2,04				
	Пінополістирол	0,14	0,055				
Дах	Розчин цементно-піщаний	0,05	0,81	614,7			
	Шар з будівельного піску	0,1	0,58				
	Пінополістирол	0,2	0,055				
	Залізобетон	0,2	2,04				
	Руберойд	0,05	0,17				

Підлога по ґрунту складається з розчину цементно-піщаного ($\delta = 0,05\text{м}$), керамічної плитки ($\delta = 0,05\text{м}$), пінополістиролу ($\delta = 0,12\text{м}$), шар з будівельного піску ($\delta = 0,1\text{м}$), гідроізоляції ($\delta = 0,055\text{м}$) та залізобетону ($\delta = 0,3\text{м}$).

Для подальших розрахунків будуть наведені формули, які використовуються для визначення теплотехнічних показників огорожувальних конструкцій.

Коефіцієнт теплопередачі певної огорожувальної конструкції, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, знаходимо за формулою:

$$K_{\text{ок}} = \frac{1}{R_{\text{ок}}}. \quad (2.1)$$

Тепловтрати певної огорожувальної конструкції, кВт , знаходимо за формулою:

$$Q_{\text{ок}} = K \cdot F_i \cdot \Delta t \cdot (1 + \Sigma \beta) \cdot n, \quad (2.2)$$

де

$\Delta t = t_{\text{вн}} - t_{\text{зов}} - \text{різниця температур, } ^\circ\text{C};$

n – коефіцієнт, який враховує зменшення розрахункової різниці температур ($t_{\text{вн}} - t_{\text{зов}}$), залежить від положення зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції відносно зовнішнього повітря. Для вертикальних огорожень значення дорівнює 1, а для горизонтальних огорожень від 0,6 до 1.

Сумарна втрата теплоти певної огорожувальної конструкції за сторонами світу буде розраховуватися за формулою:

$$Q_{\text{ок}} = Q_{\text{окПн}} + Q_{\text{окПд}} + Q_{\text{окСх}} + Q_{\text{окЗх}}, \quad (2.3)$$

2.1.2 Визначення теплотехнічних показників огорожувальних конструкцій

Теплотехнічні показники огорожувальних конструкцій визначають ефективність їхньої ізоляції та здатність утримувати тепло. Основні показники включають теплопровідність, опір теплопередачі, коефіцієнт теплозбереження та інші параметри. Оцінка теплотехнічних показників важлива для визначення ефективності ізоляції будівельних конструкцій та вибору матеріалів для забезпечення оптимального рівня теплової ефективності.

Визначення теплотехнічних показників стін включає в себе розгляд теплоізоляційних властивостей матеріалів та конструктивних елементів стіни. Основні теплотехнічні показники стін включають теплопровідність матеріалів, опір теплопередачі, коефіцієнт теплозбереження та інші параметри. Під час оцінки теплотехнічних показників стін важливо враховувати всі компоненти конструкції, включаючи матеріали, товщину шарів та їхню взаємодію. Також слід враховувати місцеві будівельні стандарти та вимоги до енергоефективності.

Питомий опір теплопередачі зовнішньої стіни, $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$, можна знайти за наступною формулою:

$$R_{\text{з.ст.}} = \frac{1}{\alpha_{\text{вн}}} + \frac{\delta_{\text{р.ц.п.}}}{\lambda_{\text{р.ц.п.}}} + \frac{\delta_{\text{зб.}}}{\lambda_{\text{зб.}}} + \frac{\delta_{\text{пін.}}}{\lambda_{\text{пін.}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{зов}}}, \quad (2.4)$$

де

$\alpha_{\text{вн.}}$ – коефіцієнт тепловіддачі від внутрішньої сторони будівлі, $\alpha_{\text{вн}}$ дорівнює $8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

$\alpha_{\text{зов.}}$ – коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої сторони будівлі, $\alpha_{\text{зов}}$ дорівнює $23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Підставимо дані з таблиці 2.1 у формулу (2.4):

$$R_{з.ст.} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,005}{0,81} + \frac{0,2}{2,04} + \frac{0,14}{0,055} + \frac{1}{23} = 2,81 \left(\frac{м^2 \cdot К}{Вт} \right).$$

Коефіцієнт теплопередачі зовнішньої стіни, Вт/(м²·К), знаходимо підставляючи значення за формулою (2.1):

$$K_{з.ст.} = \frac{1}{2,81} = 0,36 \left(\frac{Вт}{м^2 \cdot К} \right).$$

За формулою (2.2) знайдемо тепловтрати зовнішньої стіни за сторонами світу:

$$Q_{з.ст.Пн} = 2242,6 \cdot 0,36 \cdot (20 - (-22)) \cdot (1 + 0,15) \cdot 1 = 38,57 \text{ (кВт)},$$

$$Q_{з.ст.Пд} = 1722,7 \cdot 0,36 \cdot 42 \cdot (1 + 0,05) \cdot 1 = 27,05 \text{ (кВт)},$$

$$Q_{з.ст.Сх} = 1592,9 \cdot 0,36 \cdot 42 \cdot (1 + 0,05) \cdot 1 = 25,02 \text{ (кВт)},$$

$$Q_{з.ст.Зх} = 1614,9 \cdot 0,36 \cdot 42 \cdot (1 + 0,15) \cdot 1 = 27,78 \text{ (кВт)}.$$

Сумарна втрата теплоти зовнішньої стіни, кВт, знайдемо за формулою (2.3):

$$Q_{з.ст.} = 38,75 + 27,18 + 25,13 + 27,91 = 118,42 \text{ (кВт)}.$$

Загальною метою при створенні конструкції даху, є ефективне утримання тепла в будівлі взимку та запобігання перегріву влітку, забезпечуючи при цьому енергоефективність й комфорт в приміщенні. Також при розрахунках теплопровідності даху, слід враховувати наявність сонячних панелей (якщо вони є) та системи вентиляції, оскільки це може впливати на енергетичну ефективність даху.

Розрахувати питомий опір теплопередачі даху, (м²·К)/Вт, можна за наступною формулою:

$$R_{даху} = \frac{1}{\alpha_{вн}} + \frac{\delta_{р.ц.п.}}{\lambda_{р.ц.п.}} + \frac{\delta_{ш.б.п.}}{\lambda_{ш.б.п.}} + \frac{\delta_{пін.}}{\lambda_{пін.}} + \frac{\delta_{зб.}}{\lambda_{зб.}} + \frac{\delta_{р.}}{\lambda_{р.}} + \frac{1}{\alpha_{зов}}, \quad (2.5)$$

Підставимо дані з таблиці 2.1 у формулу (2.5):

$$R_{даху} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,05}{0,81} + \frac{0,1}{0,58} + \frac{0,2}{0,055} + \frac{0,2}{2,04} + \frac{0,05}{0,17} + \frac{1}{23} = 4,42 \left(\frac{м^2 \cdot К}{Вт} \right).$$

Коефіцієнт теплопередачі даху, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, знайдемо за формулою (2.1) підставивши отримане значення питомого опору теплопередачі даху:

$$K_{\text{даху}} = \frac{1}{4,42} = 0,23 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \right).$$

Тепловтрати даху, кВт, знайдемо за формулою (2.2):

$$Q_{\text{даху}} = 614,7 \cdot 0,23 \cdot 42 \cdot (1 + 0) \cdot 1 = 5,84 \text{ (кВт)}.$$

Розрахунки теплотехнічних показників дверей мають показати, наскільки вони ефективно утримують тепло в приміщенні, що дуже важливо для забезпечення енергоефективності будівлі та комфорту її мешканців.

Питомий опір теплопередачі дверей в будівлі становить $0,8(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$.

Коефіцієнт теплопередачі дверей, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, знаходиться за формулою (2.1) підставивши значення питомого опору теплопередачі дверей:

$$K_{\text{дверей}} = \frac{1}{0,8} = 1,25 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \right).$$

Тепловтрати даху, кВт, за формулою (2.2) для різних сторін світу:

$$Q_{\text{дверейПн}} = 9 \cdot 1,25 \cdot 42 \cdot (1 + 0,15) \cdot 1 = 0,54 \text{ (кВт)},$$

$$Q_{\text{дверейПд}} = 2,1 \cdot 1,25 \cdot 42 \cdot (1 + 0,05) \cdot 1 = 0,12 \text{ (кВт)},$$

$$Q_{\text{дверейСх}} = 11 \cdot 1,25 \cdot 42 \cdot (1 + 0,05) \cdot 1 = 0,61 \text{ (кВт)},$$

$$Q_{\text{дверейЗх}} = 0 \cdot 1,25 \cdot 42 \cdot (1 + 0,15) \cdot 1 = 0 \text{ (кВт)}.$$

Сумарна втрата теплоти дверей, кВт, розрахуємо за формулою (2.3):

$$Q_{\text{дверей}} = 0,54 + 0,12 + 0,61 + 0 = 1,27 \text{ (кВт)}.$$

Теплотехнічні показники вікон, мають ефективно виконувати функцію теплоізоляції та впливати на енергоефективність будівлі. Високоякісні вікна з низькими теплотехнічними втратами можуть значно підвищити комфорт та енергоефективність приміщення.

Для розрахунків були взяті металопластикові вікна з двома камерами і зі склінням типу 4М₁-6-4М₁-6-4М₁, які не є енергозберігаючими та їх теплопередача складає 0,47(м²·К)/Вт.

Коефіцієнт теплопередачі вікна, Вт/(м²·К), розраховуємо за формулою (2.1):

$$K_{\text{вікна}} = \frac{1}{0,47} = 2,13 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \right).$$

Тепловтрати вікон, кВт, розраховуємо за формулою (2.2) для чотирьох сторін світу:

$$Q_{\text{вікон}_{\text{Пн}}} = 305 \cdot 2,13 \cdot 42 \cdot (1 + 0,15) \cdot 1 = 31,34 \text{ (кВт)},$$

$$Q_{\text{вікон}_{\text{Пд}}} = 833,9 \cdot 2,13 \cdot 42 \cdot (1 + 0,05) \cdot 1 = 78,25 \text{ (кВт)},$$

$$Q_{\text{вікон}_{\text{Сх}}} = 604,7 \cdot 2,13 \cdot 42 \cdot (1 + 0,05) \cdot 1 = 56,74 \text{ (кВт)},$$

$$Q_{\text{вікон}_{\text{Зх}}} = 593,8 \cdot 2,13 \cdot 42 \cdot (1 + 0,15) \cdot 1 = 61,02 \text{ (кВт)}.$$

Сумарна втрата теплоти у вікнах, кВт, знайдемо використовуючи формулу (2.3):

$$Q_{\text{вікон}} = 31,34 + 78,25 + 56,74 + 61,02 = 227,35 \text{ (кВт)}.$$

Оскільки підлога розташована на ґрунті, підлога може зазнати впливу від ґрунту, тому важливо враховувати заходи щодо гідроізоляції та водовідведення. А ефективна ізоляція підлоги допоможе забезпечити комфорт та енергоефективність в приміщенні.

Втрати теплоти через підлогу, розташовану на ґрунті або лагах, рахують по зонах з урахуванням відстані зон від зовнішніх стін за формулою:

$$Q_{\text{підлоги}} = \left(\frac{F_I}{R_I} + \frac{F_{II}}{R_{II}} + \frac{F_{III}}{R_{III}} + \frac{F_{IV}}{R_{IV}} \right) \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{зов}}). \quad (2.6)$$

Смуга підлоги шириною 2м, паралельна лінії зовнішньої стіни, називається зоною. Найближча до зовнішньої стіни зона, вважається першою, а подальші — другою та третьою. Решта частини підлоги, яка залишилася від верхніх трьох зон

вважається четвертою. Частина площі першої зони ($2 \times 2 \text{ м}$), яка прилягає до кута зовнішніх стін, має підвищені тепловтрати й враховується двічі.

Термічний опір для неутепленої підлоги на ґрунті становить:

- для першої зони R_I дорівнює $2,15(\text{м}^2\text{К})/\text{Вт}$,
- для другої зони R_{II} становить $4,3(\text{м}^2\text{К})/\text{Вт}$,
- для третьої зони R_{III} складає $8,6(\text{м}^2\text{К})/\text{Вт}$,
- для четвертої зони R_{IV} дорівнює $14,2(\text{м}^2\text{К})/\text{Вт}$.

Площа першої зони становить $614,7 \text{ м}^2$, площа другої зони – $491,5 \text{ м}^2$, площа третьої зони дорівнює $338,9 \text{ м}^2$, площа четвертої зони – $214,7 \text{ м}^2$.

Отже, підставивши значення в формулу (2.6) отримуємо:

$$Q_{\Pi} = \left(\frac{614,7}{2,15} + \frac{491,5}{4,3} + \frac{338,9}{8,6} + \frac{214,7}{14,2} \right) (20 + 22) = 19,10 \text{ (кВт)}.$$

В таблиці 2.2 наведені всі знайдені тепловтрати огорожувальних конструкцій та їх відсотки.

Таблиця 2.2 – Втрати теплоти через огорожувальну конструкцію

ОК	Зовнішні стіни	Дах	Двері	Вікна	Підлога
Q, кВт·год	118,42	5,84	1,27	227,35	20,22
%	31,74	1,57	0,34	60,94	5,42

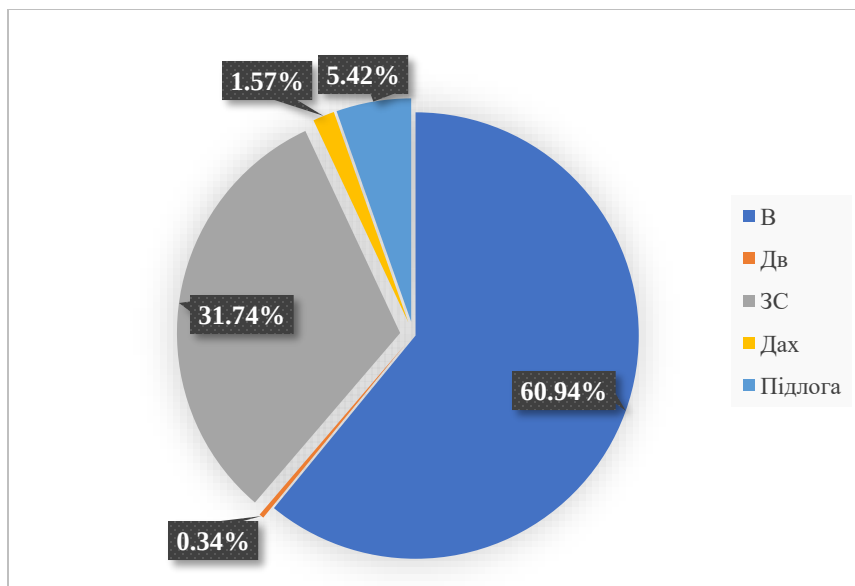


Рисунок 2.1 – Графік тепловтрат через огорожувальну конструкцію у відсотках

2.2 Інженерні системи будівлі

2.2.1 Система теплопостачання

Будинок було підключено до теплової мережі у 2016 році.

Таблиця 2.3 – Таблиця навантажень

	Значення, Гкал/год	Значення, МВт
Теплове навантаження	7,670	8,919
Навантаження на опалення	4,570	5,314
Навантаження на вентиляцію	1,900	2,209
Навантаження на ГВП	3,790	4,407

Об'єкт приєднали до магістральної мережі номер 1 РК «Біличі», вузол приєднання ТК на ділянці між ТК 108/2 та ТК 108/3, ТК 108/2, ТК 108. Тиск у вузлах приєднання в підвальному трубопроводі – 9 плюс мінус $0,5 \text{ кгс/см}^2$ (МПа), в зворотному трубопроводі 2,8 плюс мінус $0,5 \text{ кгс/см}^2$ (МПа). Теплоносієм є гаряча вода.

Розрахунковий температурний графік теплових мереж 150-70°C. Влітку теплові мережі працюють за графіком 70-30°C.

Таблиця 2.4 – Таблиця робочих тисків

	Значення, кгс/см ²	Значення, МПа
Тепломережа	16	1,6
Системи опалення та вентиляції	6	0,6
Підігрівачі ГВП	8	0,8

Таблиця 2.5 – Теплове навантаження на опалення

	Значення, Гкал/год	Значення, МВт
Житлові приміщення зони №1	0,288	0,335
Житлові приміщення зони №2	0,288	0,335
Вбудовані приміщення	0,026	0,03

Таблиця 2.6 – Гідравлічний опір в системі опалення

	Значення, м.вод.ст.
Житлові приміщення зони №1	4,5
Житлові приміщення зони №2	7,5
Вбудовані приміщення	4,0

Таблиця 2.7 – Опір трубопроводів Т4, від теплообмінника до найбільш віддаленого секційного вузла

	Значення, м.вод.ст.
Житлові приміщення зони №1	20
Житлові приміщення зони №2	30

Параметри теплоносія в системі теплопостачання складає 8-60С.

Індивідуальний тепловий пункт (рис. 2.2) розташовано у спеціальному будинку на відмітці 0,000. Висота теплового пункту – 2,71 м. Тепловий пункт має окремі вузли теплопостачання окремих секцій. Монтаж обладнання здійснювався через двері і зовнішній монтажний отвір з монтажним прямком. З прямоку вода відводиться до зовнішній мережі каналізації за допомогою дренажного насосу.



Рисунок 2.2 – Тепловий пункт ОСББ «Клавдіївська 40В»

Схема підключення системи опалення житлових приміщень 1 та 2 зон до теплових мереж прийнята за незалежною схемою через пластинчаті теплообмінники з керуючими вузлами і насосною циркуляцією, схема підключень системи опалення вбудованих приміщень до теплових мереж прийнята за залежною схемою з керуючим вузлом і насосною циркуляцією.

2.2.2 Системи водопостачання та каналізації

Схема підключення системи ГВП до теплових мереж прийнята за незалежною схемою з використанням пластинчастих теплообмінників. Приєднання системи ГВП житлових приміщень до теплових мереж виконується за 2-ступеневою змішаною схемою.

Таблиця 2.8 – Теплове навантаження на ГВП

	Максимальне, Гкал/год	Максимальне, МВт	Середнє, Гкал/год	Середнє, МВт
Житлове приміщення зони №1	0,249	0,29	0,062	0,072
Житлове приміщення зони №2	0,249	0,29	0,062	0,072

2.3 Розрахунок енергетичних показників житлової будівлі

2.3.1 Енергоспоживання під час опалення

Сумарну теплопередачу трансмісією [4], кВт·год, розраховують для кожного місяця та для кожної зони за формулою (2.7):

$$Q_{tr} = H_{tr,adj} \cdot (\theta_{int,set,H} - \theta_e) \cdot t. \quad (2.7)$$

Значення загального коефіцієнта теплопередачі трансмісією, Вт/к, розрахуємо за формулою (2.8):

$$H_{tr,adj} = H_D + H_G + H_U + H_A. \quad (2.8)$$

H_D розраховується за формулою (2.9):

$$H_D = b_{tr,x} \sum_{i=1}^n A_i \cdot U_i, \quad (2.9)$$

де

$b_{tr,x}$ – поправочний коефіцієнт, під час розрахунку поправочний коефіцієнт дорівнює 1;

U_i – коефіцієнт теплопередачі i -го елемента оболонки будівлі, що розраховується за формулою (2.10):

$$U_i = \frac{1}{R_{\Sigma пр}}. \quad (2.10)$$

Розрахуємо узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до зовнішнього середовища за формулою (2.9):

$$H_D = 1 \cdot (2,13 \cdot 2337,4 + 0,36 \cdot 7173,1) = 7527,6 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{К}} \right).$$

Стационарний узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до ґрунту, Вт/К, розрахуємо за формулою (2.11):

$$H_G = A \cdot U. \quad (2.11)$$

Підставимо значення в формулу (2.11):

$$H_G = 614,7 \cdot 0,22 = 137,8 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{К}} \right).$$

Підставляємо отримані значення узагальненого коефіцієнта теплопередачі трансмісією до зовнішнього середовища та стационарний узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до ґрунту у формулу (2.8) та отримаємо значення загального коефіцієнта теплопередачі трансмісією:

$$H_{tr,adj} = 7527,6 + 137,8 = 7665,4 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{К}} \right).$$

Виконаємо розрахунки сумарної теплопередачі трансмісією для місяця січень за формулою (2.7):

$$Q_{tr_i} = 7665,4 \cdot (20 + 4,7) \cdot 744 = 140866 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}.$$

Розрахунки теплопередачі трансмісією помісячно зведено в таблицю 2.9.

Таблиця 2.9 – Розрахунок теплопередачі трансмісією для опалювального періоду.

Місяць	$\theta_e, ^\circ\text{C}$	t, год	$H_{tr,adj}, \text{Вт/К}$	$Q_{tr}, \text{кВт} \cdot \text{год}$
I	-4,7	744	7665,4	140866
II	-3,6	672		121568
III	1	744		108359
IV	9	240		20237
X	8,1	360		32839
XI	1,9	720		99896
XII	-2,5	744		128319
Разом				652083

Сумарну теплопередачу вентиляцією для кожного місяця та для кожної зони, $\text{кВт}\cdot\text{год}$, розраховують за формулою (2.12):

$$Q_{ve} = H_{ve,adj} \cdot (\theta_{int,set,H} - \theta_e) \cdot t. \quad (2.12)$$

де

H_{ve} – загальний коефіцієнт теплопередачі вентиляцією, Вт/К , який розраховується за формулою (2.13):

$$H_{ve,adj} = \rho_a \cdot c_a \cdot (q_{ve,mn,H} \cdot b_{ve,H} + q_{inf,mn,H}), \quad (2.13)$$

де

$\rho_a \cdot c_a$ – теплоємність повітря одиниці об'єму, що дорівнює $0,33 \text{ Вт}\cdot\text{год}/(\text{м}^3\cdot\text{К})$;

$b_{ve,H}$ – температурний поправочний коефіцієнт, який виправляє коефіцієнт теплопередачі вентиляцією. Коли температура припливного повітря не дорівнює температурі зовнішнього середовища. Коли відсутня утилізація тепла, поправочний коефіцієнт приймається рівним 1;

$q_{inf,mn,H}$ – усереднена за часом витрата повітря для інфільтрації, $\text{м}^3/\text{год}$, визначимо за формулою (2.14):

$$q_{inf,mn,H} = n_{inf} V, \quad (2.14)$$

де

n_{inf} – кратність повітрообміну за рахунок інфільтрації, враховуючи вплив механічної вентиляції, год^{-1} .

Розрахуємо усереднену за часом витрату повітря для інфільтрації за формулою (2.14):

$$q_{inf,mn,H} = 0,55 \cdot 41121,3 = 22616,7 \left(\frac{\text{м}^3}{\text{год}} \right).$$

Загальний коефіцієнт теплопередачі розрахуємо за формулою (2.13):

$$H_{ve,adj} = 0,33 \cdot 22616,7 = 7463,5 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{К}} \right).$$

Сумарну теплопередачу вентиляцією для першого місяця та для кожної зони вирахуємо за формулою (2.12):

$$Q_{ve_I} = 7463,5 \cdot (20 + 4,7) \cdot 744 = 137156 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}.$$

Значення теплопередачі вентиляцією зведена в таблицю 2.10.

Таблиця 2.10 – Розрахунок теплопередачі вентиляцією для кожного місяця.

Місяць	$\theta_e, ^\circ\text{C}$	t, год	$H_{ve,adj}, \text{Вт/К}$	$Q_{ve}, \text{кВт} \cdot \text{год}$
I	-4,7	744	7463,5	137156
II	-3,6	672		118365
III	1	744		105504
IV	9	240		19704
X	8,1	360		31974
XI	1,9	720		97265
XII	-2,5	744		124939
Разом				634906

Сумарна теплопередача для кожної зони будівлі та для кожного місяця, кВтгод, визначимо за формулою (2.15):

$$Q_{ht} = Q_{tr} + Q_{ve}. \quad (2.15)$$

Підставимо значення у формулу (2.15) щоб визначити для січня і взяти як приклад розрахунку для інших місяців:

$$Q_{ht_I} = 140866 + 137156 = 278022 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}.$$

В таблиці 2.11 будуть наведені розрахунки сумарної тепловтрати для режиму опалення.

Таблиця 2.11 – Розрахунок сумарної теплопередачі для режиму опалення.

Місяць	$Q_{tr}, \text{кВт} \cdot \text{год}$	$Q_{ve}, \text{кВт} \cdot \text{год}$	$Q_{ht}, \text{кВт} \cdot \text{год}$
I	137156	137156	278022
II	118365	118365	239933
III	105504	105504	213863
IV	19704	19704	39940
X	31974	31974	64812
XI	97265	97265	197160
XII	124939	124939	253259
Разом	634906	634906	1286989

Внутрішні теплові потоки, а саме теплові надходження від внутрішніх джерел, включаючи від'ємні теплові потоки, представляють собою суму всіх теплових впливів, які виникають у кондиціонованому приміщенні від внутрішніх джерел, за винятком тепла, яке спеціально використовується для опалення, охолодження або системи гарячого водопостачання.

Внутрішні джерела теплового навантаження включають в себе наступне:

- тепло, що виникає від метаболізму людей та тепло, яке розсіюється обладнанням;
- тепло, яке розсіюється від світлових джерел;
- тепло, яке виникає від або поглинається системами гарячого та холодного водопостачання та каналізації;
- тепло, яке виникає від або поглинається системами опалення, охолодження та вентиляції.
- тепло, що виникає від або споживання в процесах та виробництві.

Теплове навантаження від внутрішніх джерел тепла у розглянутій зоні будівлі, кВтгод, розраховується за певним місяцем за допомогою наступної формули (2.16):

$$Q_{int} = (\sum_k \Phi_{int,mn,k} \cdot A_f) \cdot t, \quad (2.16)$$

де

t – тривалість періоду використання, год/місяць.

Усереднений за часом тепловий потік, Вт/м², визначається за формулою (2.17):

$$\Phi_{int,mn,k} = \frac{112}{168} \cdot (\Phi_{int,Oc} + \Phi_{int,L} + \Phi_{int,A}), \quad (2.17)$$

Підставимо значення у формулу (2.17) та отримаємо значення усередненого за часом теплового потоку.

$$\Phi_{int,mn,k} = \frac{112}{168} \cdot (1.8 + 2 + 2) = 3.87 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \right).$$

Підставляємо значення в формулу (2.16), та отримуємо теплонадходження від внутрішніх теплових джерел у зоні будівлі.

$$Q_{int_I} = (3.87 \cdot 15577,4) \cdot 744 = 44813 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}.$$

Зведемо внутрішні теплонадходження у таблицю 2.12.

Таблиця 2.12 – Розрахунок внутрішніх теплових надходжень в опалювальний період.

Місяць	t, год	$\sum_k \Phi_{int,mn,k}$, Вт/м ²	Q _{int} , кВт·год
I	744	3,87	44813,1
II	672		40476,3
III	744		44813,1
IV	240		14456,8
X	360		21684,8
XI	720		43368,5
XII	744		44813,1
Разом			254423,7

Джерелом теплового надходження від сонця є сонячна радіація, чий режим є характерним для даної місцевості. Цей режим визначається орієнтацією поверхонь, які приймають сонячну енергію, постійним чи рухомим затіненням, а також характеристиками теплопередачі цих поверхонь. Коефіцієнт, який враховує характеристики та площу приймаючих поверхонь (включаючи вплив затінення), називається еквівалентною площею інсоляції.

Теплове надходження від сонця до розглянутої зони будівлі розраховується для кожного місяця у кВт·год за формулою (2.18):

$$Q_{sol} = (\sum_k \Phi_{sol,mn,k}) \cdot t \cdot 10^{-3}. \quad (2.18)$$

Сонячні теплові надходження через k -ий елемент будівлі, кВт, розрахуємо за формулою (2.19):

$$\Phi_{sol,mn,k} = F_{sh,ob,k} \cdot A_{sol,k} \cdot I_{sol,k} - F_{r,k} \cdot \Phi_{r,k}, \quad (2.19)$$

де

$F_{r,k}$ - коефіцієнт форми між елементом будівлі та небосхилом, який приймають:

$F_{r,k} = 1$ – для незатіненого горизонтального даху,

$F_{r,k} = 0,5$ – для незатіненої вертикальної стіни.

Еквівалентна площа інсоляції зашкленого елемента оболонки розрахуємо за формулою (2.20):

$$A_{sol} = F_{sh,gl} \cdot g_{gl} \cdot (1 - F_F) \cdot A_{w,p}. \quad (2.20)$$

Для вікон чи інших прозорих елементів оболонки з нерозсіювальним склінням, коефіцієнт пропускання сонячної енергії для випромінювання, яке перпендикулярне до скління g_n , слід розраховувати з урахуванням оптичних властивостей багат шарового скління або взяти із відповідних таблиць.

Оскільки середній за часом загальний коефіцієнт пропускання сонячної енергії є параметром, значення якого трохи нижчий за g_n , то для його розрахунку використовують поправочний коефіцієнт F_w :

$$g_{gl} = F_w \cdot g_n, \quad (2.21)$$

де

F_w - поправочний коефіцієнт для нерозсіюючого скління, приймають $F_w = 0,9$.

Тоді:

$$g_{gl} = 0,9 \cdot 0,64 = 0,58.$$

Підставимо значення у формулу (2.20) та розрахуємо еквівалентну площу інсоляції вікон:

$$A_{sol_{\text{вікно,Пн}}} = 0,58 \cdot (1 - 0,3) \cdot 305 = 122,98 \text{ (м}^2\text{)},$$

$$A_{sol_{\text{вікно,Сх}}} = 0,58 \cdot (1 - 0,3) \cdot 604,7 = 243,82 \text{ (м}^2\text{)},$$

$$A_{sol_{\text{вікно,Пд}}} = 0,58 \cdot (1 - 0,3) \cdot 833,9 = 336,23 \text{ (м}^2\text{)},$$

$$A_{sol_{\text{вікно,Зх}}} = 0,58 \cdot (1 - 0,3) \cdot 593,8 = 239,42 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Еквівалентну площу інсоляції непрозорої частини оболонки будівлі, м^2 :

$$A_{sol} = \alpha_{s,c} \cdot R_{se} \cdot U_c \cdot A_c, \quad (2.22)$$

де

R_{se} - тепловий зовнішній поверхневий опір непрозорої частини, приймають $0,043 (\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$.

Підставимо значення у формулу (2.22) та отримаємо еквівалентну площу інсоляції непрозорої частини оболонки будівлі:

$$A_{sol_{\text{стіни, Пн}}} = 0,3 \cdot 0,043 \cdot 0,36 \cdot 2242,6 = 10,3 (\text{м}^2),$$

$$A_{sol_{\text{стіни, Сх}}} = 0,3 \cdot 0,043 \cdot 0,36 \cdot 1592,9 = 7,32 (\text{м}^2),$$

$$A_{sol_{\text{стіни, Пд}}} = 0,3 \cdot 0,043 \cdot 0,36 \cdot 1722,7 = 7,91 (\text{м}^2),$$

$$A_{sol_{\text{стіни, Зх}}} = 0,3 \cdot 0,043 \cdot 0,36 \cdot 1614,9 = 7,42 (\text{м}^2),$$

$$A_{sol_{\text{дах}}} = 0,3 \cdot 0,043 \cdot 0,36 \cdot 614,7 = 5,33 (\text{м}^2).$$

Значення сонячної радіації чи енергетичної освітленості для площі k -ої поверхні із вказаною орієнтацією та кутом нахилу за умов середньої хмарності, $\text{Вт}/\text{м}^2$, визначають згідно з ДСТУ 9190:2022.

Таблиця 2.13 – Середньомісячна загальна сонячна радіація, яка надходить на вертикальну та горизонтальну поверхні для середніх умов хмарності для м. Київ.

	$I_{sol}, \text{Вт}/\text{м}^2$				
Місяць	Пн	Сх	Пд	Зах	Дах
I	13	21	50	22	32
II	24	36	70	38	59
III	35	58	90	61	101
IV	39	77	92	73	149
V	56	104	101	99	211
VI	67	111	96	105	228
VII	61	108	98	104	220

Продовження таблиці 2.13

VIII	40	93	106	89	185
IX	29	70	102	66	130
X	19	38	75	37	71
XI	11	17	39	17	31
XII	9	14	35	15	22

Додатковий тепловий потік через теплове випромінювання в атмосферу для відповідного елемента конструкції будівлі, Вт, обчислюється за формулою (2.23):

$$\Phi_r = R_{se} \cdot U_c \cdot A_c \cdot h_r \cdot \Delta\theta_{er}, \quad (2.23)$$

де

$\Delta\theta_{er}$ – середня різниця між температурою зовнішнього повітря та уявною температурою атмосфери в умовах помірних широт, приймають як 11К.

Проведемо розрахунок додаткового теплового потоку через теплове випромінювання в атмосферу для відповідного елемента конструкції будівлі, використовуючи формулу (2.23):

$$\Phi_{r_{\text{вікна}}} = 0,043 \cdot 2,13 \cdot 2337,4 \cdot 0,47 \cdot 11 = 1105,6 \text{ (Вт)},$$

$$\Phi_{r_{\text{стіни}}} = 0,043 \cdot 0,36 \cdot 7173,1 \cdot 4,78 \cdot 11 = 5776,21 \text{ (Вт)},$$

$$\Phi_{r_{\text{даху}}} = 0,043 \cdot 0,22 \cdot 614,7 \cdot 4,63 \cdot 11 = 301,54 \text{ (Вт)}.$$

Визначаємо сонячні теплові надходження через k -ий елемент будівлі за формулою (2.19) для місяця січня:

- вікна:

$$\Phi_{sol,mn,k_{\Pi H}}^I = A_{sol,k} \cdot I_{sol,k} = 122,98 \cdot 13 = 1598,69 \text{ (Вт)},$$

$$\Phi_{sol,mn,k_{C\chi}}^I = A_{sol,k} \cdot I_{sol,k} = 243,82 \cdot 21 = 5120,12 \text{ (Вт)},$$

$$\Phi_{sol,mn,k_{\Pi d}}^I = A_{sol,k} \cdot I_{sol,k} = 336,23 \cdot 50 = 16811,42 \text{ (Вт)},$$

$$\Phi_{sol,mn,k_{3\chi}}^I = A_{sol,k} \cdot I_{sol,k} = 239,42 \cdot 22 = 5267,24 \text{ (Вт)},$$

- стіни:

$$\Phi_{sol,mn,k_{\Pi H}}^I = A_{sol,k} \cdot I_{sol,k} = 10,3 \cdot 13 = 133,93 \text{ (Вт)},$$

$$\Phi_{sol,mn,k_{Cx}}^I = A_{sol,k} \cdot I_{sol,k} = 7,32 \cdot 21 = 153,67 \text{ (Вт)},$$

$$\Phi_{sol,mn,k_{Пд}}^I = A_{sol,k} \cdot I_{sol,k} = 7,91 \cdot 50 = 395,69 \text{ (Вт)},$$

$$\Phi_{sol,mn,k_{3x}}^I = A_{sol,k} \cdot I_{sol,k} = 7,42 \cdot 22 = 163,21 \text{ (Вт)},$$

- дах:

$$\Phi_{sol,mn,k}^I = 5,33 \cdot 32 - 301,54 = -130,9 \text{ (Вт)}.$$

Розрахунки для інших місяців року відбуваються аналогічно, результати будуть занесені до таблиці 2.14.

Таблиця 2.14 – Розрахунок теплових надходжень від сонця в опалювальному періоді.

Місяць	t, год	$\Phi_{sol,вікон}$, Вт	$\Phi_{sol,стіл}$, Вт	$\Phi_{sol,дах}$, Вт	$\sum_k \Phi_{sol,mn,k}$, Вт	Q_{sol} , кВт·год
I	744	28797,47	846,50	170,65	29814,62	17660,2
II	672	44362,73	1346,57	314,63	46023,92	26843,8
III	744	63310,63	1949,78	538,6	65799,01	44432,6
IV	240	71980,51	2234,88	794,57	75009,97	16543,7
X	360	45677,20	1341,84	378,62	47397,66	14875,2
XI	720	22680,65	672,48	165,31	23518,44	12557,3
XII	744	19879,49	583,43	117,32	20580,24	10789,9
Разом						143702,7

Сумарні теплові надходження, кВт·год, для кожної зони будівлі для кожного місяця знаходиться за формулою:

$$Q_{gn} = Q_{int} + Q_{sol}. \quad (2.24)$$

Результати розрахунку за формулою (2.24) зведемо до таблиці 2.15.

Таблиця 2.15 – Розрахунки сумарних теплових надходжень за опалювальний період.

Місяць	t, год	Q _{int} , кВтгод	Q _{sol} , кВтгод	Q _{gn} , кВтгод
I	744	44813,1	17660,2	62473,3
II	672	40476,3	26843,8	67320,2
III	744	44813,1	44432,6	89245,7
IV	240	14456,8	16543,7	30999,6
X	360	21684,8	14875,2	36558,9
XI	720	43368,5	12557,3	55924,8
XII	744	44813,1	10789,9	55603,0
Разом		254423,7	143702,7	398125,5

Коефіцієнт безрозмірного використання надходжень для опалення, позначений як $\eta_{H,gn}$, представляє собою величину, яка залежить від співвідношення надходжень до витрат теплоти (γ_H) та числового параметра α_H , який залежить від інерції будівлі.

Безрозмірне співвідношення надходжень та витрат теплоти для режиму опалення:

$$\gamma_H = \frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}}. \quad (2.25)$$

Підставимо значення у формулу (2.25) та розрахуємо для першого місяця як приклад для розрахунку інших:

$$\gamma_{H_I} = \frac{62473,3}{278022} = 0,22.$$

Безрозмірний коефіцієнт використання надходжень для опалення знайдемо за формулою (2.26):

$$\eta_{H,gn} = \frac{1 - \gamma_H^{\alpha_H}}{1 - \gamma_H^{\alpha_H + 1}}, \quad (2.26)$$

де

α_H - безрозмірний числовий параметр, що залежить від часової константи будівлі, τ_H :

$$\alpha_H = \alpha_{H,0} + \frac{\tau}{\tau_{H,0}}, \quad (2.27)$$

де

$\alpha_{H,0}$ – довідковий безрозмірний числовий параметр, приймаємо за 1;

$\tau_{H,0}$ – довідкова часова константа, рівна 15 год;

τ – часова константа зони будівлі, визначається за формулою (2.28):

$$\tau = \frac{C_m}{H_{tr,adj} + H_{ve,adj} + H_{ve.extra,adj}}. \quad (2.28)$$

Внутрішню теплоємність будівлі або зони будівлі розраховується за формулою (2.29):

$$C_m = C \cdot A_f, \quad (2.29)$$

де

C – внутрішня теплоємність будівлі або зони будівлі на одиницю площі, Втгод/(м²К);

A_f – кондиціонована площа будівлі або зони будівлі, м².

За формулою (2.29):

$$C_m = 50 \cdot 614,7 \cdot 26 = 799110 \left(\frac{\text{Вт} \cdot \text{год}}{\text{К}} \right).$$

За формулою (2.28):

$$\tau = \frac{799110}{7665,4 + 7463,5} = 52,82 \text{ (год)}.$$

За формулою (2.27):

$$\alpha_H = 1 + \frac{52,82}{15} = 4,52.$$

За формулою (2.26):

$$\eta_{H,gn_I} = \frac{1 - 0,22^{4,52}}{1 - 0,22^{4,52+1}} = 0,999.$$

Результати розрахунків зведемо до таблиці 2.16.

Таблиця 2.16 – Розрахунок безрозмірного коефіцієнту для кожного місяця.

Місяць	γ_H	C_m , Втгод/К	τ , год	α_H	$\eta_{H,gn}$
I	0,22	799110	52,82	4,52	0,999
II	0,28				0,998
III	0,42				0,989
IV	0,78				0,905
X	0,56				0,966
XI	0,28				0,998
XII	0,22				0,999

Для визначення сумарної енергопотребы на опалення використаємо формулу:

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \cdot Q_{H,gn}. \quad (2.30)$$

Тоді за формулою (2.30):

$$Q_{H,nd_I} = 278022 - 0,999 \cdot 62473,3 = 215605,0 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}.$$

Результати розрахунків енергетичних потреб на опалення зведені у таблицю 2.17.

Таблиця 2.17 – Енергетична потреба на опалення.

Місяць	Q_{ht} , кВтгод	$\eta_{H,gn}$	Q_{gn} , кВтгод	$Q_{H,nd}$, кВтгод
I	278022	0,999	62473,3	215605,0
II	239933	0,998	67320,2	172767,7
III	213863	0,989	89245,7	125625,1
IV	39940	0,905	30999,6	11870,4
X	64812	0,966	36558,9	29503,5
XI	197160	0,998	55924,8	141370,2
XII	253259	0,999	55603,0	197701,4
Разом				894443,3

Загальні тепловтрати підсистеми тепловіддачі визначається помісячно, *Втгод*, за формулою (2.31):

$$Q_{H,em,ls,i} = \left(\frac{f_{hydr} \cdot f_{im} \cdot f_{rad}}{\eta_{em}} - 1 \right) \cdot Q_{H,em,out}, \quad (2.31)$$

де

$Q_{H,em,out} = Q_{H,nd}$ – енергія виходу від підсистеми тепловіддачі/виділення за конкретний місяць, Вт·год;

f_{rad} – коефіцієнт, який враховує променеву складову теплового потоку, застосовується тільки для променевих систем опалення і дорівнює 1;

η_{em} – загальний рівень ефективності тепловіддачі складової системи, визначається за формулою:

$$\eta_{em} = \frac{1}{4 - (\eta_{str} + \eta_{ctr} + \eta_{emb})}, \quad (2.32)$$

де

η_{emb} – складова, яка враховує питомі втрати зовнішніх огорожень, застосовується для вбудованих систем опалення, приймаємо рівною 1;

η_{str} – складова, яка враховує вертикальний профіль температури повітря в приміщенні, яка визначається, як середнє значення "температурного напору" й "питомих тепловтрат зовнішніх огорожувальних конструкцій" за формулою (2.33):

$$\eta_{str} = \frac{\eta_{str1} + \eta_{str2}}{2}, \quad (2.33)$$

де

η_{str1}, η_{str2} – обирається з ДСТУ 9190:2022.

Підставимо значення в формулу (2.32):

$$\eta_{em} = \frac{1}{4 - \left(\frac{0,88 + 0,83}{2} + 0,88 + 1 \right)} = 0,79.$$

Підставляємо значення у формулу (2.31), щоб розрахувати загальні тепловтрати підсистеми:

$$Q_{H,em,ls,i} = \left(\frac{1,03 \cdot 0,97 \cdot 1}{0,79} - 1 \right) \cdot 215605,0 = 56889,9 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}.$$

Енергію входу для підсистеми тепловіддачі розраховується за формулою:

$$Q_{H,em,in,i} = Q_{H,em,out,i} - k \cdot W_{H,em,aux,i} - Q_{H,em,ls,rvd,i} + Q_{H,em,ls,nrvd,i}, \quad (2.34)$$

де

k – коефіцієнт для розрахунку утилізованої частини додаткової енергії впродовж i -го місяця, яка показує, що частину додаткової енергії можна утилізувати безпосередньо в підсистемі тепловіддачі як теплоту;

$Q_{H,em,ls,nrvd,i}$ – неутілізована тепловтрата для підсистеми тепловіддачі впродовж i -го місяця, Вт·год, приймаємо $Q_{H,em,ls,nrvd,i} = Q_{H,em,ls,i}$.

Розраховуємо енергію входу для підсистеми тепловіддачі за формулою (2.34):

$$Q_{H,em,in,i} = 215605,0 + 56889,9 = 272494,9 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}.$$

Розрахунки зведені до таблиці 2.18.

Загальні тепловтрата підсистеми розподілення визначаються помісячно, кВт·год, за формулою:

$$Q_{H,dis,ls,i} = \sum \psi_{L,j} \cdot (\theta_{m,i} - \theta_i) \cdot L_j \cdot t_{op,an,i}. \quad (2.35)$$

Енергію входу для підсистеми розподілення розрахуємо за формулою:

$$Q_{H,dis,in,i} = Q_{H,dis,out,i} + Q_{H,dis,ls,nrvd,i}, \quad (2.35)$$

де

$Q_{H,dis,out,i}$ – енергія виходу з підсистеми розподілення упродовж i -го місяця, Вт·год, $Q_{H,dis,out,i} = Q_{H,em,in,i}$;

$Q_{H,dis,ls,nrvd,i}$ – неутілізована тепловтрата для підсистеми розподілення упродовж i -го місяця, Вт·год, $Q_{H,dis,ls,nrvd,i} = 0$.

Розрахунки зведені до таблиці 2.18.

Загальні тепловтрата підсистеми генерування теплоти, кВт·год, розраховуємо за формулою:

$$Q_{H,gen,ls,i} = Q_{H,gen,out,i} \cdot \frac{1-\eta_{H,gen}}{\eta_{H,gen}}, \quad (2.36)$$

де

$Q_{H,gen,out,i}$ – енергія виходу з підсистем генерування упродовж i -го місяця, Вт·год, $Q_{H,gen,out,i} = Q_{H,dis,in,i}$;

$\eta_{H,gen}$ – ефективність підсистеми генерування теплоти, що визначається за ДСТУ 9190:2022, оскільки дім має свій ІТП, $\eta_{H,gen} = 0,86$.

Розрахуємо тепловтрати підсистеми генерування теплоти за формулою (2.36):

$$Q_{H,gen,ls,i_I} = 272494,9 \cdot \frac{1 - 0,96}{0,96} = 11354,0 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}.$$

Енергоспоживання на потреби опалення розрахуємо за формулою:

$$Q_{H,use,i} = Q_{H,gen,out,i} + Q_{H,gen,ls,i}. \quad (2.37)$$

Підставляємо значення у формулу (2.37):

$$Q_{H,use,i_I} = 272494,9 + 11354,0 = 283848,8 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}.$$

Результати розрахунків заносимо до таблиці 2.18.

Таблиця 2.18 – Енергоспоживання для опалення.

Місяць	$Q_{H,em,out}$, кВт·год	$Q_{H,em,ls}$, кВт·год	$Q_{H,em,in} =$ $Q_{H,dis,out}$, кВт·год	$Q_{H,dis,in} =$ $Q_{H,gen,out}$, кВт·год	$Q_{H,gen,ls}$, кВт·год	$Q_{H,use}$, кВт·год
I	215605,0	56889,9	272494,9	272494,9	11354,0	283848,8
II	172767,7	45586,7	218354,4	218354,4	9098,1	227452,5
III	125625,1	33147,6	158772,7	158772,7	6615,5	165388,2
IV	11870,4	3132,2	15002,6	15002,6	625,1	15627,7
X	29503,5	7784,8	37288,3	37288,3	1553,7	38842,0
XI	141370,2	37302,2	178672,4	178672,4	7444,7	186117,1
XII	197701,4	52165,8	249867,1	249867,1	10411,1	260278,3
Разом						1177554,7

2.3.2 Енергоспоживання під час охолодження

Сумарну теплопередачу трансмісією [4], кВт·год, розраховують для кожного місяця та для кожної зони за формулою (2.38):

$$Q_{tr} = H_{tr,adj} \cdot (\theta_{int,set,c} - \theta_e) \cdot t. \quad (2.38)$$

Підставимо значення у формулу (2.38):

$$Q_{tr_{VI}} = 7665,4 \cdot (26 - 22,3) \cdot 240 = 6825 \text{ (кВт} \cdot \text{год)},$$

$$Q_{tr_{VII}} = 7665,4 \cdot (26 - 23,3) \cdot 310 = 6535 \text{ (кВт} \cdot \text{год)},$$

$$Q_{tr_{VIII}} = 7665,4 \cdot (20 - 22,8) \cdot 279 = 6886 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}.$$

Результати розрахунку теплопередачі трансмісією помісячно наведено у таблиці 2.19.

Таблиця 2.19 – Розрахунок теплопередачі трансмісією для режиму охолодження.

Місяць	$\theta_e, ^\circ\text{C}$	t, год	$H_{tr,adj}, \text{Вт/К}$	$Q_{tr}, \text{кВт} \cdot \text{год}$
VI	22,3	240	7665,4	6825
VII	23,3	310		6535
VIII	22,8	279		6886
Разом				20247

Сумарну теплопередачу вентиляцією для кожного місяця та для кожної зони, кВтгод, розраховують за формулою (2.39):

$$Q_{ve} = H_{ve,adj} \cdot (\theta_{int,set,c} - \theta_e) \cdot t. \quad (2.39)$$

Підставимо значення у формулу (2.39):

$$Q_{ve_{VI}} = 7463,5 \cdot (26 - 22,3) \cdot 240 = 6646 \text{ (кВт} \cdot \text{год)},$$

$$Q_{ve_{VII}} = 7463,5 \cdot (26 - 23,3) \cdot 310 = 6363 \text{ (кВт} \cdot \text{год)},$$

$$Q_{ve_{VIII}} = 7463,5 \cdot (20 - 22,8) \cdot 279 = 6705 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}.$$

Результати розрахунку теплопередачі трансмісією помісячно наведено у таблиці 2.20.

Таблиця 2.20 – Розрахунок теплопередачі трансмісією для режиму охолодження.

Місяць	$\theta_e, ^\circ\text{C}$	t, год	$H_{ve,adj}, \text{Вт/К}$	$Q_{ve}, \text{кВтгод}$
VI	22,3	240	7463,5	6646
VII	23,3	310		6363
VIII	22,8	279		6705
Разом				19713

Сумарна теплопередача для кожної зони будівлі та для кожного місяця, кВтгод, визначимо за формулою (2.15):

$$Q_{ht_{VI}} = 6825 + 6646 = 13471 \text{ (кВт} \cdot \text{год)},$$

$$Q_{ht_{VII}} = 6535 + 6363 = 12897 \text{ (кВт} \cdot \text{год)},$$

$$Q_{ht_{VIII}} = 6886 + 6705 = 13592 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}.$$

В таблиці 2.21 будуть наведені розрахунки сумарної тепловтрати для режиму опалення.

Таблиця 2.21 – Розрахунок сумарної теплопередачі для режиму охолодження

Місяць	$Q_{tr}, \text{кВтгод}$	$Q_{ve}, \text{кВтгод}$	$Q_{ht}, \text{кВтгод}$
VI	6825	6646	13471
VII	6535	6363	12897
VIII	6886	6705	13592
Разом	20247	19713	39960

Теплонадходження від внутрішніх теплових джерел у зоні будівлі, що розглядається, кВтгод, розраховують для визначеного місяці за формулою (2.16):

$$Q_{int_{VI}} = (3.87 \cdot 15577,4) \cdot 240 = 14455,8 \text{ (кВт} \cdot \text{год)},$$

$$Q_{int_{VII}} = (3.87 \cdot 15577,4) \cdot 310 = 18672,1 \text{ (кВт} \cdot \text{год)},$$

$$Q_{int_{VIII}} = (3.87 \cdot 15577,4) \cdot 279 = 16804,9 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}.$$

Зведемо внутрішні теплонадходження у таблицю 2.22.

Таблиця 2.22 – Розрахунок внутрішніх теплових надходжень в охолоджувальний період.

Місяць	t, год	$\sum_k \Phi_{int,mn,k}$, Вт/м ²	Q _{int} , кВтГод
VI	240	3,87	14455,8
VII	310		18672,1
VIII	279		16804,9
Разом			49932,9

Теплові надходження від сонця для періоду охолодження визначають так само, як і для розрахунку в опалювальний період. Розрахунки будуть приведені у таблиці 2.23.

Таблиця 2.23 – Розрахунок теплових надходжень для періоду охолодження.

Місяць	t, год	$\Phi_{sol,викон}$, Вт	$\Phi_{sol,стін}$, Вт	$\Phi_{sol,дах}$, Вт	$\sum_k \Phi_{sol,mn,k}$, Вт	Q _{sol} , кВтГод
VI	240	92719,9	3041,2	1215,9	96976,96	21815,8
VII	310	91683,7	2965,8	1173,2	95822,68	27820,9
VIII	279	84542,5	2591,8	986,6	88120,76	22890,0
Разом						72526,7

Сумарні теплові надходження, кВтГод, для кожної зони будівлі для кожного місяця знаходиться за формулою (2.24). Результати розрахунку зведені до таблиці 2.24.

Таблиця 2.24 – Розрахунки сумарних теплових надходжень за період охолодження.

Місяць	t, год	Q _{int} , кВтГод	Q _{sol} , кВтГод	Q _{гн} , кВтГод
VI	240	14455,8	21815,8	36271,6
VII	310	18672,1	27820,9	46493,1
VIII	279	16804,9	22890,0	39694,9
Разом		49932,9	72526,7	122459,6

Безрозмірний коефіцієнт використання надходжень для охолодження $\eta_{C,ls}$ – є функція співвідношення надходжень та витрат теплоти γ_C , й числового параметра α_C , який залежить від інерції будівлі.

Безрозмірне співвідношення надходжень та витрат теплоти для охолодження:

$$\gamma_C = \frac{Q_{C,gn}}{Q_{C,ht}}. \quad (2.40)$$

Підставимо значення у формулу (2.40):

$$\gamma_{C_{VI}} = \frac{36271,6}{13471} = 2,69,$$

$$\gamma_{C_{VII}} = \frac{46493,1}{12897} = 3,60,$$

$$\gamma_{C_{VIII}} = \frac{39694,9}{13592} = 2,92.$$

Безрозмірний коефіцієнт використання надходжень для охолодження знайдемо за формулою (2.41):

$$\eta_{C,ls} = \frac{1 - \gamma_C^{-\alpha_C}}{1 - \gamma_C^{-(\alpha_C+1)}}, \quad (2.41)$$

де

α_C - безрозмірний числовий параметр, що залежить від часової константи будівлі:

$$\alpha_C = \alpha_{C,0} + \frac{\tau}{\tau_{C,0}}, \quad (2.42)$$

де

$\alpha_{C,0}$ – довідковий безрозмірний числовий параметр, приймаємо за 1;

Розрахуємо безрозмірний числовий параметр за формулою (2.42):

$$\alpha_C = 1 + \frac{52,82}{15} = 4,52.$$

Підставимо значення у формулу (2.41):

$$\eta_{C,lsVI} = \frac{1 - 2,69^{-4,52}}{1 - 2,69^{-(4,52+1)}} = 0,993,$$

$$\eta_{C,lsVII} = \frac{1 - 3,60^{-4,52}}{1 - 3,60^{-(4,52+1)}} = 0,998$$

$$\eta_{C,lsVIII} = \frac{1 - 2,92^{-4,52}}{1 - 2,92^{-(4,52+1)}} = 0,995.$$

Результати зведено у таблицю 2.25.

Таблиця 2.25 – Розрахунок безрозмірного коефіцієнту для кожного місяця періоду охолодження

Місяць	γ_C	C_m , Втгод/К	τ , год	α_C	$\eta_{C,ls}$
VI	2,69	799110	52,82	4,52	0,993
VII	3,60				0,998
VIII	2,92				0,995

Для визначення сумарної енергопотребы на охолодження використаємо формулу:

$$Q_{C,nd} = Q_{C,gn} - \eta_{C,ls} \cdot Q_{C,ht}. \quad (2.43)$$

Тоді за формулою (2.43):

$$Q_{C,ndVI} = 36271,6 - 0,993 \cdot 13471 = 22897,4 \text{ (кВт} \cdot \text{год)},$$

$$Q_{C,ndVII} = 46493,1 - 0,998 \cdot 12897 = 33623,9 \text{ (кВт} \cdot \text{год)},$$

$$Q_{C,ndVIII} = 39694,9 - 0,995 \cdot 13592 = 26173,8 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}.$$

Результати зведено у таблицю 2.26.

Таблиця 2.26 – Енергопотреба для охолодження.

Місяць	Q_{ht} , кВтгод	$\eta_{C,ls}$	Q_{gn} , кВтгод	$Q_{C,nd}$, кВтгод
VI	13471	0,993	36271,6	22897,4
VII	12897	0,998	46493,1	33623,9
VIII	13592	0,995	39694,9	26173,8
Разом				82695

Втрати теплоти підсистемою розподілення охолодження, кВтгод, визначимо за формулою (2.44):

$$Q_{C,dis,ls} = Q_{C,nd} \cdot ((1 - \eta_{C,ce}) + (1 - \eta_{C,ce,sens}) + (1 - \eta_{C,d})). \quad (2.44)$$

Підставимо значення у формулу (2.44):

$$Q_{C,dis,ls_{VI}} = 228897,4 \cdot ((1 - 1) + (1 - 0,87) + (1 - 0,9)) = 5266,4 \text{ (кВт} \cdot \text{год)},$$

$$Q_{C,dis,ls_{VII}} = 33623,9 \cdot ((1 - 1) + (1 - 0,87) + (1 - 0,9)) = 7733,5 \text{ (кВт} \cdot \text{год)},$$

$$Q_{C,dis,ls_{VIII}} = 26173,8 \cdot ((1 - 1) + (1 - 0,87) + (1 - 0,9)) = 6019,98 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}.$$

Енергію входу для підсистеми розподілення, кВтгод, визначається за формулою (2.45):

$$Q_{C,dis,in} = Q_{C,dis,out} + Q_{C,dis,ls}, \quad (2.45)$$

де

$Q_{C,dis,out}$ – енергія виходу підсистеми розподілення упродовж певного місяця, Втгод, $Q_{C,dis,out} = Q_{C,nd}$.

Підставимо значення у формулу (2.45):

$$Q_{C,dis,in_{VI}} = 22897,4 + 5266,4 = 28163,8 \text{ (кВт} \cdot \text{год)},$$

$$Q_{C,dis,in_{VII}} = 33623,9 + 7733,5 = 41357,4 \text{ (кВт} \cdot \text{год)},$$

$$Q_{C,dis,in_{VIII}} = 26173,8 + 6019,98 = 32193,8 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}.$$

Енергія виходу для підсистеми генерування, кВтгод, розраховується за формулою (2.46):

$$Q_{C,gen,out} = Q_{C,dis,in} / \eta_{C,ac}. \quad (2.46)$$

Підставимо значення у формулу (2.46):

$$Q_{C,gen,out_{VI}} = \frac{28163,8}{0,93} = 30283,6 \text{ (кВт} \cdot \text{год)},$$

$$Q_{C,gen,out_{VII}} = \frac{41357,4}{0,93} = 44470,4 \text{ (кВт} \cdot \text{год)},$$

$$Q_{C,gen,out_{VIII}} = \frac{32193,8}{0,93} = 34616,98 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}.$$

Загальні тепловтрати підсистеми генерування, кВтгод, розраховується за формулою (2.47):

$$Q_{C,gen,ls} = Q_{C,gen,out} \cdot \frac{1-\eta_{C,gen}}{\eta_{C,gen}}, \quad (2.47)$$

де

$\eta_{C,gen}$ – ефективність підсистеми генерування, яка визначається шляхом множення сезонного коефіцієнта енергоефективності на ефективність генерування енергії для установки (2.48), обирається з ДСТУ 9190:2022.

$$\eta_{C,gen} = 2,25 \cdot \eta_{pg}, \quad (2.48)$$

де

$\eta_{pg} = 1$ – ефективність генерації електроенергії при відсутності електрогенератора.

Підставимо значення у формулу (2.47):

$$\begin{aligned} Q_{C,gen,lsVI} &= 30283,6 \cdot \frac{1-2,25}{2,25} = -16824,2 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}, \\ Q_{C,gen,lsVII} &= 44470,4 \cdot \frac{1-2,25}{2,25} = -24705,8 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}, \\ Q_{C,gen,lsVIII} &= 34616,98 \cdot \frac{1-2,25}{2,25} = -19231,7 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}. \end{aligned}$$

Енергоспоживання для охолодження визначаємо за формулою:

$$Q_{C,use} = Q_{C,gen,out} + Q_{C,gen,ls}. \quad (2.49)$$

Підставимо значення у формулу (2.49):

$$\begin{aligned} Q_{C,useVI} &= 30283,6 - 16824,2 = 13459,4 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}, \\ Q_{C,useVII} &= 44470,4 - 24705,8 = 19764,6 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}, \\ Q_{C,useVIII} &= 34616,98 - 19231,7 = 15385,3 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}. \end{aligned}$$

Розрахунки зведені у таблиці 2.27.

Таблиця 2.27 – Енергоспоживання для охолодження

Місяць	$Q_{C,em,in} = Q_{C,dis,out}$, кВтгод	$Q_{C,dis,ls}$, кВтгод	$Q_{C,dis,in}$, кВтгод	$Q_{C,gen,out}$, кВтгод	$Q_{C,gen,ls}$, кВтгод	$Q_{C,use}$, кВтгод
VI	22897,4	5266,4	28163,8	30283,6	-16824,2	13459,4
VII	33623,9	7733,5	41357,4	44470,4	-24705,8	19764,6
VIII	26173,8	6019,98	32193,8	34616,98	-19231,7	15385,3
						48609,3

2.3.3 Визначення класу енергоефективності будівлі

Клас енергоефективності будівлі визначаємо за даними, наведеними в таблиці 1 Наказу №261 [6]. Залежно від показника Δ_{EP} , який є відсотковою різницею між загальним показником питомого енергоспоживання при опаленні та охолодженні, EP_{use} , кВтгод/м², (кВтгод/м³) та граничним питомим енергоспоживання при опаленні та охолодженні, EP_p , кВтгод/м², (кВтгод/м³).

Показник Δ_{EP} , %, визначимо за формулою:

$$\Delta_{EP} = \frac{EP_{use} - EP_p}{EP_p} \cdot 100, \quad (2.50)$$

де

EP_{use} – загальне питоме енергетичне споживання при опаленні, охолодженні, кВтгод/м², (кВтгод/м³):

$$EP_{use} = EP_{H,use} + EP_{C,use}, \quad (2.50)$$

де

$EP_{H,use}$, $EP_{C,use}$ – питоме енергетичне споживання при опаленні, охолодженні, кВтгод/м², (кВтгод/м³):

$$EP_{H,use} = \frac{1177554,7}{15577,4} = 75,6 \left(\frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{м}^2} \right),$$

$$EP_{C,use} = \frac{48609,3}{15577,4} = 3,1 \left(\frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{м}^2} \right).$$

Підставимо значення у формулу (2.50):

$$EP_{use} = 75,6 + 3,1 = 78,7 \left(\frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{м}^2} \right).$$

Відповідно до Додатку до Наказу №260 [5] для житлових будівель, 17 і більше поверхнів, розміщених у першій температурній зоні України EP_p становить 70 кВтгод/м².

Підставимо значення у формулу (2.50):

$$\Delta_{EP} = \frac{78,7 - 70}{70} \cdot 100 = 12,4\%.$$

За таблицею 1 Наказу №261 клас енергетичної ефективності будівлі – **D**.

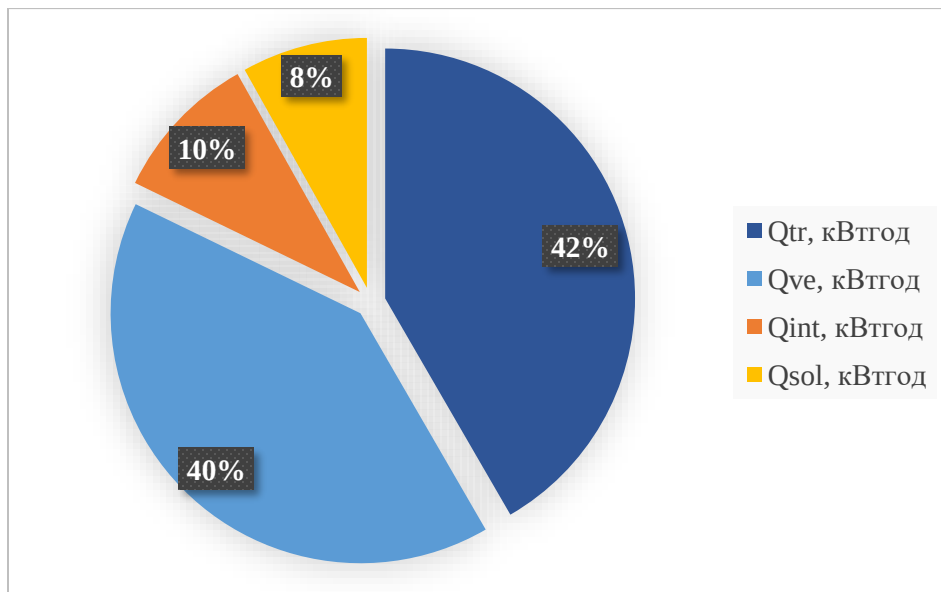


Рисунок 2.3 – Тепловтрати та теплонадходження

Висновки до розділу

В цьому розділі нашої дослідницької роботи ми здійснювали обширні розрахунки, спрямовані на визначення тепловтрат огорожувальних конструкцій. Розрахунки включали в себе оцінку теплових втрат через огорожувальні елементи будівлі, такі як стіни, дах, дверей, підлоги і вікна. Я аналізувала теплові

параметри матеріалів, їхню товщину та ізоляційні властивості, щоб отримати повний обсяг енергетичних втрат через будівельні оболонки. Паралельно ми досліджували системи теплопостачання, водопостачання та каналізації, враховуючи їхній вплив на енергетичний баланс. Однією з ключових задач було визначення енергетичних потреб для опалення та охолодження приміщень. Я аналізувала сезонні зміни, мікрокліматичні умови і стандарти енергоефективності для визначення оптимальних параметрів систем опалення та охолодження. В кінцевому результаті я визначила клас енергоефективності будівлі, враховуючи усі проведені розрахунки та аналізи. Це дозволило мені зробити висновки щодо ефективності використання енергії в даній будівлі та виявити можливості для подальшого вдосконалення.

3 ВИКОРИСТАННЯ ДИНАМІЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЛІ

3.1 Енергетичне моделювання в програмному середовищі DesignBuilder

DesignBuilder було розроблено на основі програмного продукту EnergyPlus, створений для використання дизайнерами та інженерами з метою розробки енергетичних моделей будівель, оцінки їх ефективності та зменшення негативного впливу на навколишнє середовище. Це програмне середовище об'єднує в собі оперативне 3D моделювання будівель із динамічним моделюванням енергії, надаючи високоякісний інструмент для вирішення завдань у сфері будівництва та дизайну [7].

DesignBuilder надає можливість порівнювати будівельні конструкції, використовуючи результати моделювання для визначення оптимальної конфігурації будівель та вибору оптимальних розмірів стін, вікон та інших огорожувальних елементів. Це сприяє більш ефективному використанню енергії. Під час моделювання у цьому програмному продукті можна враховувати ключові фактори, такі як погода, освітлення, використання різноманітної техніки, споживання енергії, якість повітря, температура та рівень шуму. Це дозволяє створити точну та реалістичну модель будівлі з комфортними умовами для проживання та роботи.

Результати моделювання будівлі можуть служити для визначення оптимального розташування об'єкту на ділянці з метою максимально ефективного використання природного освітлення та сонячної енергії. Це сприятиме зменшенню втрат енергії, зниженню негативного впливу на навколишнє середовище, оцінці економічної ефективності проекту та

визначенню найефективніших технологій матеріалів, що дозволить зменшити витрати на експлуатацію будівель та поліпшити їх енергоефективність [7].

В енергетичну модель можна вносити інформацію про конструкційні особливості та теплотехнічні характеристики огорожувальних конструкцій. Для отримання кліматичних даних використовується міжнародний кліматичний файл погоди IWEC. У розділі програми «Activity» для об'єкта можна встановити параметри, які описують режим роботи об'єкту, основні параметри мікроклімату тощо. Після моделювання можна отримати дані щодо розрахункового енергоспоживання будівлі, теплового навантаження, складових теплових втрат та надходжень. Аналіз результатів може проводитися для різних рівнів теплового захисту оболонки, різних інженерних систем та системи повітрообміну.

3.1.1 Розробка енергетичної 3D-моделі житлової будівлі

Початковим етапом роботи у цьому програмному продукті було створення тривимірної моделі будівлі. Це було здійснено шляхом імпорту 2D планів поверхів у форматі .dxf в програму. Далі, в програмі, використовуючи прив'язку до ключових точок креслення .dxf було побудовано об'ємну модель з потрібними висотами для кожного поверху. Результатом цих дій стала будівля, яка представлена на рисунку 3.1.

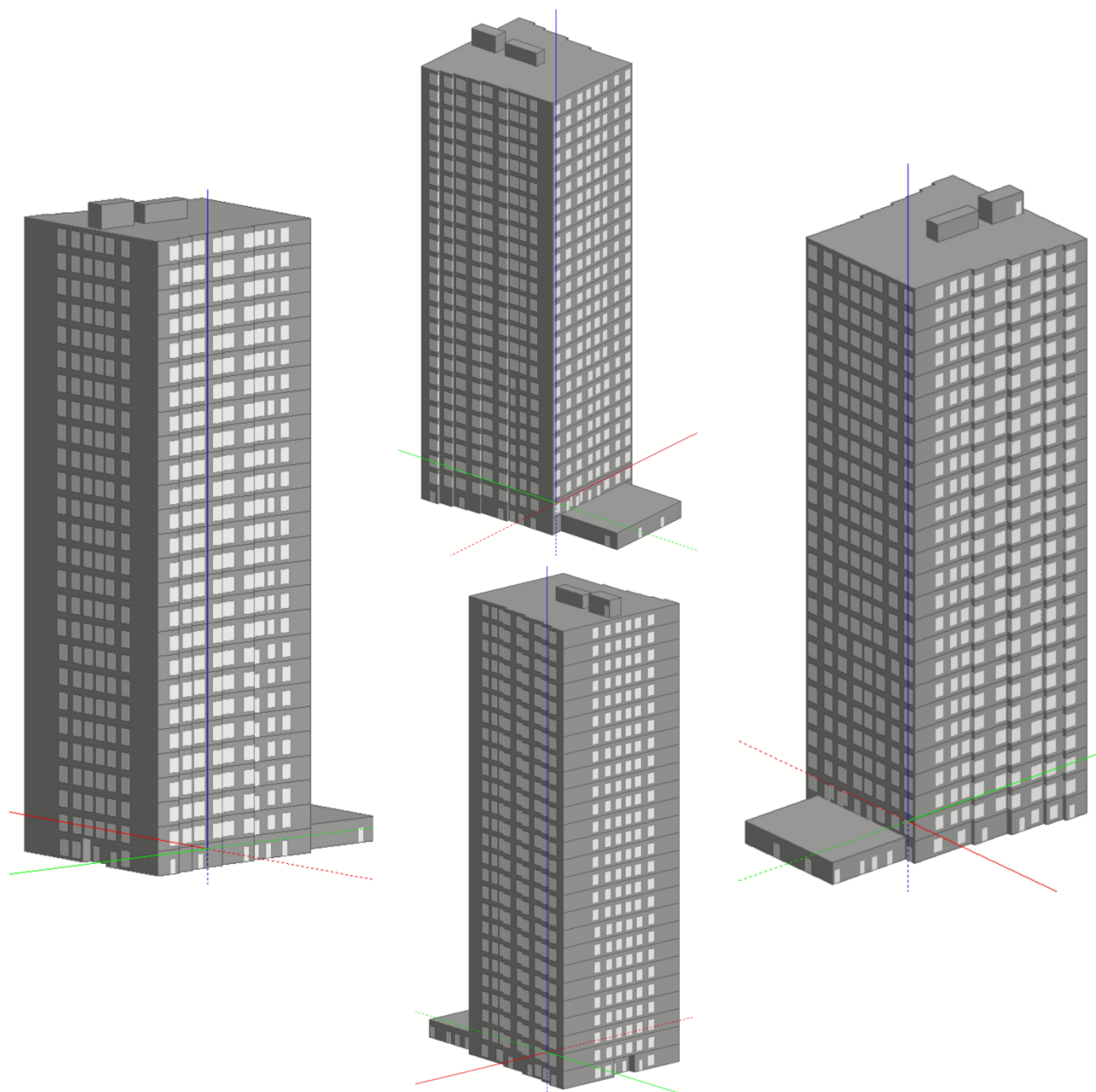


Рисунок 3.1 – 3D модель будинку з усіх сторін світу

Після побудови тривимірної моделі об'єкту, розміщення всіх вікон та дверей, будівля була розділена на зони (рис. 3.2).

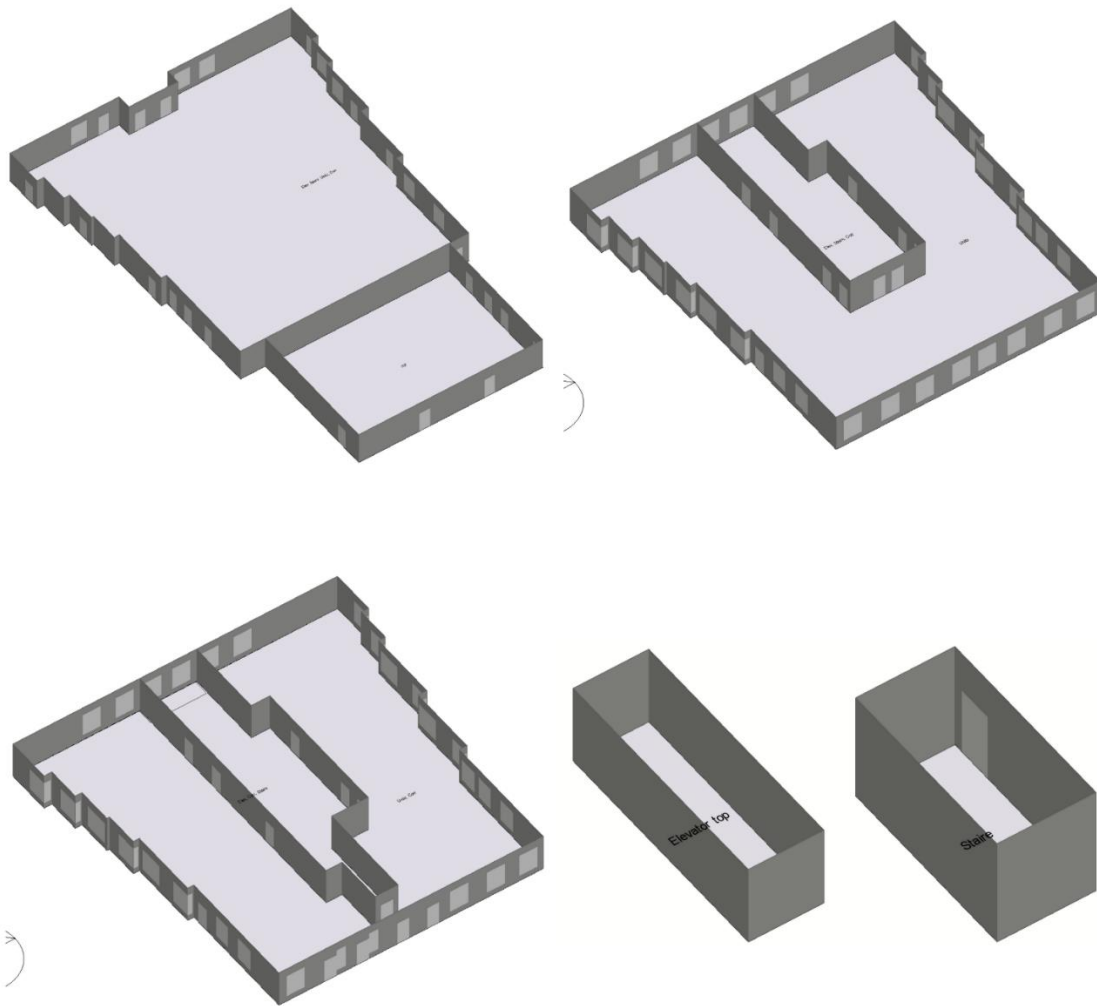


Рисунок 3.2 – Зонування всередині будівлі

В розділі Activity для будівлі було задано параметри Template (тип будівлі), Occupancy density (кількість людей на одиницю площі), Heating and Cooling temperatures (температура опалення та охолодження), Power density (потужність для обладнання на одиницю площі) (рис. 3.3).

Тип будівлі, з точки зору експлуатації, обрано “TM59_SingleBedroom”, кількість людей було розраховано та задано на рівні 0,025 людей/м². Температури на опалення, охолодження та чергових режимів для опалення та охолодження

були обрані з ДСТУ 9190:2022 [15] для багатоквартирних будинків. Розрахункова температура в опалювальний період становить 20°C, температура чергового режиму опалення – 17°C, температура в період охолодження – 26°C, потужність електрично обладнання відповідно до ДСТУ 9190:2022 становить 2 Вт/м².

The screenshot shows the 'Activity Template' window with the following settings:

- Activity Template:** TM59_SingleBedroom
- Sector:** Residential spaces
- Zone multiplier:** 1
- ☒ Include zone in thermal calculations
- ☒ Include zone in Radiance daylighting calculations
- Floor Areas and Volumes:** (collapsed)
- Occupancy:**
 - ☒ Occupied?
 - Occupancy density (people/m2):** 0.0250
 - Schedule:** TM59_SingleBed_Occ
 - Metabolic: (collapsed)
 - Clothing: (collapsed)
 - Comfort Radiant Temperature Weighting: (collapsed)
 - Air Velocity: (collapsed)
- Contaminant Generation and Removal:** (collapsed)
- Holidays:** (collapsed)
- DHW:** (collapsed)
- Environmental Control:**
 - Heating Setpoint Temperatures:**
 - Heating (°C):** 20.0
 - Heating set back (°C):** 17.0
 - Cooling Setpoint Temperatures:**
 - Cooling (°C):** 26.0
 - Cooling set back (°C):** 26.0
 - Humidity Control: (collapsed)
 - Ventilation Setpoint Temperatures: (collapsed)
 - Minimum Fresh Air: (collapsed)
 - Lighting: (collapsed)
- Computers:** (collapsed)
- Office Equipment:**
 - ☒ On
 - Power density (W/m2):** 2.00
 - Schedule:** TM59_SingleBed_Equip
 - Radiant fraction:** 0.200
- Miscellaneous:** (collapsed)
- Catering:** (collapsed)
- Process:** (collapsed)

Рисунок 3.3 – Заповнення вкладки Activity у програмному середовищі

Модель фактичного (actual) енергетичного використання

У вкладці Construction (рис. 3.4) були задані огорожувальні конструкції для: зовнішніх стін (Exterior Wall), даху (Roof), внутрішніх стін (Interior Wall), підлоги по ґрунту (Ground floor), зовнішньої підлоги, яка контактує з повітрям (External Floor), зовнішні двері (Exterior Doors) та кратність повітрообміну (Constant rate), яка становить 0,4 год⁻¹.



Рисунок 3.4 – Перелік ОК, що пропонуються для заповнення

На рисунку 3.5 зображено метод заповнення шарів конструкції для зовнішньої стіни. Використовувалися теплотехнічні характеристики шарів, визначені у п. 2.1.1 та 2.1.2. Густина та теплоємність обиралися за ДСТУ 9191:2022.

The screenshot displays a software interface for defining the properties of an exterior wall. The main window is titled 'General' and shows the 'Exterior Wall' configuration. The 'Definition' section indicates a '1-Layers' definition method. The 'Layers' section lists three layers: 'Outermost layer' (Polystyrene Wall, 0.1400 m), 'Layer 2' (Cement-sand mortar Wall, 0.0050 m), and 'Innermost layer' (Monolithic Concrete Wall, 0.2000 m). The 'Materials' section at the bottom provides detailed properties for the 'Polystyrene Wall' material, including thermal bulk properties (conductivity, specific heat, density) and resistance (R-value, vapour resistance, moisture transfer). A secondary panel on the right shows 'Material Layer Thickness' and 'Thermal Properties' for the same material, including detailed properties like thermal bulk properties, vapour resistance, and moisture transfer. The 'Radiance Daylighting' section lists material class, absorbance, reflectance, specular, roughness, transmissivity, and fraction diffused. The 'Green Roof' section shows 'Green roof' set to 'No'. The 'Embodied Carbon' section shows 'Embodied carbon data available' as 'Yes' and 'Embodied carbon (kgCO2...)' as '2.70'. The 'Phase Change Properties' section shows 'Phase change material' as 'No'. The 'Cost' section shows 'Cost type' as '1-Cost per sur' and 'Cost per surface area (GBP/...)' as '5.000'.

General

Name Exterior Wall

Source

Category Walls

Region UKRAINE

Colour

Definition

Definition method 1-Layers

Calculation Settings

Layers

Number of layers 3

Outermost layer

Material Polystyrene Wall

Thickness (m) 0.1400

☐ Bridged?

Layer 2

Material Cement-sand mortar Wall

Thickness (m) 0.0050

☐ Bridged?

Innermost layer

Material Monolithic Concrete Wall

Thickness (m) 0.2000

☐ Bridged?

Materials

General Surface properties Green roof Embodied carbon Phase change Cost

General

Name Polystyrene Wall

Description

Source ISO 10456

Category Plastics, solid

Region General

Material Layer Thickness

☐ Force thickness

Thermal Properties

Detailed properties

Thermal Bulk Properties

Conductivity (W/m-K) 0.0550

Specific Heat (J/kg-K) 1340.00

Density (kg/m3) 15.00

Resistance (R-value)

Vapour Resistance

Moisture Transfer

Material Layer Thickness

Force thickness No

Thermal Properties

Detailed properties Yes

Thermal Bulk Properties

Conductivity (W/m-K) 0.0550

Specific Heat (J/kg-K) 1340.00

Density (kg/m3) 15.00

Resistance (R-value) No

Vapour Resistance

Vapour resistance definition 1-Factor

Vapour factor 100000

Vapour resistivity (MN/g.m) 10

Moisture Transfer

Include moisture transfer sett... No

Surface Properties

Thermal absorbance (emis...) 0.9000000

Solar absorbance 0.700

Visible absorbance 0.700

Roughness 3-Rough

Colour

Texture Light grey

Radiance Daylighting

Material class 1-Plastic

Absorbance 0.700

Reflectance 0.300

Specularity 0.000

Roughness 0.000

Transmissivity 0.000

Fraction diffused 0.000

Green Roof

Green roof No

Embodied Carbon

Embodied carbon data avail... Yes

Embodied carbon (kgCO2... 2.70

Conversion factor name General Purp

Source ICE v1.6

Assumption / factor bound... Cradle to get

Equivalent carbon data av... Yes

Equivalent carbon (kgCO2... 3.52

Phase Change Properties

Phase change material No

Cost

Cost type 1-Cost per sur

Cost per surface area (GBP/... 5.000

Cost per mass (GBP/kg) 1.000

Cost per volume (GBP/m3) 500.000

Рисунок 3.5 – Приклад заповнення шарів для зовнішньої стіни.

На вкладці Openings (рис. 3.6) було задано коефіцієнт теплопередачі U-value для вікон (включаючи раму та скління), який було розраховано у п. 2.1.2.

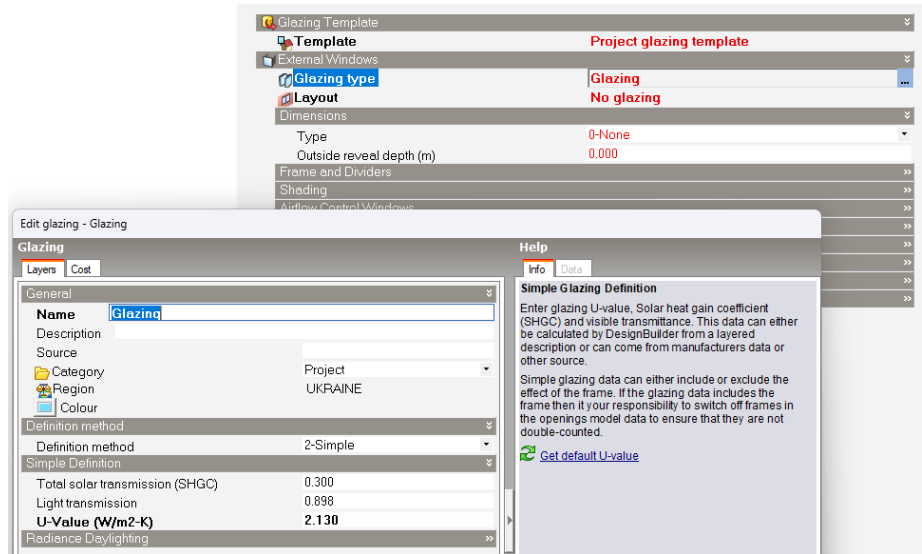


Рисунок 3.6 – Задання U-value для вікон

На вкладці Lighting (рис. 3.7) задано потужність обладнання, яка відповідно до ДСТУ 9190:2022 [15] становить 2 Вт/м² для багатоквартирного будинку.

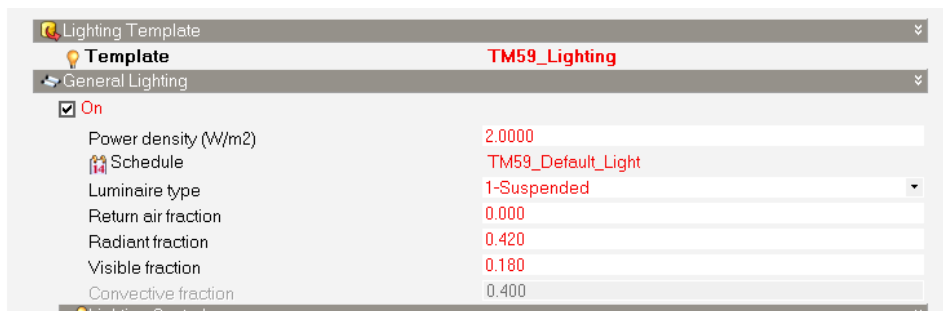


Рисунок 3.7 – заповнення вкладки Lighting

На вкладці HVAC (рис. 3.8) було задано тип інженерної системи теплопостачання – HW Convectors, Nat Vent (водяні конвектори та природня вентиляція). Так як програма не має опції централізованого теплопостачання, для опалення було задано природний газ в якості джерела теплопостачання з коефіцієнтом ефективності $CoP = 0,7$. Для охолодження була задана електрика, як паливо, з $CoP = 2,25$. Для ГВП $CoP = 0,9$ з тим самим джерелом, що і для

теплопостачання. Температура подачі гарячої води становить 55°C, температура холодної – 10°C.

The screenshot displays a software interface for configuring an HVAC system. The interface is organized into a hierarchical tree on the left and a detailed configuration panel on the right.

- HVAC Template** (Expanded)
 - Template** (Expanded)
 - HW Convectors, Nat Vent**
 - Mechanical Ventilation**
 - Auxiliary Energy**
 - Heating** (Expanded)
 - ☒ **Heated**
 - Fuel**: 2-Natural Gas
 - Heating system seasonal CoP**: 0.700
 - Type**
 - Operation**
 - Schedule**: TM53_DomBed_Heat
 - Cooling** (Expanded)
 - ☒ **Cooled**
 - Cooling system**: Default
 - Fuel**: 1-Electricity from grid
 - Cooling system seasonal CoP**: 2.250
 - Supply Air Condition**
 - Operation**
 - Schedule**: Dwell_DomBed_Cool
 - Humidity Control**
 - DHW** (Expanded)
 - ☒ **On**
 - DHW Template**: Project DHW
 - Type**: 4-Instantaneous hot water only
 - DHW CoP**: 0.9000
 - Fuel**: 2-Natural Gas
 - Water Temperatures**
 - Delivery temperature (°C)**: 55.00
 - Mains supply temperature (°C)**: 10.00
 - Operation**
 - Schedule**: Dwell_DomCommonAreas_Occ
 - Natural Ventilation**

Рисунок 3.8 – Заповнення вкладки HVAC

В ході моделювання було створено реальну модель будинку, враховуючи фактичні характеристики його інженерних систем, огорожувальних конструкцій та умов експлуатації (з урахуванням недотримання нормативних температур та вимог до повітрообміну) (модель actual). Розроблену модель було адаптовано до базового варіанту, який відповідає встановленим нормативам (модель baseline), а також до запропонованого варіанту (модель proposed), що включає запропоновані заходи з енергозбереження. Результати моделювання для кожної моделі представлені в п. 3.1.2.

3.1.2 Аналіз енергетичних показників будівлі

Модель фактичного (actual) енергетичного використання

Після проведення моделювання фактичного стану об'єкту магістерської дисертації були отримані результати річної енергопотреби, які показані на рисунку 3.9.

End Uses

	Electricity [kWh]	Natural Gas [kWh]	Gasoline [kWh]	Diesel [kWh]	Coal [kWh]	Fuel Oil No 1 [kWh]	Fuel Oil No 2 [kWh]	Propane [kWh]	Other Fuel 1 [kWh]	Other Fuel 2 [kWh]	District Cooling [kWh]	District Heating [kWh]	Water [m3]
Heating	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	817406.66	0.00
Cooling	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	96051.16	0.00	0.00
Interior Lighting	66673.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Lighting	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Interior Equipment	202909.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Equipment	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fans	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pumps	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Rejection	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Humidification	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Recovery	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Water Systems	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	116804.95	0.00
Refrigeration	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Generators	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total End Uses	269582.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	96051.16	934211.61	2235.50

Note: District heat appears to be the principal heating source based on energy usage.

Рисунок 3.9 – Результати моделювання річної енергопотреби

Також отримано графіки, які описують тепловий баланс будівлі (внутрішні та сонячні теплонадходження) (рис. 3.10), загальна кількість палива (рис. 3.11), розподіл палива помісячно (рис. 3.12).

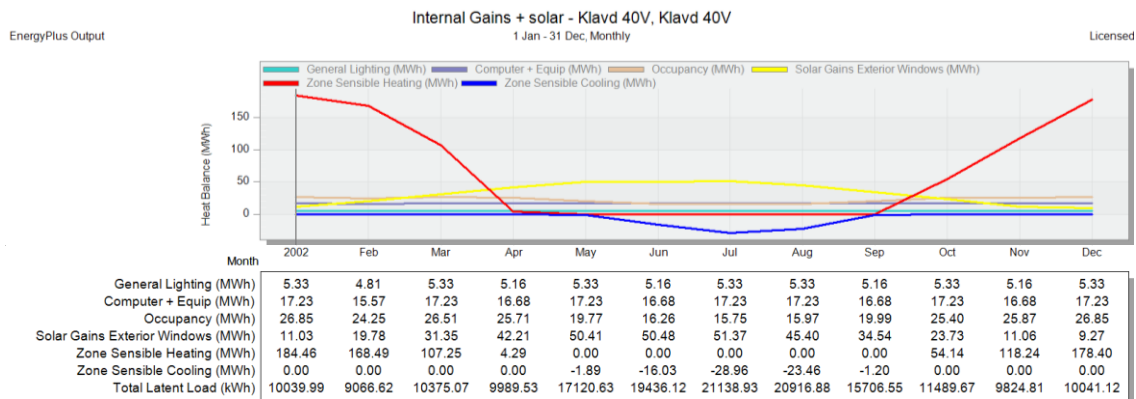


Рисунок 3.10 – Результати моделювання внутрішніх та сонячних теплонадходжень

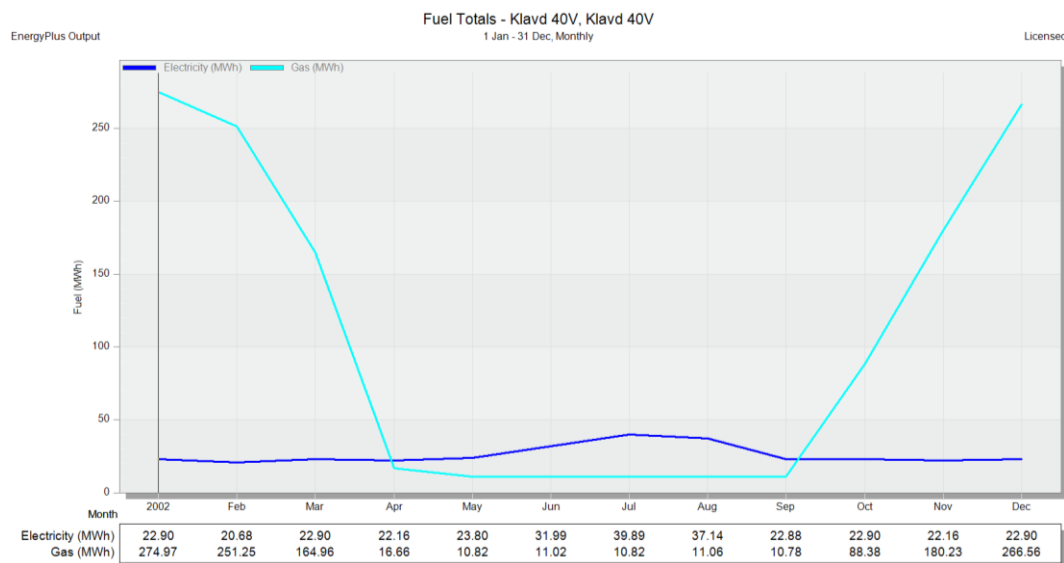


Рисунок 3.11 – Результати моделювання загальної кількості

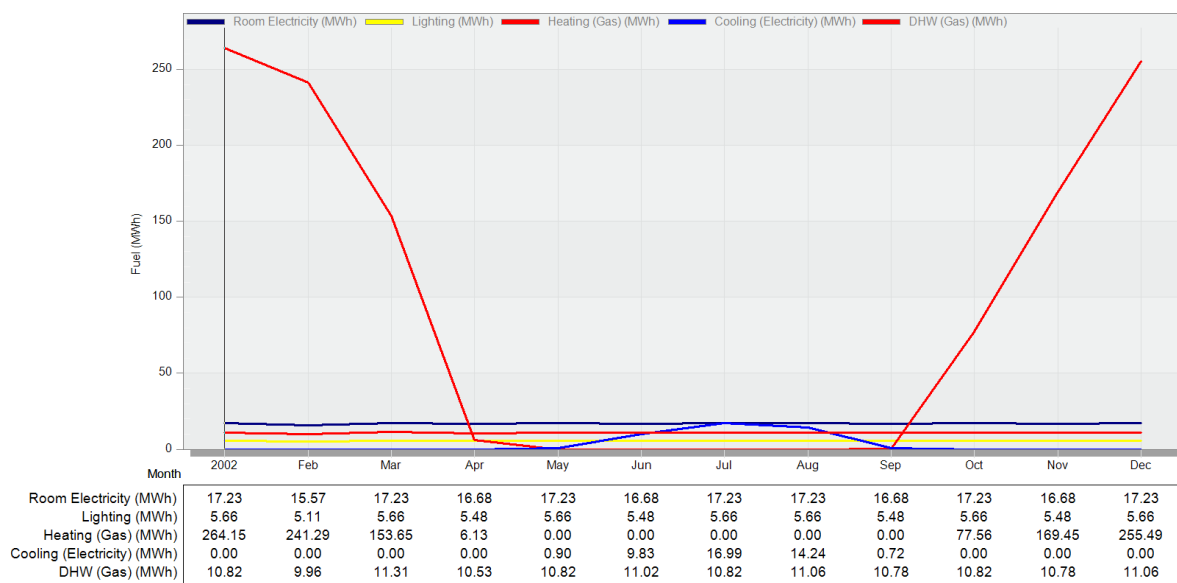


Рисунок 3.12 – Результати моделювання розподілу палива помісячно

Аналізуючи результати рисунку 3.12, ми бачимо, що основне навантаження на систему опалення спостерігається під час опалювального періоду в найхолодніших місяцях – грудні та січні.

Слід зауважити, що модель наближено відтворює реальний стан будівлі, оскільки відхилення в обсязі теплого споживання становить приблизно 14,7% в порівнянні з історичними значеннями.

Модель базового (baseline) енергетичного використання

Для об'єктивних оцінок енергетичної ефективності будівлі, треба привести всі фактичні параметри приміщення до їх нормативних вимог. Таким чином була розроблена енергетична модель будівлі з базовим (baseline) рівнем використання енергії. Для створення базової моделі, фактична модель була вдосконалена, шляхом встановлення інфільтраційної складової, на вкладці Construction, на рівні $0,15 \text{ год}^{-1}$, та додання примусової вентиляцію за експлуатаційним графіком з кратністю повітрообміну $0,4 \text{ год}^{-1}$ на вкладці HVAC.

Провівши симуляцію розробленої моделі, було отримано дані стосовно річної енергопотреби, що представлені на рисунку 3.13 та відповідні результати у вигляді графіків (рис. 3.14 – 3.16).

End Uses

	Electricity [kWh]	Natural Gas [kWh]	Gasoline [kWh]	Diesel [kWh]	Coal [kWh]	Fuel Oil No 1 [kWh]	Fuel Oil No 2 [kWh]	Propane [kWh]	Other Fuel 1 [kWh]	Other Fuel 2 [kWh]	District Cooling [kWh]	District Heating [kWh]	Water [m3]
Heating	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	926919.05	0.00
Cooling	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	79844.19	0.00	0.00
Interior Lighting	66673.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Lighting	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Interior Equipment	202909.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Equipment	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fans	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pumps	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Rejection	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Humidification	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Recovery	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Water Systems	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	116804.95	2235.50
Refrigeration	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Generators	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total End Uses	269582.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	79844.19	1043724.00	2235.50

Note: District heat appears to be the principal heating source based on energy usage.

Рисунок 3.13 – Результати симуляції загального енергоспоживання за рік

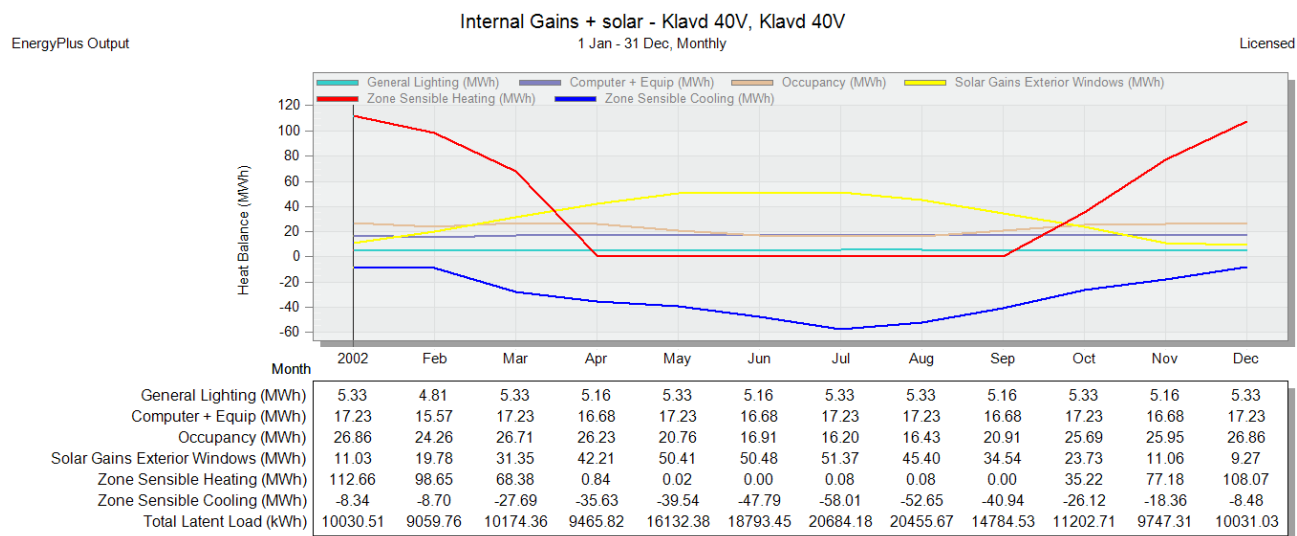


Рисунок 3.14 – Результати внутрішніх та сонячних надходжень

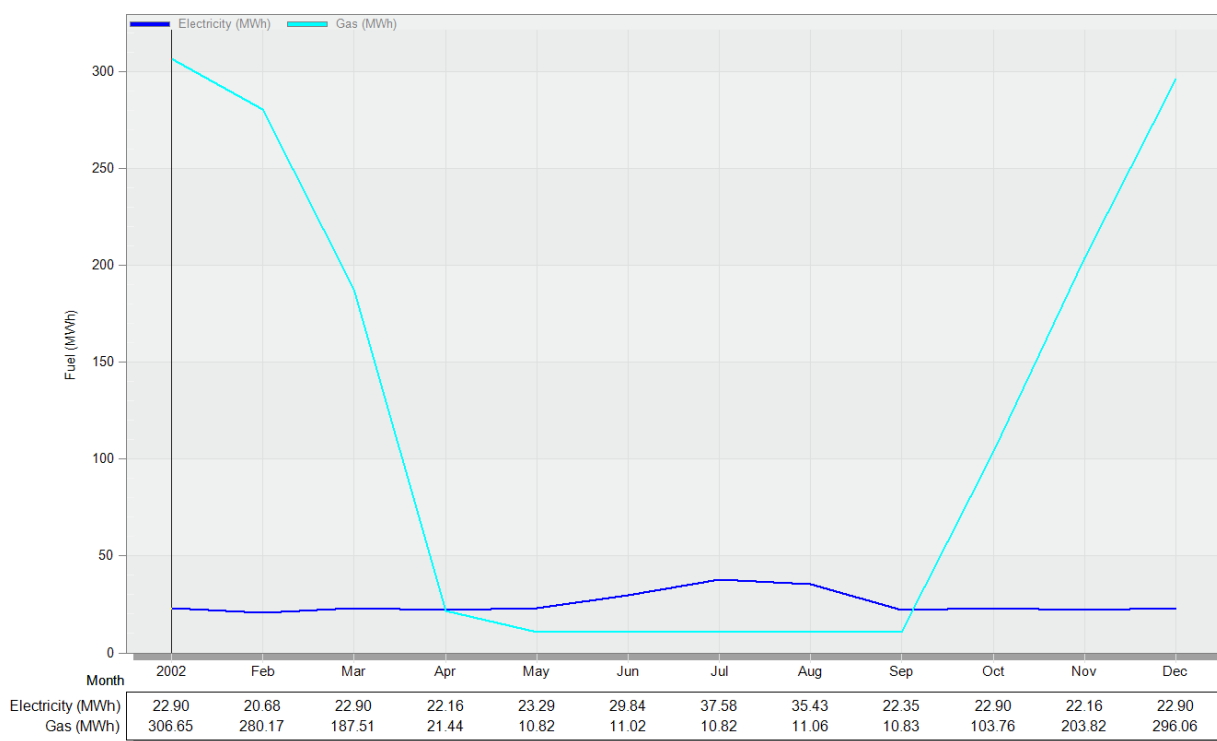


Рисунок 3.15 – Результати симуляції загальної кількості палива

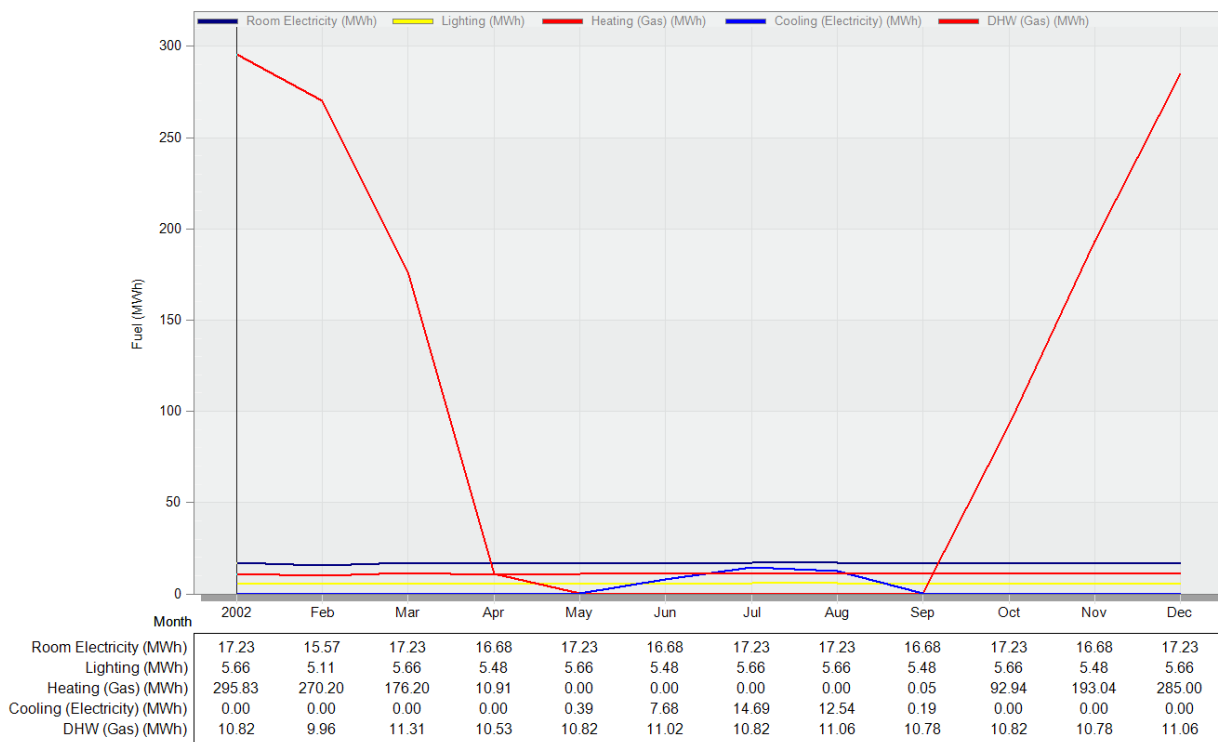


Рисунок 3.16 – Результати симуляції розподілу палива помісячно

Аналізуючи річні споживання, варто відзначити, що зменшилось навантаження на охолодження, а для опалення навантаження навпаки збільшилось у порівнянні з фактичною моделлю. Це зумовлено тим, що вірогідніше за все в будівлі фактично не витримуються вимоги щодо нормативного повітрообміну, тому відповідність вимогам суттєво збільшила енергопотребу те енергоспоживання будівлі на потреби опалення.

Модель запропонованого (proposed) енергетичного використання

Щоб визначити можливі шляхи для покращення рівня енергоефективності житлової багатоповерхової будівлі, було розроблено запропоновану (proposed) модель енергетичного використання.

Для створення даної моделі було модифіковано базову модель шляхом застосування наступних заходів:

- балансування системи опалення;

— заміна світлопрозорих конструкцій (вікон);

— утеплення зовнішніх стін;

— утеплення покриття даху;

— встановлення приточно-витяжних вентиляційних пристроїв з утилізацією теплоти в квартирах.

На рисунку 3.17-3.20 показані результати симуляції енергопотреби за рік і результати симуляції розподілу палива по місяцях для моделі запропонованого (proposed) енергетичного використання після застосування всіх заходів, які стосуються підвищення енергоефективності використання теплової енергії.

End Uses

	Electricity [kWh]	Natural Gas [kWh]	Gasoline [kWh]	Diesel [kWh]	Coal [kWh]	Fuel Oil No 1 [kWh]	Fuel Oil No 2 [kWh]	Propane [kWh]	Other Fuel 1 [kWh]	Other Fuel 2 [kWh]	District Cooling [kWh]	District Heating [kWh]	Water [m3]
Heating	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	457430.13	0.00
Cooling	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	144964.99	0.00	0.00
Interior Lighting	66673.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Lighting	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Interior Equipment	202909.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Equipment	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fans	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pumps	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Rejection	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Humidification	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Recovery	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Water Systems	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	116804.95	2235.50
Refrigeration	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Generators	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total End Uses	269582.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	144964.99	574235.08	2235.50

Note: District heat appears to be the principal heating source based on energy usage.

Рисунок 3.17 – Результати симуляції загального енергоспоживання за рік

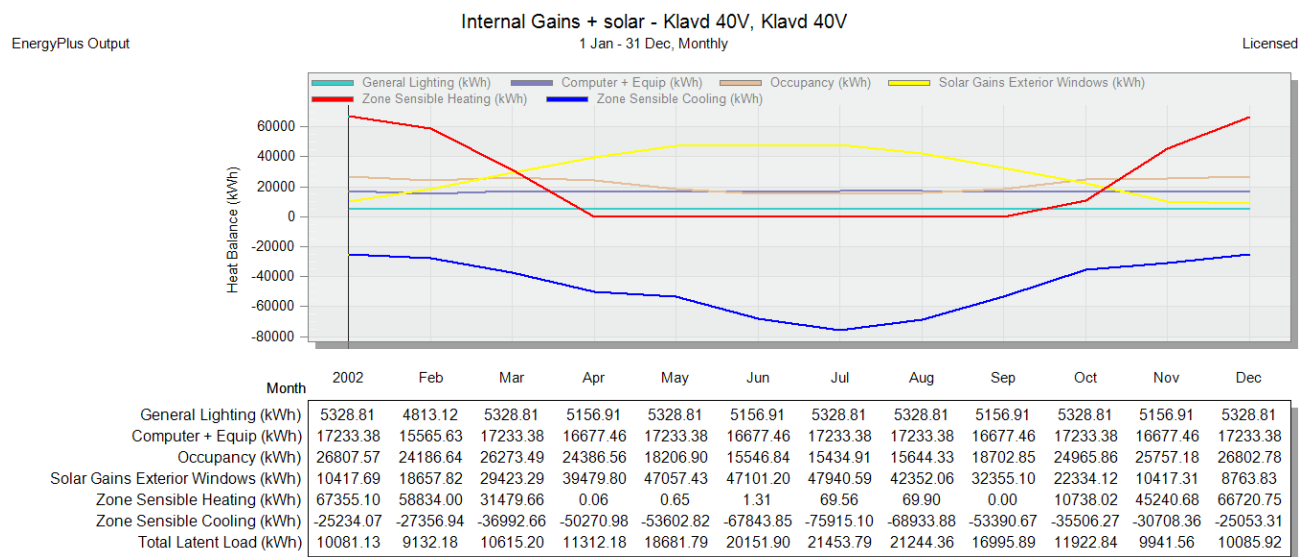


Рисунок 3.18 – Результати внутрішніх та сонячних надходжень

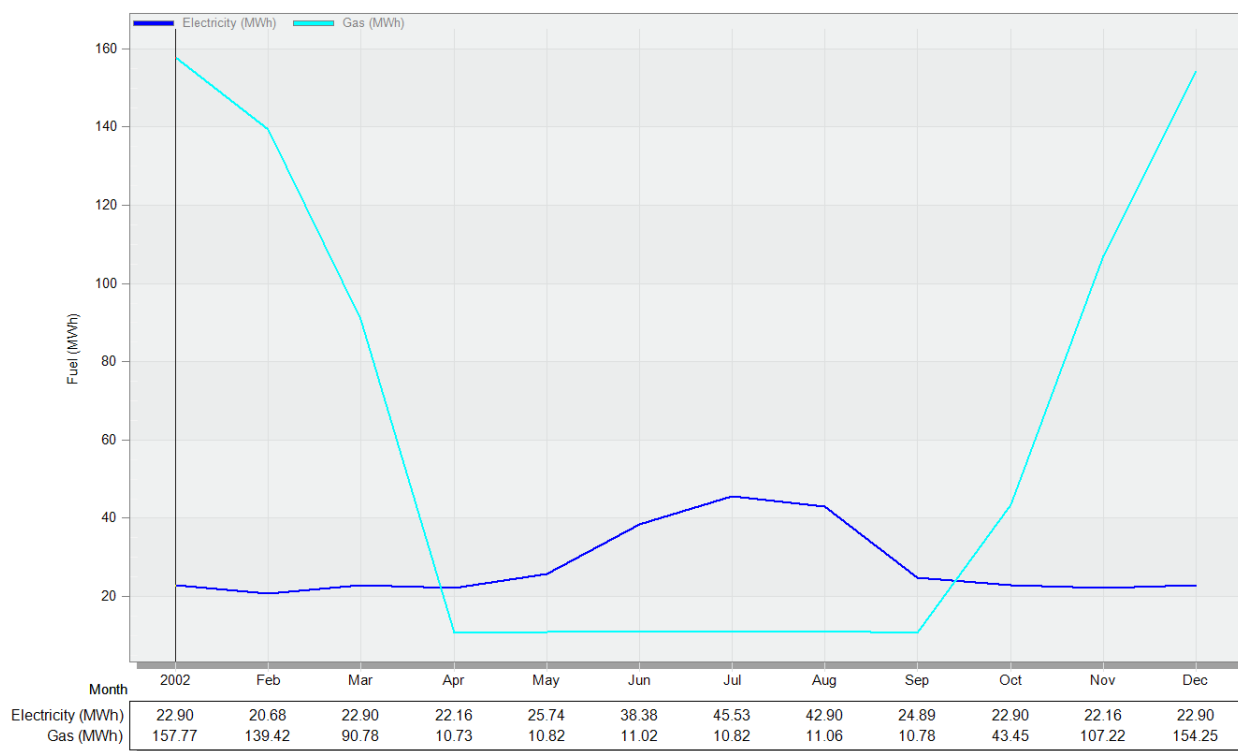


Рисунок 3.19 – Результати симуляції загальної кількості палива

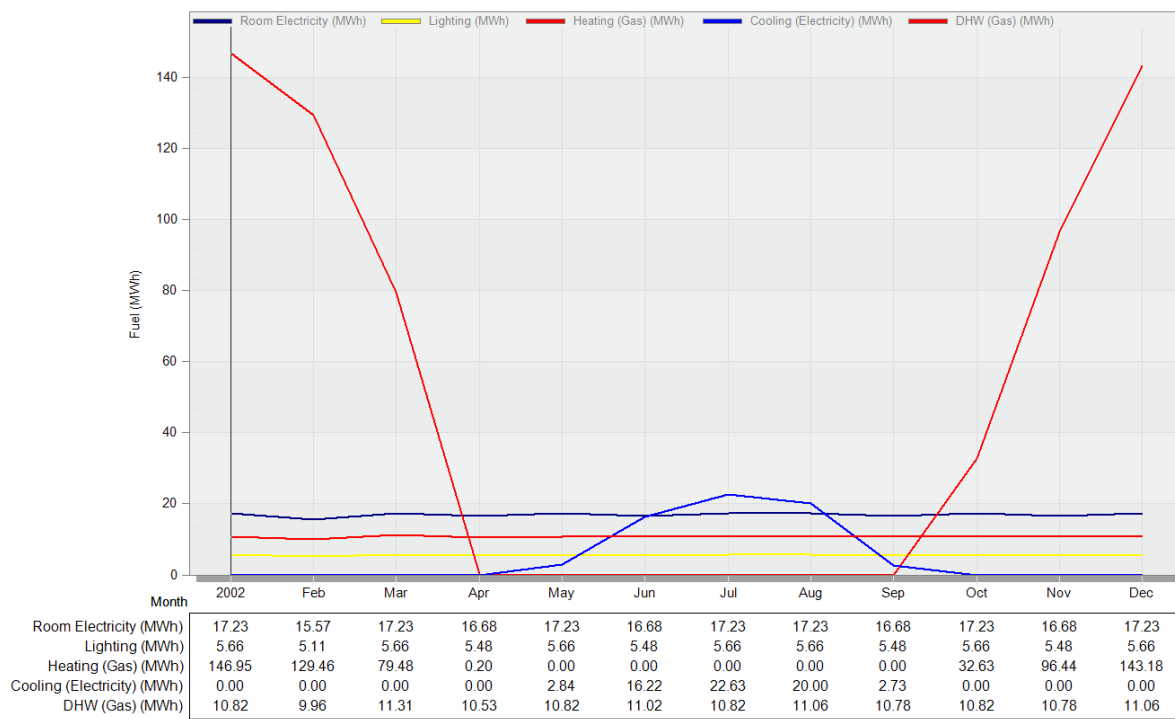


Рисунок 3.20 – Результати симуляції розподілу палива по місяцях

З результатів річного споживання можна побачити, що споживання тепла після впровадження усіх заходів з енергозбереження та встановлення рекуперації тепла, зменшилось приблизно у 2 рази, також це можна побачити на графіку розподіла палива.

Порівняння результатів 3-х моделей

Для порівняння зроблених моделей об'єкту, значення енергоспоживання на потреби опалення були зведені у таблицю 3.1. Також у дану таблицю додані фактичне річне споживання тепла за загальнобудинковим лічильником та розрахункове за ДСТУ 9190:2022.

Таблиця 3.1 – Порівняння моделей за річним теплоспоживання

Модель	Історична	Розрахункова	Actual	Baseline	Proposed
Значення, ГВт·год	1,02	1,18	1,17	1,32	0,63
Значення, Гкал	877,73	1012,51	1004,06	1138,58	628338
Значення, кВт·год/м ²	65,5	75,6	75	85	40,3
Відхилення, %	0	15,4	14,5	29,8	Від «Baseline» (-52,5) Від «Історична» (-38,4)

3.1.3 Дослідження потенціалу для підвищення енергетичної ефективності будівлі

Балансування системи опалення

Першим заходом для підвищення енергоефективності будівлі є балансування системи опалення. Пропонується встановити автоматичні балансувальні клапани від фірми Danfoss ASV, які виступають регуляторами перепаду тиску та застосовуються для гідравлічного балансування в трубопровідних системах із змінною витратою. Автоматичний балансувальний клапан ASV-PV використовують у парі із запірним клапаном ASV-M. Клапан ASV-PV має синю рукоятку та монтується на зворотному трубопроводі системи, клапан ASV-M має червону рукоятку й встановлюється на подавальному трубопроводі. Орієнтовні інвестиції для реалізації заходу складають 842 400 грн за 117 клапанів на 234 квартири.

Для здійснення балансування, в DesignBuilder на вкладці HVAC для запропонованої моделі було змінено CoP з 0,7 до 0,728. Саме така різниця відповідає економії, отриманій при визначенні впливу балансування системи опалення на енергоспоживання будівлі за ДСТУ 9190:2022.

Економія теплоти складає 51 000 кВт·год або 43,9 Гкал. Економія в грошах знаходиться як економія теплоти помножена на ціну за 1 Гкал теплоти. Тариф на опалення будинку становить 2659,1 грн/Гкал. Отже економія буде складати 116607,1 грн. Термін окупності розраховується як інвестиції поділене на економію в грошах, а отже окупність буде складати 7,2 роки.

Заміна світлопрозорих конструкцій (вікон)

Другим заходом по вдосконаленню будівлі стає заміна вікон на більш енергоефективні. Фактичний опір теплопередачі наявних 76,5% світлопрозорих конструкцій будівлі не відповідає нормативному, пропонується їх замінити на конструкції з п'ятикамерним ПВХ профілем та двокамерним енергозберігаючим склопакетом із селективним покриттям та газовим наповненням. За ДБН В.2.6-31:2021 [2] R-value для світлопрозорих конструкцій для першої кліматичної зони повинно становити 0,9 (м²·К)/Вт, тобто U-value повинно бути не більше 1,1 Вт/(м²·К). Вікно, яке підходить цим критеріям є 6-камерне вікно від виробника Salamander Industrie, U-value для якого становить 0,8 Вт/(м²·К). Формула склопакету: 4i-20ar-4i-20ar-4i.

Для здійснення заміни вікон, в DesignBuilder у вкладці Openings для світлопрозорих конструкцій U-value було змінено з 2,13 на 0,8.

Встановивши ці вікна економія теплоти складатиме 346 237 кВт·год або 297,7 Гкал. Економія в грошах складатиме 791 641 грн. Інвестиції на проведення заходу становлять 9 021 600 грн. Термін окупності заходу – 11,4 роки.

Утеплення стін додавши товщину шару пінопласту

Наступним заходом є утеплення стін, тобто збільшивши товщину пінополістиролу. Інвестиції для цього заходу складають 3227895 грн. Економія становитиме 73,4 Гкал. Економія в грошах становитиме 195209,5 грн. Термін окупності складе 16,5 роки.

Для утеплення стін, в DesignBuilder у вкладці Construction для зовнішніх стін у шарі пінополістиролу було змінено U-value з 0,37 до 0,22.

Утеплення даху додавши товщину шару пінопласту

Утеплення даху також відбудеться через збільшення товщини пінопласту. Економія теплоти від заходу складатиме 4,9 Гкал. Економія в грошах становитиме 13137,7 грн. Інвестиції для цього заходу складають 245880 грн. Термін окупності складатиме 18,7 роки.

Для утеплення даху, в DesignBuilder у вкладці Construction для даху у шарі пінополістиролу було змінено U-value з 0,26 до 0,16.

Встановлення приточно-витяжних вентиляційних пристроїв з утилізацією теплоти

Оскільки природня вентиляція не забезпечує необхідну кратність повітрообміну, пропонується встановити механічну систему вентиляції з енергоефективною приточно-витяжною установкою. Планується встановити установку ВУЕ 100 П міні. Економія теплоти від встановлення установки становитиме 360 Гкал. Економія в грошах буде 958607,6 грн. Інвестиції для заходу складають 10360350 грн. Термін окупності заходу відповідає 10,8 роки.

В DesignBuilder для кожної квартири була запроваджена покращена рекуперація тепла. Для цього для кожної зони квартир у моделі у вкладці HVAC було додано рекуперацію зі значенням 0,5.

Встановлення сонячних панелей

В рамках реалізації заходу пропонується встановити 112 модулів JAM66S30-500/MR та 1 інвертор SUN2000-50KTL-M0 (400Vac). Орієнтовна інвестиція складатиме 358305^{грн}. Розрахунковий тариф для споживачів приймемо 1,68 грн/кВтгод. Таким чином економія в грошах буде складати

15533,3 грн. Економія енергії складає 9246 кВтгод. Термін окупності заходу складе 23,1 роки. Детальна інформація щодо даного заходу представлена у розділі 3.2.

У таблиці 3.2 представлено потенціал застосування кожного із заходів.

Таблиця 3.2 – Енергетичні та економічні показники енергоефективних заходів

№	Захід	Економія енергії		Економія коштів		Інвестиції	Простий термін окупності
		кВтгод	кВтгод/м ²	грн	грн/м ²	грн	роки
1	Балансування системи опалення	51000	3,3	116 607	7,5	842 400	7,2
2	Заміна світлопрозорих конструкцій	346 237	22,2	791 641	50,8	9 021 600	11,4
3	Утеплення зовнішніх стін	85 378	5,5	195 210	12,5	3 227 895	16,5
4	Утеплення покриття даху	5 746	0,4	13 138	0,8	245 880	18,7
5	Встановлення приточно-витяжних пристроїв з рекуперацією тепла в квартирах	419 262,4	26,9	958 608	61,5	10 360 350	10,8
6	Встановлення сонячних панелей на даху для покриття потреб освітлення МЗК	9 246	0,6	15 533	1	358 305	23,1

3.2 Енергетичне моделювання сонячної електростанції на даху будівлі в програмному середовищі PV*SOL premium

Програма PV*Sol [13] - це програмне забезпечення для професійного проектування та моделювання сонячних енергетичних систем. Розроблене фахівцями у сфері відновлювальних джерел енергії, це програмне забезпечення надає широкий набір інструментів для розрахунків та аналізу фотовольтних установок.

PV*Sol дозволяє створювати професійні проекти сонячних енергетичних систем для різних типів будівель та конструкцій. Цей програмний продукт виступає важливим інструментом для фахівців у сфері відновлювальної енергії, інженерів та архітекторів, які займаються проектуванням та впровадженням сонячних енергетичних рішень. Основні функції PV*Sol включають в себе аналіз потенціалу сонячної енергії в конкретному регіоні, розрахунки ефективності сонячних панелей, оцінку виробництва електроенергії та фінансових параметрів проекту.

Програма враховує різноманітні фактори, що дозволяє точно прогнозувати виробництво електроенергії для сонячних енергетичних систем. Один із ключових аспектів є географічне розташування. Враховуючи широту та довготу місця розташування сонячних панелей, програма здатна точно визначити сонячну інсоляцію та інтенсивність сонячного випромінювання в конкретному регіоні. Додатково, програма враховує нахил та орієнтацію сонячних панелей. Це важливо, оскільки правильне розташування панелей є ключовим фактором для максимізації їхньої ефективності. PV*Sol надає можливість моделювати різні конфігурації та експериментувати з кутами нахилу і орієнтацією, щоб знайти оптимальне рішення для конкретної ситуації. Ці функції дозволяють фахівцям з

сонячної енергетики та інженерам з енергетичного проектування точно визначати очікуване виробництво електроенергії для певного сонячного проекту.

Програма дозволяє користувачам проводити детальний аналіз витрат та вигідності фотовольтичних проектів, враховуючи різноманітні фінансові аспекти. Один із ключових етапів при вирішенні питання про встановлення сонячної енергетичної системи є розуміння економічної ефективності та потенційного прибутку. Користувачі можуть вводити різні фінансові параметри, такі як вартість обладнання, витрати на установку та обслуговування, а також враховувати потенційний прибуток від виробництва електроенергії. Програма автоматично розраховує різні показники ефективності, такі як повернення інвестицій (ROI), період окупності та чистий тепловий коефіцієнт (NTC), що дозволяє користувачам отримати об'єктивний вигляд на фінансову сторону свого сонячного проекту. Такий фінансовий аналіз є важливим етапом в процесі прийняття рішення щодо встановлення сонячної енергетичної системи. Враховуючи різні витрати та потенційний дохід, користувачі можуть здійснювати обґрунтовані вибори, оптимізуючи свої інвестиції та досягаючи максимальної ефективності свого сонячного проекту.

PV*Sol дозволяє визначити оптимальне розміщення сонячних панелей з метою максимального збору сонячної енергії. Це є важливим етапом у проектуванні фотовольтичних систем, оскільки правильне розташування панелей впливає на їхню ефективність та виробництво електроенергії. Користувачі можуть моделювати різні сценарії, експериментуючи з кутами нахилу та орієнтацією панелей для забезпечення максимального використання сонячного потенціалу у конкретному місці.

Програма враховує можливості використання систем зберігання енергії, щоб оптимізувати використання виробленої електроенергії. Із зростанням інтересу до сонячних енергетичних систем, важливо не лише ефективно

виробляти електроенергію, але й забезпечити її ефективне використання в будь-який час, навіть коли сонце не сяє. Програма надає користувачам можливість моделювати та розраховувати вигоди від використання систем зберігання енергії, таких як акумулятори. Користувачі можуть визначити оптимальні режими роботи, щоб забезпечити накопичення енергії у періоди високого виробництва (наприклад, сонячні дні) та використовувати її в періоди менш інтенсивної сонячної активності або в нічний час. Засоби моделювання систем зберігання дозволяють фахівцям з енергетичного проектування та інженерам розробляти сонячні енергетичні системи з інтегрованими рішеннями зберігання, що підвищує надійність та ефективність енергетичних систем у відсутність сонячної активності.

Засоби візуалізації у програмному продукті відіграють важливу роль у процесі проектування сонячних енергетичних систем. Вони надають можливість переглядати проекти в реальному часі та вносити необхідні зміни, щоб оптимізувати ефективність та вигляд системи. Ці засоби візуалізації дозволяють створювати докладні тривимірні моделі сонячних енергетичних систем, включаючи розташування панелей, їх орієнтацію та взаємодію з оточуючими об'єктами.

3.2.1 Проектування сонячної електростанції на даху будівлі

Для моделювання сонячної електричної станції на даху житлової будівлі була використана "система, яка приєднана до мережі з власним споживанням", що представлена на рисунку 3.21.

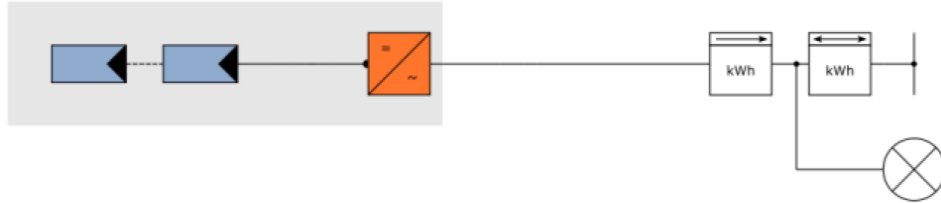


Рисунок 3.21 – Схематичний вигляд приєднаної системи до мережі

Під час процесу моделювання, був розроблений графік розподілу загального щорічного споживання електроенергії за місяцями. Цей графік можна побачити на рисунку 3.22. З нього видно, що найвищі витрати електроенергії припадають на осінньо-зимовий період, коли день стає коротшим. Найменший обсяг споживання спостерігається в липні.

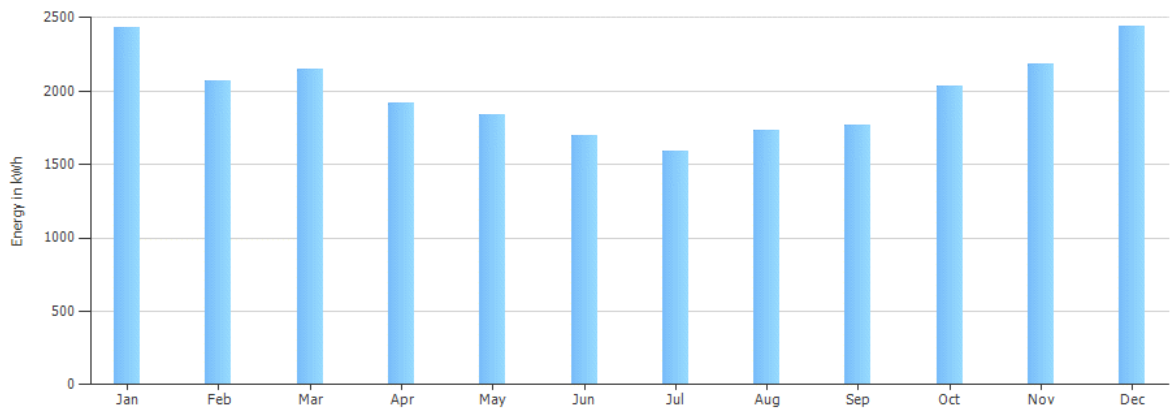


Рисунок 3.22 – Помісячне розподілення електроспоживання житлової будівлі

Також програма дає можливість самому задати добові годинні графіки електроспоживання будівель, що було здійснено для житлової багатоповерхівки. Приклад такого графіку для зимового робочого дня представлено на рисунку 3.23.

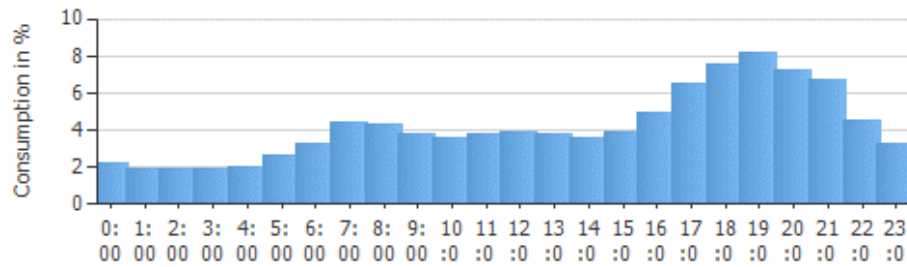


Рисунок 3.23 – Погодинне розподілення електроспоживання житлової будівлі

Погодинне електричне навантаження будівлі протягом усього року представлено на кольоровій гістограмі на рисунку 3.24.

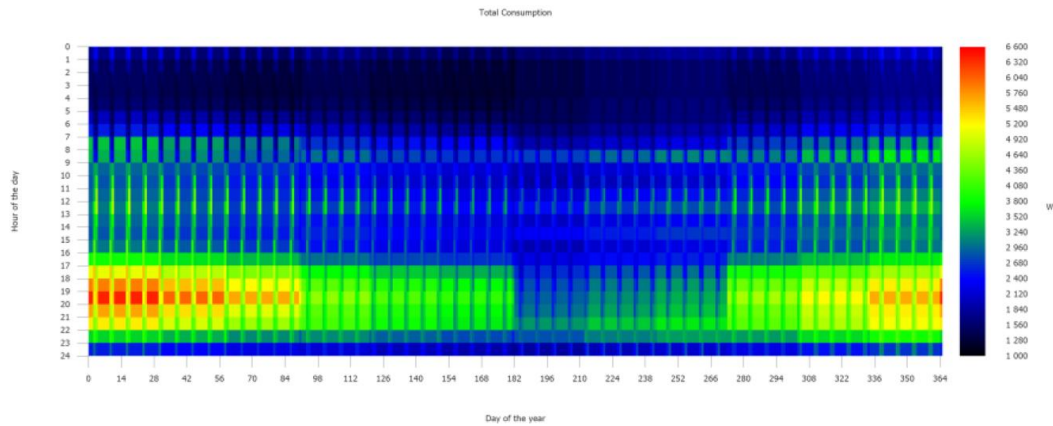


Рисунок 3.24 – Годинне розподілення електронавантаження протягом року

Для розташування електричних модулів на даху будівлі у програмі PV*Sol був розроблений 3D-проект житлової будівлі (рис. 3.25). Модель приймає до уваги орієнтацію будівлі за сторонами світу, висоту різноманітних частин житлової багатоповерхівки, наявність затінювальних елементів та парпетів.

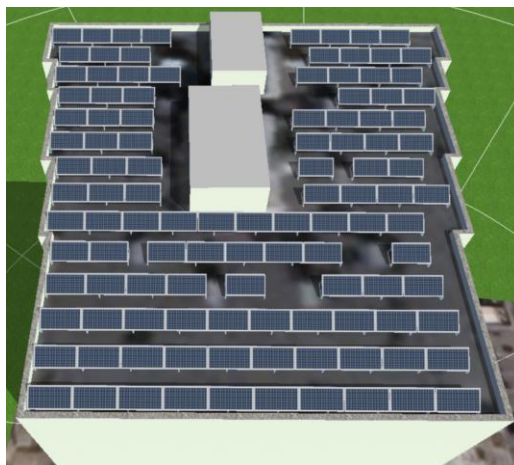


Рисунок 3.25 – 3D візуалізація сонячного масиву на даху житлової будівлі

На початковому етапі моделювання вся доступна площа даху була заповнена максимальною кількістю сонячних модулів. Оскільки програма дозволяє аналізувати затінення, всі модулі, які мали рівень затінення більше 10%, були видалені вручну. На рисунку 3.26 можна побачити відсотки затінення залишених панелей.



Рисунок 3.26 – Аналіз затінення залишених модулів

У процесі проектування сонячного масиву використовувалися модулі які були надані від виробника JA Solar Holdings, а саме JAM66S30-500/MR [11] у кількості 112 штук. А також інвертор від Huawei Technologies – SUN2000-50KTL-M0 (400Vac) [12] у кількості 1 штуки.

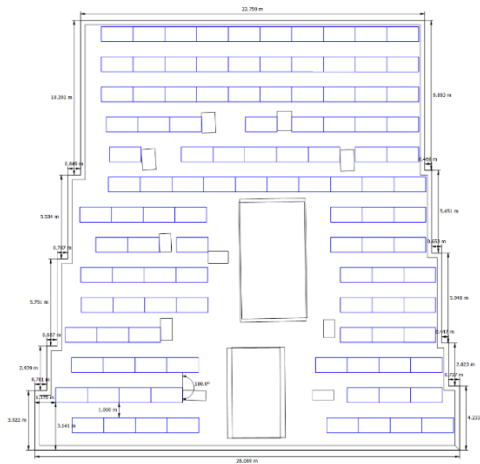


Рисунок 3.27 – План розміщення модулів на даху будівлі

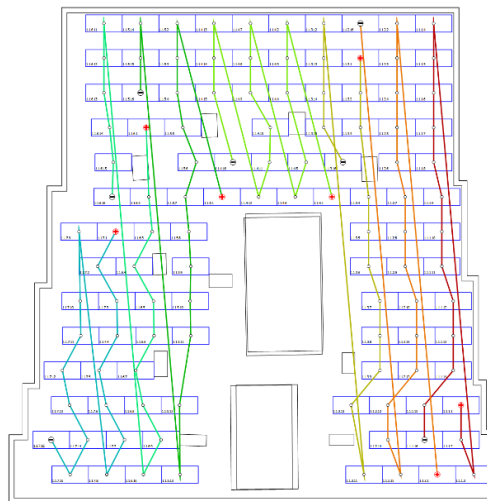


Рисунок 3.28 – Розфарбування по стрінгам та MPP-трекерам сконфігурованої системи

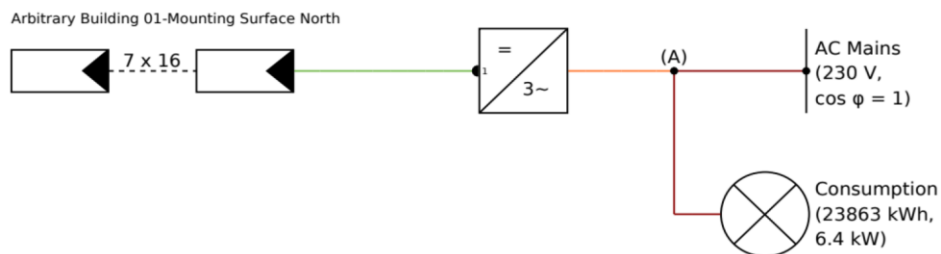


Рисунок 3.29 – Конфігурація підключення всіх модулів системи

Таблиця 3.3 – Результати моделювання сонячної електростанції на даху

Параметр	Значення
Потужність сонячного масиву, кВт	56
Питома генерація енергії, кВт·год/кВт	1070,3
Коефіцієнт продуктивності, %	79,9
Зниження генерації, спричинене затіненням, %/рік	11,0
Генерація енергії від PV, кВт·год/рік:	59960
– енергія від сонячної електростанції, що споживається об'єктом,	9246
– енергія від сонячної електростанції, яка генерується в мережу.	50714
Зниження викидів CO ₂ , кг/рік	28170
Енергоспоживання приладів в будівлі, кВт·год/рік	23863
Споживання енергії інвертором, кВт·год/рік	23
Загальне електроспоживання, кВт·год/рік:	23886
– частина, яка «покривається» сонячною електростанцією,	9246
– частина, яка «покривається» від мережі.	14640
Частка від сонячної електростанції / Рівень самозабезпечення, %	38,7

Financial Analysis		Tech. Quality of the PV System	
Return on Assets	7.66 %	PV Generator Energy (AC grid)	59 960 kWh/Year
Revenue or Savings	8023.8 €/Year	Spec. Annual Yield	1 070.30 kWh/kWp
Accrued Cash Flow (Cash Balance)	70 825.50 €	Performance Ratio (PR)	79.9 %
System integration			
Energy from Grid	14 640 kWh/Year	Grid Feed-in	50 714 kWh/Year

Рисунок 3.30 – Зведені характеристики системи фотоелектричного постачання

На рисунку 3.31 зображено баланс енергетичних потоків. З нього ми можемо зробити висновок, що загалом виробляється 59960 (кВтгод)/рік з яких 9246 (кВтгод)/рік споживає сама будівля, 50714 (кВтгод)/рік віддає у мережу. Із зовнішньої мережі будівля добирає 14640 (кВтгод)/рік. Сонячна генерація покриває 38,7% від потреби на власне споживання ($9246/23886 = 0,387$).

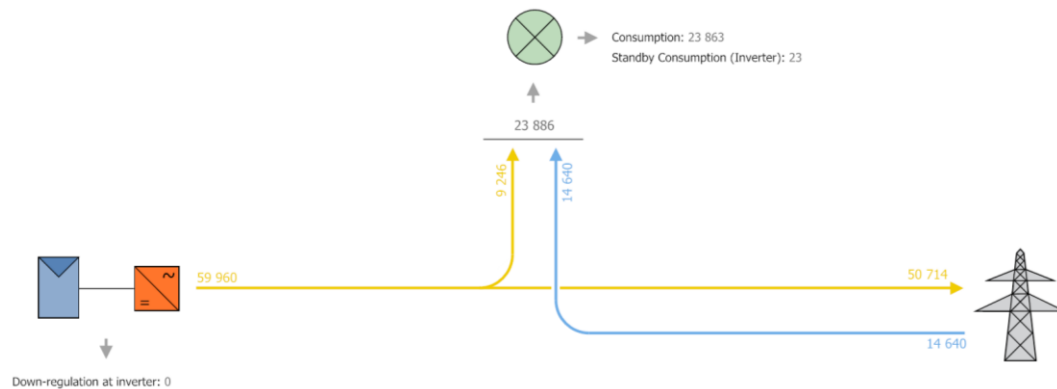


Рисунок 3.31 – Баланс споживання та генерації електричної енергії

На рисунку 3.32 представлено місячний обсяг використання електричної енергії, який забезпечується сонячним масивом та мережею. Ілюстрація вказує на те, що найвищий рівень виробництва сонячної енергії спостерігається весняно-літнім періодом, тоді як найнижчий - в осінньо-зимовий, що зумовлено тривалістю світлового дня. Це впливає на зміни в споживанні електроенергії під час вказаних сезонів. На гістограмі сумарного електроспоживання будівлі використано сірий колір, область, що покривається модельованим сонячним масивом - жовтий, а частина, яку забезпечує централізоване електропостачання - блакитний.

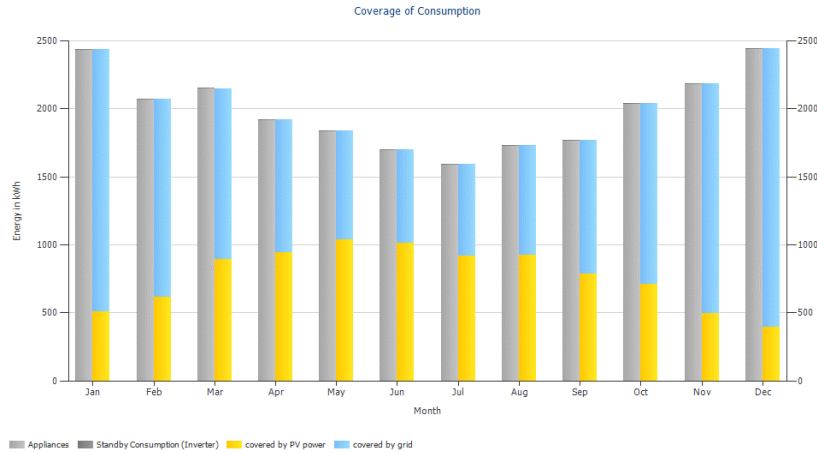


Рисунок 3.32 – Покриття потреб в електричній енергії ФЕС по місяцях

На графіку, представленому на рисунку 3.33, відображено місячний обсяг використання сонячної енергії. Кількість енергії, яку генерують сонячні панелі протягом місяця, позначена жовтим кольором. Кількість цієї енергії, яка використовується для задоволення потреб будівлі, відображена сірим кольором, а надлишок, який може бути переданий в мережу за "зеленим тарифом" або акумульований, відзначений блакитним. Видно, що надлишок енергії, який виробляється сонячним масивом, особливо помітний влітку, коли рівень сонячної радіації високий, а потреба в електричній енергії порівняно низька.

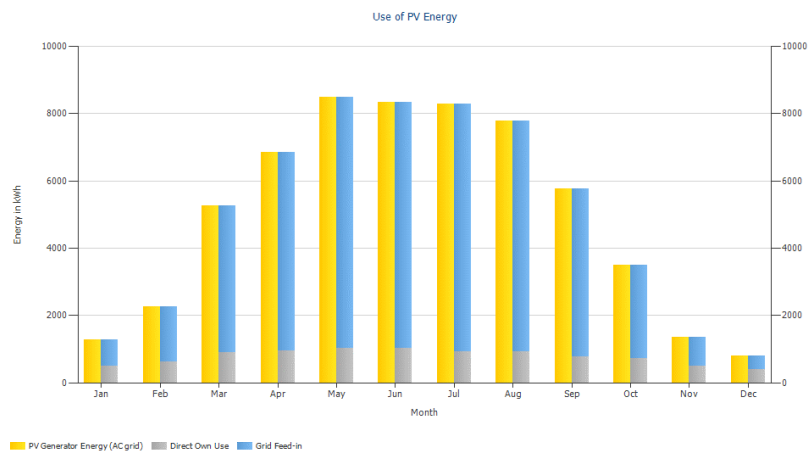


Рисунок 3.33 – Помісячне використання виробленої енергії сонячним масивом

На рисунках 3.34 та 3.35 зображено рівень сонячних випромінювань та температура на поверхні сонячних модулів.

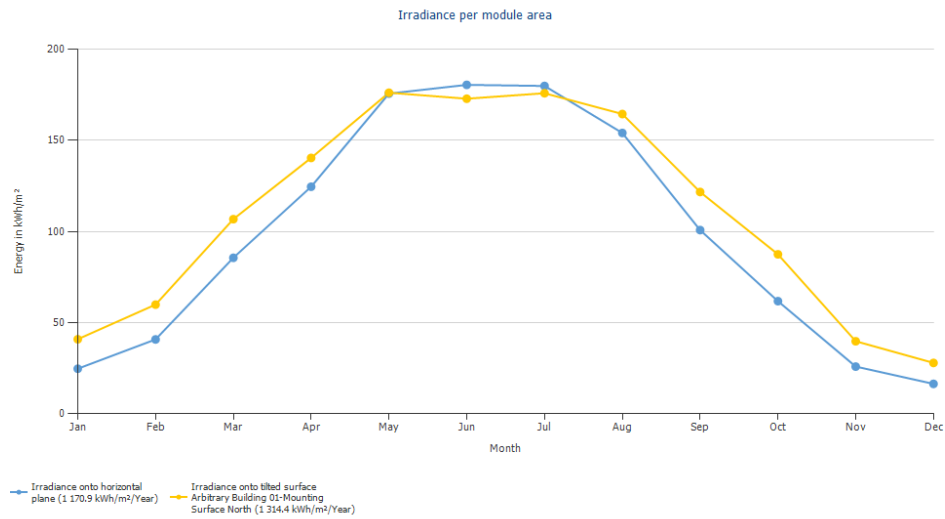


Рисунок 3.34 – Рівень надходжень сонячних випромінювань на м² поверхні модулів

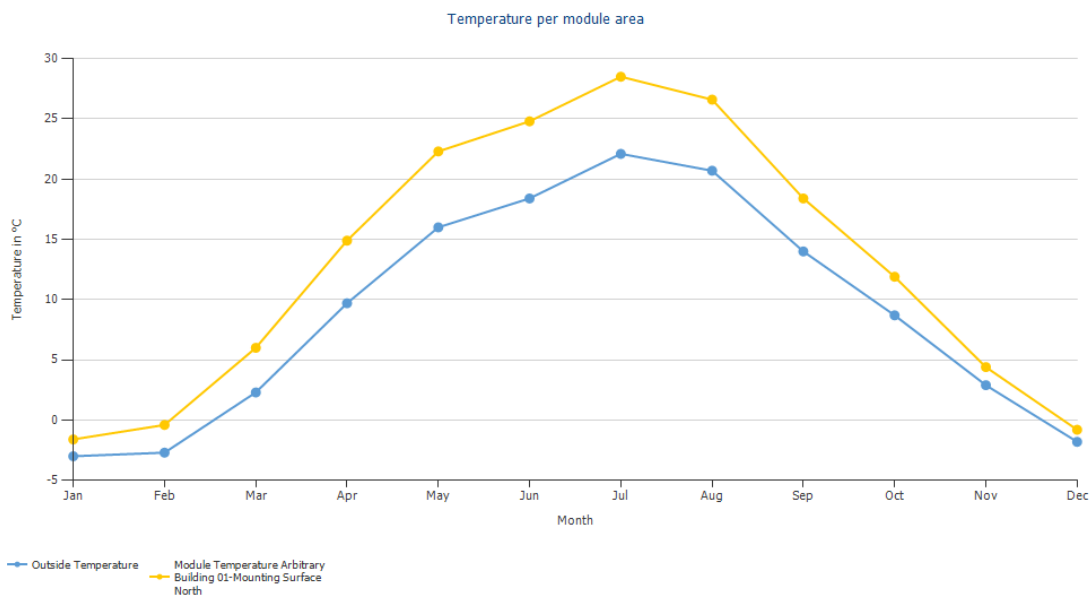


Рисунок 3.35 – Температура на поверхні модулів

Висновки до розділу

На основі виконаних досліджень та побудованих енергетичних моделей можна зробити наступні висновки:

Енергетичні моделі. У цьому дослідженні було розроблено три різні енергетичні моделі – фактична, базова та запропонована. Ці моделі дозволили врахувати різні аспекти споживання енергії в будівлі та здійснити порівняння між різними сценаріями.

Термін окупності заходів з енергоефективності. В рамках дослідження був розрахований термін окупності заходів, спрямованих на покращення енергоефективності будівлі. Цей показник є важливим для оцінки ефективності введених заходів та їхнього впливу на енергоспоживання.

Встановлення сонячних панелей. У дослідженні було змодельовано встановлення сонячних панелей як одного із заходів з підвищення енергоефективності. Ця модель дозволила оцінити вплив сонячних панелей на енергетичний баланс будівлі та їхню роль у зменшенні залежності від традиційних джерел енергії.

В цілому, використання енергетичних моделей та проведені розрахунки надають важливі дані для прийняття рішень щодо оптимізації енергоспоживання будівлі та впровадження заходів, спрямованих на зменшення енергетичної залежності і покращення сталості систем життєзабезпечення.

4 ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТ ТА МОНІТОРИНГ

Енергетичний менеджмент

В сучасному світі енергетична ефективність та управління енергетичним споживанням є одними з ключових аспектів для підтримки сталого розвитку та зменшення впливу людської діяльності на навколишнє середовище. У багатоквартирних будинках, зокрема в об'єднаннях співвласників багатоквартирних будинків (ОСББ), існують ряд проблем, пов'язаних із управлінням енергоспоживанням. Деякі з них включають:

- 1) Низька освітленість та неефективне використання електроенергії призводить до збільшення споживання енергії на 5-20%;
- 2) Несприятливий режим температур та неефективне використання систем опалення і кондиціонування збільшує споживання енергії на 10-30%;
- 3) Втрати енергії через неізольовані частини конструкції будівель збільшують використання енергії на 10-40%;
- 4) Низька свідомість споживачів та брак систем енергетичного моніторингу;
- 5) Відсутність фінансових ресурсів для впровадження енергетично ефективних заходів.

Вирішення цих проблем може включати в себе впровадження системи енергетичного менеджменту для ОСББ, що призведе до зменшення енергетичного споживання на 10-30% і численних переваг та створить нові можливості для співвласників багатоквартирних будинків. До переваг можна віднести:

- 1) Зменшення витрат на комунальні послуги;
- 2) Підвищення комфорту та якості життя.
- 3) Сприяння екологічно чистому життю.
- 4) Соціальні та економічні вигоди для співвласників.

- 5) Підвищення вартості нерухомості.
- 6) Створення здорового та приємного середовища.

До можливостей можна віднести:

- 1) Використання відновлюваних джерел енергії, що дозволить будівлі використовувати частину виробленої енергії на себе.
- 2) Участь у програмах субсидій та фінансування.

Покращення енергетичного менеджменту в ОСББ вимагає комплексного підходу, що враховує технічні, організаційні та поведінкові аспекти. Нижче наведено детальні рекомендації, які можуть допомогти ОСББ знизити витрати на енергію та покращити енергетичну ефективність:

- 1) Технічні заходи: Аудит енергоспоживання, впровадження енергозберігаючих технологій;
- 2) Моніторинг та контроль: Встановлення автоматизованих систем моніторингу, аналіз та оптимізація режимів;
- 3) Енергозберігаючі рішення для будівель: Утеплення та модернізація, енергоефективні вікна і двері, системи вентиляції й кондиціювання;
- 4) Організаційні аспекти: Енергетичний координатор, інформаційна кампанія;
- 5) Фінансові заходи та субсидії;
- 6) Організація робочих груп: Енергетична робоча група, контакти з експертами.

Ці рекомендації становлять базовий фреймворк для ефективного управління енергією в ОСББ і можуть бути адаптовані враховуючи конкретні умови та потреби кожного конкретного об'єднання.

Вартість впровадження енергетичного менеджменту може варіюватися від кількох десятків тисяч гривень до кількох мільйонів гривень в залежності від обсягу робіт та конкретних потреб об'єкта.

Моніторинг

Моніторинг є ключовим елементом енергетичного менеджменту в об'єднаннях співвласників багатоквартирних будинків (ОСББ). Ефективне впровадження системи моніторингу дозволяє отримувати вичерпну інформацію про споживання енергії та її елементи, що є важливим для реалізації стратегій зменшення витрат та поліпшення енергоефективності. Значення моніторингу в ОСББ можна розглядати з кількох аспектів:

- 1) Збір та аналіз даних: Ідентифікація «енергоголодних» зон, аналіз поточних показників;
- 2) Виявлення аномалій та проблем: Виявлення витоків енергії, аналіз динаміки потреб;
- 3) Оцінка ефективності заходів: Моніторинг результатів впровадження технологій, коригування стратегій;
- 4) Енергетичне планування: Оптимізація режимів енергоспоживання, бюджетування та прогнозування;
- 5) Сприяння екологічному свідомому споживанню.

Усі ці аспекти демонструють, що впровадження ефективної системи моніторингу є ключовим інструментом для ефективного управління енергоспоживанням в багатоквартирних будинках. Технічні засоби для моніторингу енергоспоживання включають в себе різноманітні пристрої та системи, які надають детальну інформацію про використання енергії в реальному часі та на підставі історичних даних. До технічних засобів для моніторингу відносяться:

1. Системи вимірювання енергії (EMS):

- *Енергоміри та лічильники:*

- Встановлення енергомірів для обліку споживаної електроенергії та газу на рівні окремих квартир та загальних приміщень.

- Використання інтелектуальних лічильників, які можуть передавати дані безпосередньо в систему моніторингу.

2. Системи автоматизованого збору даних:

- *Системи збору та трансляції даних:*

- Встановлення сучасних систем, які забезпечують збір, передачу та аналіз даних про енергоспоживання в реальному часі.
- Використання бездротових технологій (наприклад, LoRa, Zigbee) для передачі даних безпосередньо до центральної системи моніторингу.

3. Системи визначення потоків енергії:

- *Теплові лічильники та системи контролю тепла:*

- Встановлення теплових лічильників на батареях та системи контролю теплових втрат для ефективного управління системами опалення.
- Використання систем, які можуть виявляти та локалізувати можливі витоки тепла.

4. Системи контролю та управління:

- *Автоматизовані системи контролю освітлення та кондиціювання:*

- Використання систем, які автоматично регулюють освітлення та кондиціювання в залежності від умов та активності мешканців.
- Встановлення таймерів та сенсорів руху для оптимізації роботи освітлення.

5. Системи керування витратами:

- *Системи розподілу витрат:*

- Використання систем, які автоматично розподіляють витрати на енергію між різними квартирами відповідно до фактичного використання.
- Встановлення індивідуальних систем оплати для кожної квартири.

6. Інтерфейси та візуалізація даних:

- Веб-портали та мобільні додатки:

- Розробка веб-порталів та мобільних додатків для мешканців, які надають доступ до інформації про енергоспоживання та дозволяють встановлювати особисті енергетичні цілі.
- Використання графіків та діаграм для візуалізації даних про енергоспоживання.

Ці технічні засоби допомагають створити повний образ енергоспоживання в багатоквартирних будинках, що надає можливість для ефективного управління та прийняття обґрунтованих рішень для зменшення витрат та поліпшення енергоефективності.

Впровадження системи моніторингу може коштувати від декількох тисяч до декількох сотень тисяч гривень або і більше, в залежності від різних факторів.

Висновки до розділу

В цьому розділі було розглянуто сучасні проблеми управління енергоспоживанням в ОСББ, переваги та можливості впровадження енергетичного менеджменту для ОСББ та рекомендації для них щодо покращення енергетичного менеджменту. Також було розглянуто значення моніторингу для ефективного управління енергією в ОСББ та технічні засоби для моніторингу енергетичного споживання в багатоквартирних будинках.

5 СТАРТАП-ПРОЕКТ

Поняття стартапу

Стартапи представляють собою компанії або підприємства, що фокусуються на виробництві або наданні конкретного продукту чи послуги, який засновники прагнуть вивести на ринок. Зазвичай такі компанії характеризуються недостатньо розробленою бізнес-моделлю та відсутністю достатнього капіталу для переходу на наступний етап свого розвитку. Здебільшого, ці підприємства починають свій шлях з фінансування від їхніх засновників.

Працювання зі стартап-проектом має багато переваг, дві з них включають в себе більшу відповідальність та розширені можливості для навчання. З огляду на те, що в стартапах кількість співробітників зазвичай менша, ніж у великих, відомих компаніях, працівники зазвичай приймають на себе різні обов'язки та займають різні посади, що призводить до збільшення рівня відповідальності та розширених можливостей для самоосвіти.

Стартапи, як правило, характеризуються більшою неформальністю, роблячи робоче середовище більш дружелюбним, із гнучким графіком, акцентом на взаємодії між працівниками та високим ступенем гнучкості. Також, робота в стартапах може бути більш стимулюючою, оскільки вони вітають інновації, а керівництво надає талановитим співробітникам можливість працювати над ідеями без надмірного контролю.

Одним з основних недоліків стартапів є підвищений рівень ризику, особливо щодо їхньої успішності та тривалості існування. Новим компаніям необхідно продемонструвати свою ефективність та привернути капітал, перш ніж вони зможуть почати приносити прибуток. Важливо, щоб інвестори відчували задоволення від прогресу стартапу, оскільки постійний ризик закриття або

недостатнього капіталу для подальшої діяльності до досягнення прибутковості є постійним фактором.

Опис ідеї стартапу

EcoSmart Living Solutions є інноваційним підприємством, що пропонує комплексні та ефективні рішення для створення енергоефективних та "розумних" будинків. Ідея полягає в об'єднанні сучасних технологій, сталого будівництва та інтелектуальних систем для створення житлових просторів, які не тільки забезпечують комфорт та безпеку, але й сприяють екологічній стійкості та раціональному використанню ресурсів.

До ключових ідей стартапу відносяться:

- 1) *Енергоефективність*. Використання передових технологій енергетичного збереження, включаючи ефективні системи опалення та кондиціонування повітря, відновлювані джерела енергії та теплоізоляцію високої якості.
- 2) *Розумні технології*: Розробка та впровадження інтегрованих систем "розумного будинку" для автоматизації освітлення, безпеки, управління енергією та інших аспектів життя мешканців.
- 3) *Моніторинг та аналітика*: Системи моніторингу, які надають мешканцям та власникам будинків детальну інформацію про споживану енергію, витрати та інші параметри для ефективного керування ресурсами.
- 4) *Стале будівництво*: Використання екологічно чистих будівельних матеріалів та процесів з метою зменшення впливу на довкілля та створення сталих житлових об'єктів.
- 5) *Клієнтоорієнтований дизайн*: Розробка просторів, які враховують потреби та бажання мешканців, забезпечуючи комфорт та функціональність.

- 6) *Інформаційна підтримка*: Надання інформаційної підтримки та консультацій мешканцям з питань оптимізації використання ресурсів та взаємодії із "розумними" системами.

Ключові переваги

До ключових переваг стартапу відносяться:

- 1) Зменшення витрат на комунальні послуги: Системи енергоефективності дозволяють максимально ефективно використовувати енергію та зменшити витрати на опалення та кондиціювання.
- 2) Комфорт та автоматизація: "Розумний будинок" забезпечить мешканцям комфорт та зручність, автоматизуючи багато аспектів їхнього повсякденного життя.
- 3) Сприяння екологічній свідомості: Зменшення вуглецевого сліду та сприяння екологічності шляхом використання відновлюваних джерел енергії та енергоефективних технологій.

Аналіз ринкових можливостей

- 1) *Ріст сегменту зеленого будівництва*: Зі зростанням інтересу до сталого розвитку та зеленого будівництва, EcoSmart Living Solutions може скористатися попитом на енергоефективні рішення та "розумні" технології в будівництві.
- 2) *Попит на енергоефективні технології*: Зростаючий облік вартості енергії та загрози змін клімату стимулюють попит на технології, спрямовані на зменшення витрат енергії в будівлях.
- 3) *Зростання усвідомленості споживачів*: Зросла увага споживачів до енергоефективних технологій та їхнього впливу на комфорт та витрати в будинках.

- 4) *Підтримка громадського сектору*: Заохочення урядових програм та стимулів для енергоефективного будівництва та розвитку "розумних" міст.
- 5) *Попит на інтегровані рішення*: Зросли очікування від споживачів щодо інтегрованих систем, які об'єднують енергоефективність та "розумні" технології в одному пакеті.
- 6) *Глобальні тенденції екологічного життя*: Загальний рух до більш екологічно свідомого способу життя підтримує попит на житлові рішення, які відповідають вимогам сталості та відновлюваності.
- 7) *Попит на системи "розумного будинку"*: Розширення "інтернету речей" (IoT) та розвиток технологій "розумного будинку" сприяє попиту на інтегровані системи управління для підвищення комфорту та зменшення витрат.
- 8) *Популярність сертифікації LEED та BREEAM*: Споживачі та розробники дедалі більше цінують здатність будинків отримати сертифікати сталого будівництва, такі як LEED та BREEAM, що може стати конкурентною перевагою для EcoSmart Living Solutions.

Виклики та ризики

- 1) Інтеграція новітніх технологій може вимагати значних витрат на дослідження та впровадження;
- 2) Конкуренція в галузі сталого будівництва та "розумного" житла зростає, що може ускладнити проникнення на ринок;
- 3) Зміни у законодавстві та нормативах можуть вплинути на вигідність та умови використання енергоефективних технологій.

- 4) Споживачі можуть потребувати додаткової освіти та підтримки для свідомого використання енергоефективних технологій та "розумних" систем.

Стратегії для розвитку:

- 1) Встановлення партнерств із будівельними компаніями, архітекторами та розробниками для впровадження технологій EcoSmart Living Solutions у нові будівельні проекти;
- 2) Проведення ефективних рекламних та освітніх кампаній для підвищення усвідомленості споживачів щодо переваг енергоефективних технологій;
- 3) Прослуховування місцевих побажань та регулювань для адаптації продуктів та послуг до специфіки ринку в Києві;
- 4) Постійне дослідження та впровадження новітніх технологій для забезпечення конкурентоспроможності продукції;
- 5) Активна участь у програмах та ініціативах, які надають фінансову підтримку енергоефективним технологіям.

Попит на енергоефективні рішення

- 1) Споживачі виявляють збільшену свідомість щодо важливості сталості та енергоефективності у житловому будівництві. Зацікавленість у використанні продуктів та послуг, що сприяють зменшенню впливу на навколишнє середовище, є високою;
- 2) Ріст тарифів на енергію та загроза енергетичних криз стимулюють попит на енергоефективні рішення серед споживачів, які прагнуть знизити свої витрати на комунальні послуги;

- 3) Збільшення попиту на "зелене" життя і привертання споживачів до екологічно чистих та енергоефективних технологій у житловому середовищі;
- 4) Зростання урбанізації та зміна стандартів життя великого міста підштовхують споживачів до вибору енергоефективних технологій, спрямованих на оптимізацію простору та ресурсів;
- 5) Урядові та комерційні програми фінансової підтримки для енергоефективних проектів створюють додатковий інcentив для споживачів і бізнесів інвестувати в ці технології;
- 6) Збільшення популярності спільного житла та стратегій, спрямованих на взаємодію та обмін ресурсами, може збільшити попит на енергоефективні рішення для спільних житлових просторів;
- 7) Компанії та організації можуть бути зацікавлені в енергоефективних рішеннях як частині стратегії корпоративної відповідальності та зменшення екологічного відбитку.

Застосування EcoSmart Living Solutions для житлової багатоповерхівки

EcoSmart Living Solutions пропонує інтегровані рішення для створення енергоефективного та сталого житлового середовища в багатоповерховій будівлі. Враховуючи потреби мешканців, вимоги до енергоефективності та зелених технологій, використання екосистеми EcoSmart може мати ряд переваг:

- 1) Використання енергоефективних систем опалення, вентиляції та кондиціювання повітря, що дозволяє оптимізувати споживання енергії та зменшувати комунальні витрати;
- 2) Впровадження "розумних" систем управління освітленням, електроживленням, температурою та безпекою для забезпечення максимального комфорту та ефективності використання ресурсів;

- 3) Встановлення сонячних панелей для генерації електроенергії та використання інших відновлювальних джерел енергії для забезпечення часткового або повного відходження від традиційних джерел енергії;
- 4) Використання технологій для моніторингу та управління витратами води, що дозволяє ефективно використовувати водні ресурси та зменшувати витрати;
- 5) Встановлення світлодіодних та інших енергоефективних систем освітлення для зниження електропотужності та продовження терміну служби ламп;
- 6) Створення зелених зон та спільних просторів для мешканців, що покращує якість життя та вносить внесок у вирішення екологічних питань;
- 7) Впровадження інноваційних методів управління відходами та їх переробкою для зменшення відходів та сприяння екологічній чистоті;
- 8) Використання систем моніторингу для аналізу енергоспоживання, витрат води та інших ресурсів з можливістю віддаленого управління;
- 9) Організація едукативних заходів для мешканців з питань енергоефективності, відновлювальних джерел енергії та сталого способу життя.

Висновки до розділу

EcoSmart Living Solutions є перспективним стартапом, який поєднує інноваційні технології та сталі практики для створення енергоефективного та сталого житлового середовища. Застосування енергоефективних технологій, систем "розумного" управління та екологічних ініціатив сприяє зменшенню впливу на довкілля та підвищенню комфорту для мешканців. Стартап виявляє

гнучкість та адаптивність до змін в ринкових умовах, що дозволяє йому успішно впроваджувати нові рішення та взаємодіяти з різними стейкхолдерами. Активна підтримка від місцевих влад та участь у програмах підтримки сприяють сталому розвитку та поширенню впроваджених рішень. EcoSmart Living Solutions володіє потенціалом стати ключовим учасником у сфері сталого будівництва та енергоефективних технологій.

ВИСНОВКИ

У роботі було детально проаналізовано енергетичні аспекти функціонування житлового будинку, зокрема, проведено ретельний огляд та аналіз витрат на опалення протягом трьох років. Також було вивчено та проаналізовано поточний стан огорожувальних конструкцій будівлі, з метою визначення можливостей їхнього вдосконалення в аспекті теплопередачі.

Описано інженерне тепlopостачання, водопостачання та каналізацію, зокрема, враховуючи енергоефективні технології та можливості їхнього вдосконалення в рамках вивченого об'єкта. Виконано розрахунки енергетичного споживання під час опалення та охолодження будівлі з урахуванням різних сценаріїв функціонування та умов експлуатації.

Визначено клас енергетичної ефективності будівлі та розроблено динамічні моделі у програмному середовищі DesignBuilder. Ці моделі використовуються для прогнозування та аналізу різних енергетичних сценаріїв та ефективності впроваджених заходів.

Окремо розглянуто можливість створення сонячної електростанції на даху будівлі, що дозволяє збільшити виробництво електроенергії та зменшити витрати на зовнішні джерела.

Досліджено питання енергетичного менеджменту та моніторингу для об'єднання співвласників багатоквартирного будинку (ОСББ), зокрема, визначено переваги та можливі підходи для реалізації таких систем.

На основі проведених досліджень та аналізу виникла ідея створення стартап-проекту, спрямованого на впровадження інноваційних рішень для підвищення енергетичної ефективності в житлових будинках. Цей проект включає в себе розробку та впровадження новаторських технологій, зокрема, у сфері енергоменеджменту, енергоефективності та сонячної енергетики.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Споживання теплової енергії [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://teplo.org.ua/buildings/vulitsya-klavdiivska-40v>
2. ДБН В.2.6-31:2021: Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. [Чинний від 2022-09-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіонбуд України, 2022. 27 с.
3. ДСТУ 9191:2022: Теплоізоляція будівель. Метод вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. [Чинний від 2023-01-03]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіонбуд України, 2022. 63 с.
4. Методи аналізу енергоефективності будівель: Курсова робота [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 144 «Теплоенергетика» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: М.М. Шовкалюк, О.І. Яценко, І.Ю. Білоус – Електронні текстові дані (1 файл: 0,4 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 48 с.
5. Про затвердження Мінімальних вимог до енергетичної ефективності будівель: Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 27.10.2020. №260. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1257-20>.
6. Про затвердження Змін до Методики визначення енергетичної ефективності будівель: Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 27.10.2020. № 261. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1254-20>.
7. Яценко О.І., Олексюк А.В. Використання програмного середовища DesignBuilder для енергетичного моделювання житлової багатоповерхової будівлі. Матеріали XX Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики» (м. Київ, 25–28 квітня 2023 року). Київ, 2023. С. 204-205.

8. Ціна на автоматичний балансувальний клапан ASV-PV DANFOSS [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ianv.com.ua/uk/category/category-danfoss/teplosnabzhenie/balansirovochnie-klapani/avtomaticheskie-balansirovochnie-klapani/asv-pv>
9. Ціна на запірний ручний клапан ASV-M DANFOSS [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ianv.com.ua/uk/category/category-danfoss/teplosnabzhenie/balansirovochnie-klapani/avtomaticheskie-balansirovochnie-klapani/asv-m>
10. U-value 5-камерного вікна [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://okna.ua/ua/systems/salamander-bluevolution92>
11. Ціна за сонячний модуль виробника JA Solar Holdings: JAM66S30-500/MR [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://suministrodelsol.com/en/panels-from-405-to-500w/1559-panel-solar-ja-solar-500w-jam66s30-500-mr.html>
12. Ціна за інвертор від виробника Huawei Technologies: SUN2000-50KTL-M0 (400Vac) [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://utem.org.ua/products/setevoy_invertor_50_kvt_huawei_sun2000-50ktl-m0
13. Офіційний сайт PV*Sol premium [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://valentin-software.com/en/products/pvsol-premium/>
14. Офіційний сайт DesignBuilder Software Ltd. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://designbuilder.co.uk/>
15. ДСТУ 9190:2022: Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячого водопостачання. [Чинний від 2023-01-03]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2015. 63 с.