МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ В. Н. КАРАЗІНА
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ КОМП'ЮТЕРНОЇ ФІЗИКИ ТА ЕНЕРГЕТИКИ
Кафедра інформаційних технологій фізико-енергетичних системах

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи
за освітньо-кваліфікаційним рівнем магістр

«Розробка програмного забезпечення аналізу енергоефективності будівель»

Виконав студент 2 курсу групи НФ-63
Пікульов Є. С.
Спеціальність:
105 «Прикладна фізика та наноматеріали»
Освітня програма:
Прикладна фізика енергетичних систем
Керівник Протектор Денис Олегович

Рецензент

Харків – 2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Навчально-науковий інститут комп'ютерної фізики та енергетики

Кафедра інформаційних технологій фізико-енергетичних системах

Рівень вищої освіти: другий (магістерський) рівень

Спеціальність: 105 Прикладна фізика та наноматеріали

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Підпис_____ Руслан СУХОВ

"_____"_____ 2023року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Пікульов Євген Сергійович

1.Тема роботи: «Розробка програмного забезпечення аналізу енергоефективності будівель»
керівник роботи: Протектор Денис Олегович, Ph.D.

Затверджені наказом по університету від 12 вересня 2023 року № 4201-5/2491

2. Строк подання студентом роботи 07 грудня 2023

3. Перелік питань, які потрібно розробити:

1. Зробити огляд існуючих систем для аналізу енергоефективності будівель.
2. Визначити переваги та недоліки існуючих систем аналізу енергоефективності будівель.
3. Розробити алгоритм розрахунку енергоефективності будівель.
4. Розробити програмне забезпечення аналізу енергоефективності будівель.
5. Провести тестування розробленого програмного забезпечення.

4.План роботи

№ з/п	Назви етапів роботи
1	Вибір теми
2	Затвердження теми на кафедрі
3	Робота над літературою та іншими джерелами
4	Написання вступу до роботи та першого розділу
5	Написання другого розділу
6	Написання третього розділу
7	Написання четвертого розділу
8	Завершення написання дипломної роботи (висновки та література)
9	Подача науковому керівнику
10	Відгук, рецензія, підготовка до захисту
11	Попередній захист
12	Захист

5. Дата видачі завдання 21 вересня 2023 року

Студент _____ Євген ПІКУЛЬОВ

Підпис

Керівник роботи _____ Денис ПРОТЕКТОР

Підпис

РЕФЕРАТ

Пікульов Євген Сергійович. «Розробка програмного забезпечення аналізу енергоефективності будівель» (випускна робота «магістр») – Харків: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2023. – 50 с.

У дипломній роботі розробляється програмне забезпечення для аналізу енергоефективності приватних будівель. Для цього, по-перше, було проаналізовано слабкі та сильні сторони програм, що існують, які, у своїй суті, розраховують втрати енергоефективності будівель шляхом елементів стінної або покрівельної конструкції, підлоги. Були вивчені алгоритми роботи цих програм.

Наступним кроком є створення програмного забезпечення, та внесення отриманої інформації до неї. Спочатку, увага була приділена зовнішньому вигляду інтерфейсу, щоб він був привабливим та зрозумілим користувачу.

Для більш точного розрахунку енергоефективності будівлі, та призначення їй класу, були отримані та занесені у програмне забезпечення дані різних територіальних одиниць країни (температура взимку, регіональна зона тощо), які впливають на комфортне життя у будинку, а також була занесена велика кількість будівельних матеріалів, та норма енергії на дім. Ці данні були, запозичені із нормативної документації. Було зроблено власний розрахунок тепло-втрат. На базі власного розрахунку та на алгоритмі існуючих програм було розроблено власний алгоритм розрахунку тепло-втрат будинку, котрий і був впроваджений у програмне забезпечення “Energy Home”.

Предметом дипломної роботи буде розрахунок енергоефективності приватних будівель за допомогою розробленого програмного забезпечення.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, ТЕПЛОВТРАТИ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, АНАЛІЗ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПРИВАТНИХ БУДІВЕЛЬ, КОЕФІЦІЄНТ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ, MATLAB.

ABSTRACT

Pikulov Evgeny Serhiyovych. "Development of software for the analysis of energy efficiency of buildings" (Master's thesis) - Kharkiv: KhNU named after V.N. Karazina, 2023. – 50 p.

In the thesis, software is developed for the analysis of energy efficiency of private buildings. For this, firstly, the weaknesses and strengths of the existing programs were analyzed, which, in essence, calculate the energy efficiency losses of buildings through the elements of the wall or roof structure, the floor. The algorithms of these programs were studied.

The next step is to create the software and enter the received information into it. At first, attention was paid to the appearance of the interface, so that it was attractive and understandable to the user.

In order to more accurately calculate the energy efficiency of the building and assign it a class, the data of various territorial units of the country (temperature in winter, regional zone, etc.), which affect comfortable life in the house, were obtained and entered into the software, as well as a large number of building materials were entered. and the rate of energy for the house. These data were borrowed from regulatory documentation. An own calculation of heat losses was made. Based on our own calculation and the algorithm of existing programs, we developed our own algorithm for calculating the heat loss of the house, which was implemented in the "Energy Home" software.

The subject of the thesis will be the calculation of the energy efficiency of private buildings using the developed software.

KEY WORDS: SOFTWARE, HEAT LOSSES, ENERGY EFFICIENCY, ENERGY EFFICIENCY ANALYSIS OF PRIVATE BUILDINGS, ENERGY EFFICIENCY COEFFICIENT, MATLAB.

ЗМІСТ

ВСТУП 7

1. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ ДЛЯ АНАЛІЗУ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ 10

1.1. Програмне забезпечення EnergyPlus 10

1.2 Програмне забезпечення BEopt (Building Energy Optimization Tool) 13

1.3. Програмне забезпечення BIM Energy 15

1.4. Програмне забезпечення TerMus PLUS 16

1.5. Програмне забезпечення ResStock 17

2.РОЗРАХУНОК ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ 19

2.1 Алгоритм розрахунку класів енергоефективності 19

2.2 Опис сукупності теплових втрат будинку. 21

3. ОПИС РОЗРОБЛЕНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ 38

3.1. Функціональне призначення програмного забезпечення. 38

3.2. Алгоритм роботи програмного забезпечення. 38

3.3. Опис інтерфейсу додатку 39

4. ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПРИВАТНОГО БУДИНКУ. 43

ВИСНОВКИ 48

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА 49

ВСТУП

Актуальність теми.

XXI століття характеризується зростанням глобального попиту на енергію. У період 2001-2004 років дані BP Corp [1] показують, що середнє збільшення споживання первинної енергії становило для США – 1,1%, для Південної та Центральної Америки – 2,2%, для Європи, Селіна Філіппін і Сільвана Флорес Ларсен – 1,3%, для близького Сходу – 5,3%, для Африки – 3,7% та для азійсько-тихоокеанського регіону – 8,6% [1]. Це означає світове зростання на 3,7% за цей період. Навіть на основі низької оцінки у 2% середньорічних зростання, попит на первинну енергію подвоїться до 2037 р. і потроїться до 2057 р. [1]. Із загального споживання енергії у світі споживання енергії будівлями становить від 35% до 40%, яких припадає близько 30% світових викидів CO2 [1]. Це не дивно, оскільки майже 90% свого часу людина витрачає знаходиться у будинках/приміщеннях. Переважна більшість вчених сходяться на думці, що глобальне потепління є результатом діяльності людини, а не природне явище, як визнається в Зеленій книзі про енергетику [1].

Якщо брати до уваги вищезгадані факти, проблема енергоефективності будівель є однією із найважливіших у сьогоденні. Тому, що велика кількість енергетичних ресурсів уходить, буквально, у повітря, задля створення сприятливих умов проживання людини. Тому нам потрібно використовувати:

• Екологічно чутливі стратегії проєктування;

• Поліпшити огороджувальні конструкції, які утримують тепло усередині приміщення;

• Зміна моделей споживання енергії людьми за допомогою інформації та поінформованості.

Поєднання цих стратегій є основними альтернативними способами покращення енергоефективності та скорочення викидів газів. За для цього, нам потрібно знаходити вразливості наших будинків та знешкоджувати їх, тим

самим підвищувати класи енергоефективності будинків в цілому. Одним із правильних рішень буде, зрозуміти, скільки будівля використовує ресурсів на такі потреби як: опалення чи охолодження будівлі, гаряче водопостачання. Також, важливо оцінити, який вплив ми маємо в результаті: не якісної ізоляції стін, вікон тощо. Після чого, можна буде визначити основні проблеми та джерела втрат обраного будинку. Надалі, з'ясувати, що йому допоможе підвищити клас енергоефективності будівлі, а також на скільки це може бути рентабельно згідно з витраченими ресурсами.

Мета дослідження – розробка програмного забезпечення для аналізу енергоефективності приватних будівель.

Завдання дипломної роботи:

1. Провести огляд існуйочого програмного забезпечення для аналізу енергоефективності будівель.
2. Визначити переваги та недоліки наявного програмного забезпечення для аналізу енергоефективності будівель.
3. Розробити алгоритм розрахунку енергоефективності приватних будівель.
4. Розробити архітектуру програмного забезпечення для аналізу енергоефективності приватних будівель.
5. Розробити інтерфейс програмного забезпечення для аналізу енергоефективності приватних будівель.
6. Розробити програмне забезпечення для аналізу енергоефективності приватних будівель у вигляді додатка з графічним інтерфейсом користувача.
7. Провести тестування розробленого програмного забезпечення.

Об’єктом дипломної роботи є аналіз енергоефективності приватних будівель.

Предмет дипломної роботи – розрахунок енергоефективності приватних будівель за допомогою розробленого програмного забезпечення.

Методи дослідження – вивчення нормативної документації стосовно карти температурних зон, порівняльний метод дослідження (порівняння програмних забезпечень).

Наукова новизна полягає у тому, що програмне забезпечення яке розроблено у дипломному проєкті, використовує дані класів енергоефективності, які засновані на карті температурних зон країни, а також враховує велику кількість будівельних матеріалів та норму енергії на дім. Ці дані були, запозичені із нормативної документації.

Практичне значення отриманих результатів – розроблене програмне забезпечення дозволяє користувачу за введеними даними розрахувати клас енергоефективності, та у випадку класів з низькою енергоефективністю, допоможе підібрати будівельні матеріали для більшої енергоефективності приватної будівлі.

Структура та обсяг роботи – дипломна робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків. Весь обсяг роботи складається з 50 сторінок, містить зображення, які доповнюють текстовий матеріал – 25, таблиці 7, список використаних джерел, які становлять 21 посилання.

1. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ ДЛЯ АНАЛІЗУ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ

1.1. Програмне забезпечення EnergyPlus

Одним із перших розглянутих програмних забезпечень буде EnergyPlus [4]. EnergyPlus — це програма моделювання енергії всієї будівлі, яку інженери, архітектори та дослідники використовують для моделювання споживання енергії (опалення, охолодження, вентиляції, освітлення, розетки та технологічних навантажень), так і для використання води в будівлях. Логотип EnergyPlus та вигляд інтерфейсу надано нижче, див. Рис. 1.1. та Рис. 1.2..



Рис. 1.1. Логотип EnergyPlus

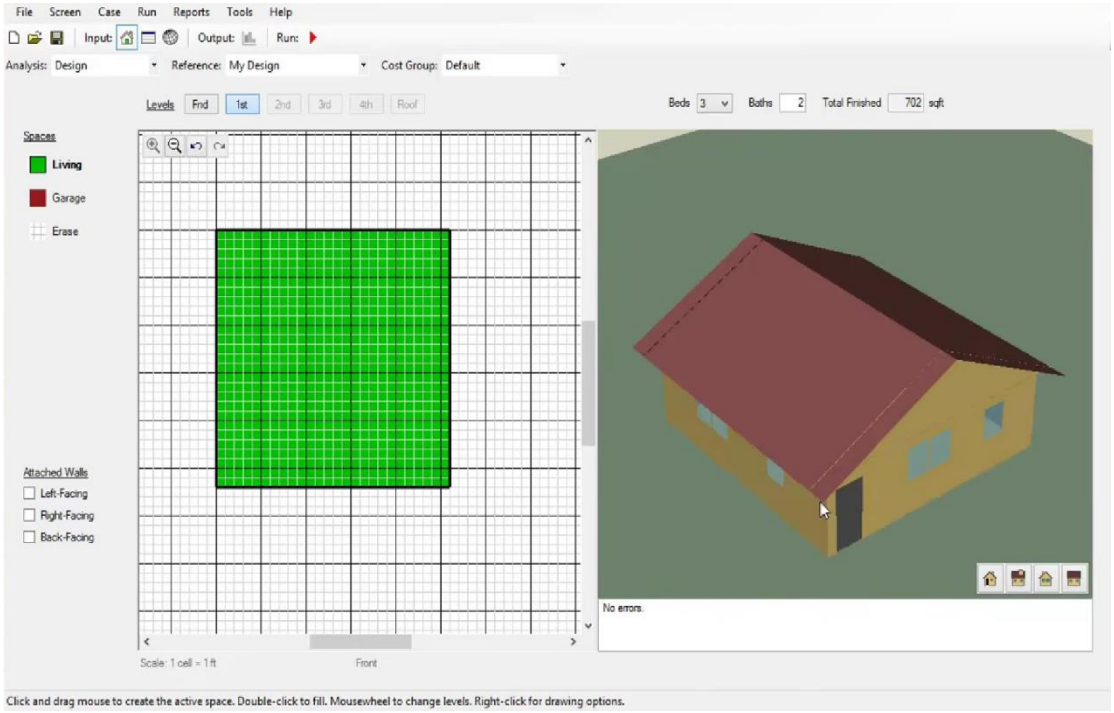


Рис. 1.2. Інтерфейс EnergyPlus

Деякі з відомих функцій і можливостей EnergyPlus включають:

• **Інтегроване одночасне рішення** щодо умов теплової зони та реакції системи HVAC, яке не передбачає, що система HVAC може відповідати зонним навантаженням, і може імітувати кондиціоновані та недостатньо кондиціоновані приміщення.

• **Рішення на основі теплового балансу** для випромінювання та конвективних ефектів, які створюють температуру поверхні, тепловий комфорт і обчислення конденсації.

• **Погодинні, визначені користувачем кроки часу** для взаємодії між тепловими зонами та навколишнім середовищем; з автоматично зміненими часовими кроками для взаємодії між тепловими зонами та системами HVAC. Це дозволяє EnergyPlus моделювати системи з високою динамікою, а також обмінювати швидкість моделювання на точність.

• **Комбінована модель тепломасообміну**, яка враховує рух повітря між зонами.

• **Удосконалені моделі вікон**, включаючи керовані віконні жалюзі, електрохромне скління та пошаровий тепловий баланс, який розраховує сонячну енергію, поглинену віконними склами.

• **Розрахунок освітленості та відблисків** для звітування про візуальний комфорт і керування освітленням.

• **Компонентний HVAC**, який підтримує як стандартні, так і нові конфігурації системи.

• **Велика кількість вбудованих стратегій керування системою опалення, вентиляції, вентиляції та кондиціювання повітря та освітленням**, а також розширювана система виконання сценаріїв для керування, визначеного користувачем.

• **Імпорт і експорт функціонального інтерфейсу макетів** для спільного моделювання з іншими механізмами.

• **Стандартні зведені та детальні звіти про вихід**, а також звіти, що визначаються користувачем, із можливістю вибору часової роздільності від річної до погодинної, усі з множниками джерелами енергії.

EnergyPlus — це консольна програма, яка читає вхідні дані та записує вихідні дані в текстові файли. Вона постачається з низкою утиліт, включаючи IDF-Editor для створення вхідних файлів за допомогою простого інтерфейсу, подібного до електронної таблиці, EP-Launch для керування вхідними та вихідними файлами та виконання пакетного моделювання та EP-Compare для графічного порівняння результатів двох або більше моделювання. Також доступні кілька комплексних графічних інтерфейсів для EnergyPlus. DOE виконує більшу частину своєї роботи з EnergyPlus за допомогою набору програмного забезпечення OpenStudio та набору програм.

EnergyPlus є безкоштовним, із відкритим вихідним кодом і кросплатформним — він працює в операційних системах Windows, Mac OS X і Linux. Його розробка фінансується Управлінням будівельних технологій (BTO) Міністерства енергетики США (DOE). Разом з OpenStudio, EnergyPlus є частиною портфоліо програм енергетичного моделювання будівель BTO.

З огляду цього ПО виявлені такі переваги:

• Велика база користувачів, яка може надати підтримку для початку роботи, а також у роботі в цілому;

• Відкритий вихідний код спрощує створення сценаріїв та компонентів;

Недоліки:

• Недостатня гнучкість та налаштування, що ускладнює можливість підлаштувати програму під себе;

• В порівнянні з іншими додатками менш зручний для створення гідравлічних систем;

• Інструмент достатньо складний, тому можна легко зруйнувати симуляцію або отримати неточні результати.

1.2 Програмне забезпечення BEopt (Building Energy Optimization Tool)

BEopt — це інструмент для оптимізації енергії будівлі. Програмне забезпечення BEopt (Building Energy Optimization Tool) надає можливості для оцінки конструкцій житлових будинків і визначення оптимальних за витратами пакетів ефективності на різних рівнях енергоощадження всього будинку на шляху до нульової чистої енергії [5].

BEopt можна використовувати для аналізу як нового будівництва, так і модернізації наявних будинків, а також односімейних окремих і багатоквартирних будинків шляхом оцінки проєктів окремих будівель, параметричних розгорток і оптимізації на основі витрат. На зображеннях нижче можна побачити логотип та інтерфейс програмного забезпечення, див. Рис. 1.3 та Рис. 1.4..



Рис. 1.3. Логотип Building Energy Optimization Tool

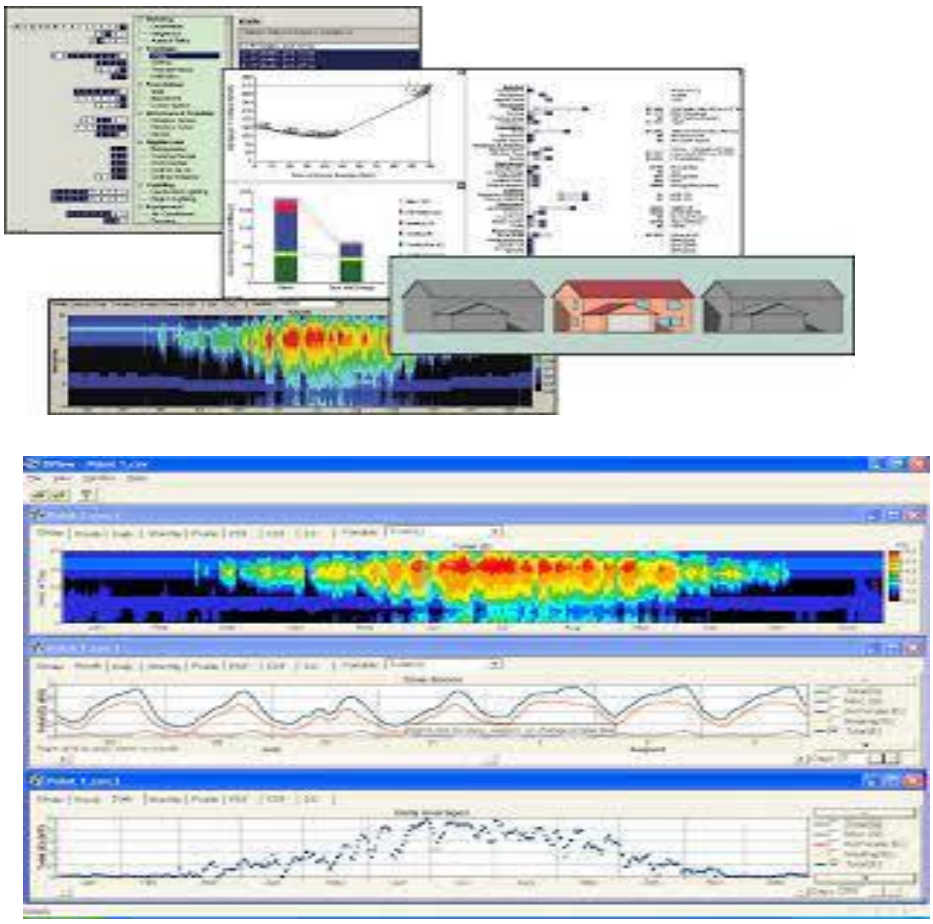


Рис. 1.4. Приклади інтерфейсу Building Energy Optimization Tool

BEopt надає аналіз на основі моделювання конкретних характеристик будинку, таких як розмір, архітектура, розміщення, старовинність, розташування та тарифи на комунальні послуги. Оцінюються окремі варіанти конвертів і обладнання, що відображають реалістичні будівельні матеріали та методи. Припущення моделювання базуються на стандартах ANSI/RESNET/ICC і протоколах моделювання житла Building America.

Техніка послідовної пошукової оптимізації, яку використовує BEopt:

• Знаходить проєкти будівель з мінімальною вартістю з різними цільовими рівнями енергоощадження

• Визначає кілька майже оптимальних конструкцій уздовж шляху, що дозволяє використовувати еквівалентні рішення на основі переваг будівельника чи підрядника.

Недоліки:

• Вибір конструкцій обмежений і підходить тільки для методів будівництва в США.

• Оскільки додаток BEopt використовує EnergyPlus як плагін, тому недоліки другого наявні у першому.

1.3. Програмне забезпечення BIM Energy

Наступним прикладом програмного забезпечення виступає BIM Energy [6], див. Рис. 1.5. та Рис. 1.6..

Рис. 1.5. Логотип BIM Energy

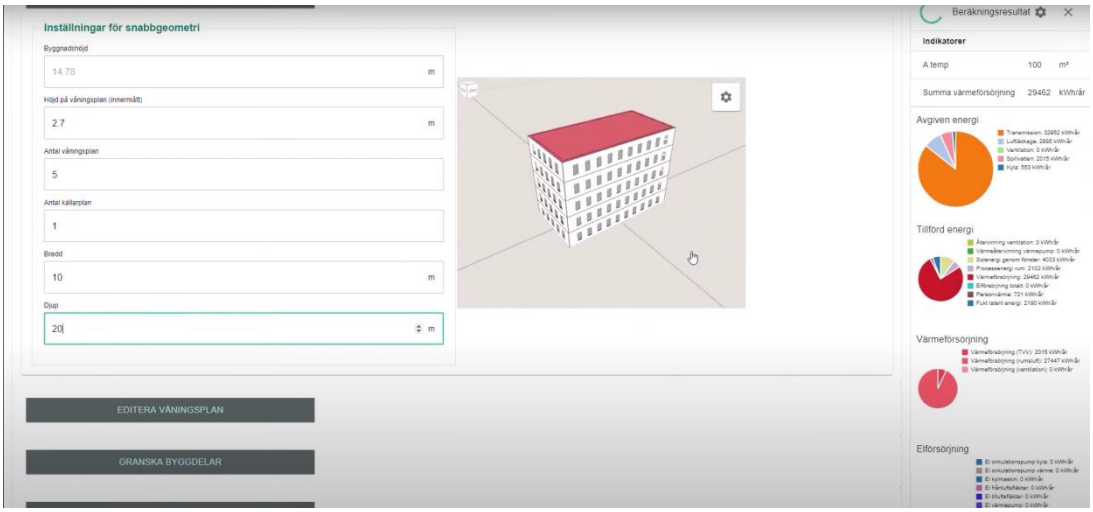


Рис. 1.6. Приклад інтерфейсу BIM Energy

Програмне забезпечення для аналізу енергії BIM — це веб-система моделювання й розрахунку енергії в будівлях. Програмне забезпечення допомагає моделювати, імітувати та розраховувати енергетичні показники будівель, які можна використовувати, щоб вирішити, чи відповідає будівля вимогам енергоефективності, чи ні.

BIM Energy Evaluation — це програмне забезпечення для розрахунку енергії, яке надає відповіді на складні питання щодо енергоефективності для будівельної промисловості.

Найбільш очевидні відмінності між програмами полягають у тому, як користувач визначає кліматичний бар'єр будівлі, який у BIM Energy моделюється у 3D всередині програми, і той факт, що BIM Energy є веб-інтерфейсом і працює у вашому браузері.

BIM — це цифровий процес, який вимагає інвестицій у програмне забезпечення та комп'ютерні ресурси. Це потрібно розглядати як довгострокову інвестицію для бізнесу, прибуток якої зростає протягом певного періоду часу, а не очікувати значної економії коштів і переваг від першого проєкту.

З недоліків можна визначити:

• Найбільшою проблемою, яка може виникнути є висока вартість впровадження BIM.

1.4. Програмне забезпечення TerMus PLUS

TerMus PLUS спрощує створення енергетичної моделі будівлі, готової для розв'язувача EnergyPlus. На відміну від іншого програмного забезпечення, TerMus PLUS не вимагає великого введення даних для отримання розрахункової моделі. Він може автоматично читати спектр наборів даних з інформаційної моделі будівлі [7]. Цей енергетичний проєкт має динамічний розрахунок енергії та моделювання. На зображеннях нижче показаний логотип та інтерфейс програмного забезпечення, див. Рис. 1.7. та Рис. 1.8..

Рис. 1.7. Логотип TerMus PLUS

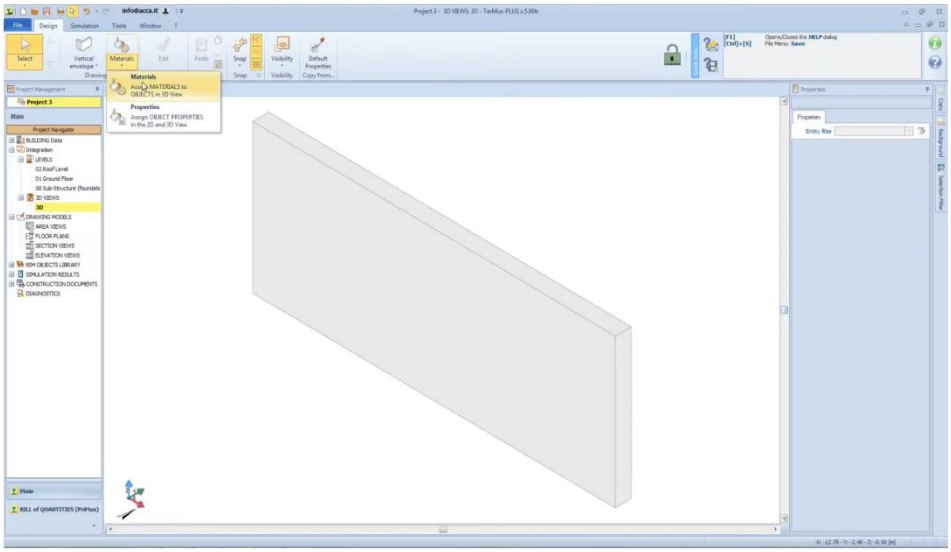


Рис. 1.8. Приклад інтерфейсу TerMus PLUS

Недоліки:

• Достатньо велика вартість впровадження

• Використовує EnergyPlus як плагін

1.5. Програмне забезпечення ResStock

Інструмент аналізу ResStock визначає, які покращення житла заощаджують найбільше енергії та грошей для міст, штатів, муніципалітетів, комунальних підприємств і виробників [8]. Цей інструмент обробляє дані суперкомп'ютерного моделювання зі статистичною моделлю характеристик житлового фонду, а також великих державних і приватних джерел даних. Нижче надано логотип, див. Рис. 1.9..

Рис. 1.9. Логотип ResStock

За підтримки Міністерства енергетики США (DOE) NREL розробив ResStock. Це універсальний інструмент, який застосовує новий підхід до великомасштабного аналізу енергії житлових приміщень, поєднуючи:

• Великі публічні та приватні джерела даних

• Статистична вибірка

• Детальне моделювання будівництва щогодини

• Високопродуктивні обчислення

Ця комбінація забезпечує безпрецедентну деталізацію та, що найважливіше, точність у моделюванні різноманітності житлового фонду та розподілу впливу будівельних технологій у різних громадах.

ResStock використовує екосистему OpenStudio та EnergyPlus з відкритим вихідним кодом DOE для енергетичного моделювання будівель. Завдяки суперкомп'ютерам NREL команда ResStock провела понад 20 мільйонів симуляцій із використанням статистичної моделі характеристик житлового фонду. Ці дані допомогли дослідникам виявити 49 мільярдів доларів потенційної щорічної економії комунальних рахунків внаслідок рентабельного підвищення енергоефективності.

Загальнодоступні результати аналізу ResStock, включно з дослідженням характеристик будівельного фонду США та набором даних профілів кінцевого використання, використовуються широким набором аналітиків, які представляють сотні міст, штатів, комунальних підприємств, виробників та інших організацій для прийняття рішень, пов'язаних із будівництвом.

2.РОЗРАХУНОК ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ.

2.1 Алгоритм розрахунку класів енергоефективності

Енергоефективність — це використання меншої кількості енергії для виконання того самого завдання, цілі тощо. Енергоефективні будинки та будівлі споживають менше енергії для обігріву, охолодження та роботи приладів і електроніки, а енергоефективні виробничі потужності споживають менше енергії для виробництва товарів. Класи розрізнюють за величиною відхилення у таблиці приведеній нижче. Самі класи позначаються латинськими літерами.

Таблиця 2.1

Класи енергоефективності

Класи енергетичної ефективності будинку за питомою енергопотребою	Різниця в % розрахункового або фактичного значення питомої енергопотреби ЕР від максимально допустимого значення EP_{max}, $[(EP - EP_{vax})/ EP_{max}]\cdot 100\%$
A	Мінус 50 та менше
B	Від мінус 49 до мінус 10
C	Від мінус 9 до 0
D	Від 1 до 25
E	Від 26 до 50
F	Від 51 до 75
G	76 та більше

Величину відхилення можна вирахувати за формулою нижче (2.1):

$$\frac{(Q_{буд} - E_{max}) * 100\%}{E_{max}} \quad (2.1)$$

де $Q_{буд}$ — це сукупність теплових втрат будинку на опалення, вентиляцію та гаряче водопостачання; E_{max} — це нормативна максимальна питома енергопотреба житлового будинку. Значення цього параметру можна побачити у таблиці нижче, див. Табл. 2.2 [9].

Таблиця 2.2

Нормативна максимальна питома енергопотреба житлових будинків

Ч.ч.	Призначення будівлі	Значення EP_{max}, кВт·год/м^2 [кВт·год/м^3], для температурної зони України	
		I	II
	Житлові будинки поверховістю:		
	Від 1 до 3	120	110
1	Від 4 до 9	83	81
	Від 10 до 16	77	75
	17 і більше	70	68

Ці норми розрізнюють за зонами. На Рис. 2.1. нижче можна побачити, до якої із зон належить кожний регіон країни.



Рис. 2.1. Температурні зони України

2.2 Опис сукупності теплових втрат будинку.

Витрати будинку залежать із витрат на опалення та вентиляцію. Ці витрати можна розписати формулою нижче (2.2):

$$Q_{буд} = Q_{оп} + Q_{вент} \tag{2.2}$$

Почнемо з розрахунку втрат на опалення $Q_{оп}$ (2.3):

$$Q_{оп} = Q_{стін} + Q_{вікон} + Q_{стелі} + Q_{підлоги} \tag{2.3}$$

Розрахунок тепловитрат через стіни

Втрати тепла через стіни розраховуються за формулою (2.4):

$$Q_{стін} = k_{стін} * S_{стін} * (t_{вн} - t_{зовн}) \tag{2.4}$$

де $k_{стін}$ — коефіцієнт теплопередачі стіни, Вт/(м^2*град.С); $S_{стін}$ — площа стін; $t_{вн}$\$t_{зовн}$ — температура повітря всередині та зовні відповідно, град. С.

Для кожного міста розглянемо з таблиці приведеної нижче, див. Рис. 2.3. [10]:

Таблиця 2.3

Показники градусо-доби опалювального періоду та зовнішня температура

Місто	Температура зовнішнього повітря в холодну пору року, °C	Тривалість опалювального періоду, діб	Середня температура опалювального періоду, °C	градусо-діб опалювального періоду
Ай-Петрі, АРК	-18	210	0.8	4032
Асканія-Нова, Херсонська область	-20	165	1.3	3086
Берегове, Закарпатська область	-15	152	2.1	2721
Вінниця	-21	182	-0.2	3677
Гайворон, Кіровоградська область	-22	174	0.3	3428
Генічеськ, Херсонська область	-19	160	1.5	2960
Гуляйполе, Запорізька область	-21	173	0.3	3409
Дніпро	-24	172	-0.2	3475
Донецьк	-22	176	-0.5	3608

Продовження Таблиці 2.3

Житомир	-22	184	-0.2	3717
Запоріжжя	-21	166	0.6	3221
Знам'янка, Кіровоградська область	-22	178	-0.4	3632
Золотоноша, Черкаська область	-21	177	-0.3	3594
Івано-Франківськ	-20	179	0.4	3509
Ізмаїл, Одеська область	-15	151	2	2718
Київ	-22	176	-0.1	3538
Кирилівка, Запорізька область	-22	175	-0.1	3518
Клепиніне, АРК	-21	157	2.2	2795
Ковель, Волинська область	-21	177	0.4	3470
Комісарівка, Дніпропетровська область	-20	175	-0.2	3535
Кривий ріг, Дніпропетровська	-17	171	0.2	3386
Кропивницький	-22	175	-0.3	3553
Лозова, Харківська область	-22	178	-0.8	3703
Лубни, Полтавська область	-23	180	-0.7	3726
Луганськ	-25	172	-0.4	3509
Луцьк, Волинська область	-20	180	0.3	3546
Львів	-19	179	0.4	3509
Любашівка, Одеська область	-19	172	0.3	3389
Миколаїв	-20	161	1.1	3043
Миронівка, Київська область	-22	178	-0.3	3614
Міжгір'я, Закарпатська область	-15	178	0.9	3400
Овруч, Житомирська область	-21	186	-0.3	3776
Одеса	-18	158	2	2844

Продовження Таблиці 2.3

Плай, Закарпатська область	-20	245	-1.1	5170
Пожежевська, Івано-Франківська область	-20	250	-0.9	5225
Полтава	-23	178	-0.8	3703
Рахів, Закарпатська область	-15	175	1	3325
Рівне	-21	182	0.1	3622
Роздільна, Одеська область	-17	164	0.9	3133
Ромни, Сумська область	-23	185	-1.1	3904
Сарата, Одеська область	-20	158	1.7	2892
Сарни, Рівненська область	-21	181	0.1	3602
Семенівка, Чернігівська область	-24	192	-1.3	4090
Сімферополь, АРК	-15	154	2.6	2680
Суми	-25	187	-1.4	4002
Тернопіль	-20	184	-0.2	3717
Ужгород, Закарпатська область	-18	154	1.4	2865
Умань, Черкаська область	-20	179	-0.1	3598
Феодосія, АРК	-15	142	3.6	2329
Харків	-23	179	-1	3759
Херсон	-19	163	1.3	3049
Хмельницький	-21	183	-0.1	3679
Хуст, Закарпатська область	-16	165	1.7	3020
Черкаси	-21	178	-0.3	3614
Чернівці	-20	175	0.5	3413
Чернігів	-23	187	-0.9	3909
Ялта, АРК	-6	31	26	---

$k_{стін}$ — коефіцієнт теплопередачі стіни Вт/(м2*град.С); розраховується за формулою приведеною нижче (2.4):

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{вн}} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} \dots + \frac{d_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_{зовн}}}$$

(2.4)

де d_1/d_2 — товщина першого/другого шару стіни, м; $\lambda_1\backslash\lambda_2$ — коефіцієнт теплопровідності першого шару стіни, Вт/(м*К). Цей коефіцієнт ми обираємо з таблиці нижче, див. Рис.2.4. [11]:

Таблиця 2.4.

Таблиця коефіцієнтів теплопровідності будівельних матеріалів

Матеріал	Щільність, кг/куб.м	Теплопровідність, Вт/(м*К)
Залізобетон	2500	2.04
Бетон на гравії або щебені	2400	1,86
Туфобетон	1800	0.99
*	1600	0.81
*	1400	0.58
*	1200	0.47
Пемзобетон	1600	0.68
*	1400	0.54
*	1200	0.43
*	1000	0.34
*	800	0.26
Бетон на вулканічному шлаку	1600	0.70
*	1400	0.58
*	1200	0.47
*	1000	0.35
*	800	0.29
Керамзитобетон на керамзитовому піску та керамзитопенобетон	1800	0.92
*	1600	0.79
*	1400	0.65
*	1200	0.52
*	1000	0.41
*	800	0.31
*	600	0.26
*	500	0.23
Керамзитобетон на кварцовому піску з поризацією	1200	0.58

Продовження Таблиці 2.4

*	1000	0.47
*	800	0.35
Керамзитобетон на перлітовому піску	1000	0.41
*	800	0.35
Шунгізітобетон	1400	0.64
*	1200	0.50
*	1000	0.38
Перлітобетон	1200	0.50
*	1000	0.38
*	800	0.33
*	600	0.23
Шлакопемзобетон (термозитобетон)	1800	0.76
*	1600	0.63
*	1400	0.52
*	1200	0.44
*	1000	0.37
Шлакопемзопенобетон та шлакопемзогазобетон	1600	0.70
*	1400	0.58
*	1200	0.47
*	1000	0.41
*	800	0.35
Бетон на доменних гранульованих шлаках	1800	0.81
*	1600	0.64
*	1400	0.58
*	1200	0.52
Аглопоритобетон та бетони на паливних (котельних) шлаках	1800	0.93
*	1600	0.78
*	1400	0.65
*	1200	0.54
*	1000	0.44

Продовження Таблиці 2.4

*	1000	0.37
Шлакопемзопенобетон та шлакопемзогазобетон	1600	0.70
*	1400	0.58
*	1200	0.47
*	1000	0.41
*	800	0.35
Бетон на доменних гранульованих шлаках	1800	0.81
*	1600	0.64
*	1400	0.58
*	1200	0.52
Аглопоритобетон та бетони на паливних (котельних) шлаках	1800	0.93
*	1600	0.78
*	1400	0.65
*	1200	0.54
*	1000	0.44
Бетон на зольному гравії	1400	0.58
*	1200	0.47
*	1000	0.35
Вермікулітобетон	800	0.26
*	600	0.17
*	400	0.13
*	300	0.11
Газобетон, пінобетон, газосилікат, піносилікат	1000	0.47
*	800	0.37
*	600	0.26
*	400	0.15
*	300	0.13
Газозолобенон та пенозолобетон	1200	0.58
*	1000	0.50
*	800	0.41

Продовження Таблиці 2.4

Цементно-піщаний розчин	1800	0.93
Складний (пісок, вапно, цемент) розчин	1700	0.87
Вапняно-піщаний розчин	1600	0.81
Цементно-шлаковий розчин	1400	0.64
*	1200	0.58
Цементно-перлітовий розчин	1000	0.30
*	800	0.26
Гіпсо-перлітовий розчин	600	0.23
Поризований гіпсо-перлітовий розчин	500	0.19
*	400	0.15
Плити з гіпсу	1200	0.47
*	1000	0.35
Листи гіпсові обшивочні (суха штукатурка)	800	0.21
Кладка із глиняної цегли на цементно-піщаному розчині	1800	0.81
Кладка з глиняної цегли на цементно-шлаковому розчині	1700	0.76
Кладка із глиняної цегли на цементно-перлітовому розчині	1600	0.70
Кладка із силікатної цегли на цементно-піщаному розчині	1800	0.87
Кладка з цегельної трепели на цементно-піщаному розчині	1200	0.52
*	1000	0.47
Кладка із шлакової цегли на цементно-піщаному розчині	1500	0.70
Кладка з керамічної пустотної цегли щільністю 1400 кг/куб.м.на цементно-піщаному розчині	1600	0.64
Кладка з керамічної пустотної цегли щільністю 1300 кг/куб.м.на цементно-піщаному розчині	1400	0.58
Кладка з керамічної пустотної цегли щільністю 1000 кг/куб.м.на цементно-піщаному розчині	1200	0.52

Продовження Таблиці 2.4

Кладка із силікатної одинадцятипустотної цегли на цементно-піщаному розчині	1500	0.81
Кладка із силікатної чотирнадцятипустотної цегли на цементно-піщаному розчині	1400	0.76
Облицювання гранітом, гнейсом, базальтом	2800	3.49
Облицювання мармуром	2800	2.91
Облицювання вапняком	2000	1.28
*	1800	1.05
*	1600	0.81
*	1400	0.58
Облицювання туфом	2000	1.05
*	1800	0.81
*	1600	0.64
*	1400	0.52
*	1200	0.41
*	1000	0.29
Сосна, ялина поперек волокон	500	0.18
Сосна, ялина вздовж волокон	500	0.35
Дуб упоперек волокон	700	0.23
Дуб вздовж волокон	700	0.41
Фанера клеєна	500	0.18
Картон облицювальний	1000	0.23
Картон будівельний багатошаровий	650	0.18
ДВП та ДСП	1000	0.29
*	800	0.23
*	600	0.16
*	400	0.13
*	200	0.08
Плити фібролітові та арболітові на портландцементі	800	0.30
*	600	0.23

Продовження Таблиці 2.4

*	400	0.16
*	300	0.14
Плити очеретяні	300	0.14
*	200	0.09
Плити торф'яні теплоізоляційні	300	0.08
*	200	0.064
Пакля	150	0.07
Мати мінераловатні прошивні та на синтетичному сполучному	125	0.07
*	75	0.064
*	50	0.06
Плити мінераловатні на синтетичному та бітумному сполучному	350	0.11
*	300	0.09
*	200	0.08
*	100	0.07
*	50	0.06
Плити мінераловатні підвищеної жорсткості на органофосфатному сполучному	200	0.076
Плити мінераловатні напівжорсткі на крохмальному сполучному	200	0.08
*	125	0.064
Плити зі скляного штапельного волокна на синтетичному сполучному	50	0.064
Мати зі скловолокна прошивні	150	0.07
Пінополістирол	150	0.06
*	100	0.052
*	40	0.05
Пінопласт ПХВ-1 та ПВ-1	125	0.064
*	100 і менше	0.052
Пінополіуретан	80	0.05
*	60	0.041

Продовження Таблиці 2.4

*	40	0.04
Плити з резольно-фенолформальдегідного пінопласту	100	0.076
*	75	0.07
*	50	0.064
*	40	0.06
Перлітопластбетон	200	0.06
*	100	0.05
Перлітофосфогелеві вироби	300	0.12
*	200	0.09
Засипка гравію керамзитового	800	0.23
*	600	0.20
*	400	0.14
*	300	0.13
*	200	0.12
Засипання гравію шунгізитового	800	0.23
*	600	0.20
*	400	0.14
Засипання щебеню з доменного шлаку, шлакової пемзи та аглопориту	800	0.26
*	600	0.21
*	400	0.16
Засипання щебеню та піску з перліту спученого	600	0.12
*	400	0.09
*	200	0.08
Засипка вермікуліту спученого	200	0.11
*	100	0.08
Засипання піску	1600	0.58
Піноскло або газоскло	400	0.14
*	300	0.12
*	200	0.09
Азбестоцементні листи плоскі	1800	0.52

Продовження Таблиці 2.4

*	1600	0.41
Бітуми нафтові	1400	0.27
*	1200	0.22
*	1000	0.17
Вироби зі спученого перліту на бітумному сполучному	400	0.13
*	300	0.099
Руберoїд	600	0.17
Лінолеум полівінілхлоридний багатошаровий	1800	0.38
*	1600	0.33
Лінолеум полівінілхлоридний на тканинній підоснові	1800	0.35
*	1600	0.29
*	1400	0.23
Сталь стрижнева арматурна	7850	58
Чавун	7200	50
Алюміній	2600	221
Мідь	8500	407
Скло віконне	2500	0.76

де dn, λn — За наявності додаткових шарів – за принципом d1 та λ1; $\alpha_{вн}$\$\alpha_{зовн}$ — коефіцієнт тепловіддачі від внутрішнього\зовнішнього повітря; $\alpha_{вн}$ за стандартом = 8,7; $\alpha_{зовн}$ для зовнішніх стін без повітряного прошарку обираємо 23; для стін з повітряним прошарком та з не опалювальними приміщеннями використовуємо 12.

Розрахунок тепловитрат через вікна

$$Q_{вікон} = k_{вікон} * S_{вікон} * (t_{вн} - t_{зовн}) \quad (2.5)$$

де $k_{вікон}$ — коефіцієнт теплопередачі вікон, Вт/(м2*град.С); $S_{вікон}$ — площа вікон,$м^2$; $t_{вн}$\$t_{зовн}$ — температура повітря всередині\зовні, град. С;



Рис. 2.2. Зони для розрахунку площі вікна

$k_{вікон}$ - знаходимо за формулою нижче;(2.6)

$$k = \frac{k_{ст} \cdot F_{ст} + k_р \cdot F_р + P \cdot \Psi}{F_{загал}}$$

(2.6)

$K_{ст}\backslash k_р$ - коефіцієнт теплопередачі скло-пакета\рами, Вт/(м2*град.С); Цю інформацію можна дізнатись у виробника

$F_{ск}\backslash F_р$ - площа скло-пакета\рами, $м^2$;

P - периметр скління, м;

ψ - коефіцієнт для врахування теплопередачі алюмінієвої смуги. За стандартом враховуємо 0,07

Розрахунок тепловитрат через стелі

$$Q_{стелі} = k_{стелі} * S_{стелі} * (t_{вн} - t_{зовн})$$

(2.7)

$k_{стелі}$ - коефіцієнт теплопередачі стелі, Вт/(м^2*град.С);

$S_{стелі}$ - площа стелі;

$t_{вн}$\$t_{зовн}$ - температура повітря всередині\зовні, град. С;

$k_{стелі}$ розраховується за формулою нижче(2.8)

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{вн}} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} \dots + \frac{d_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_{зовн}}}$$

(2.8)

k - коефіцієнт теплопередачі стелі, Вт/(м2*град.С);

d_1\d_2 - товщина першого\другого шару стелі , м;

λ_1\λ_2 - коефіцієнт теплопровідності першого\другого шару стелі, Вт/(м*К);

d_n, λ_n - за наявності додаткових шарів d_1 и λ_1;

$\alpha_{вн}$\$\alpha_{зовн}$ - коефіцієнт тепловіддачі від внутрішнього\зовнішнього повітря до стелі;

$\alpha_{вн}$ за стандартом 8,7;

$\alpha_{зовн}$ У випадку стелі мансарди з повітряним прошарком приймаємо рівним 23. У варіанті стелі з просвітами між дахом і стелею, а також за наявності горища, що не опалюється, приймаємо рівним 12.

Розрахунок тепловитрат через підлогу

$$Q_{підлоги} = k_{підлоги} * S_{підлоги} * (t_{вн} - t_{зовн})$$

(2.9)

$k_{підлоги}$ - коефіцієнт теплопередачі підлоги, Вт/(м^2*град.С);

$S_{підлоги}$ - площа підлоги;

$t_{вн}$ - температура повітря всередині, град. С;

$t_{зовн}$ - температура повітря/грунту зовні, град. С; За стандартом використовуємо 5 град.С

Розрахунок підлоги над грунтом

У випадку, коли підлога розташовується на лагах, над підвалом, котрий не опалюється, це можна врахувати $k_{підлоги}$ за формулою нижче:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{вн}} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} \dots + \frac{d_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_{зовн}}}$$

(2.10)

k - коефіцієнт теплопередачі підлоги, Вт/(м^2*град.С);

d_1\d_2 - товщина першого\другого шару підлоги, м;

λ_1\λ_2 - коефіцієнт теплопровідності першого\другого шару підлоги, Вт/(м*К);

d_n, λ_n - якщо є ще шари – за принципом d_1 та λ_1;

$\alpha_{вн}$ - коефіцієнт тепловіддачі від внутрішнього повітря до підлоги; За стандартом обираємо рівним 6.

$\alpha_{зовн}$ - коефіцієнт тепловіддачі від підлоги до зовнішнього повітря/грунту. Цей параметр можна обрати з таблиці приведеної нижче:Рис.2.6

Таблиця 2.5.

Вибірка виду вашої підлоги

Під підлогою	α, Вт/(кв.м.*град.С)
холодний підвал, сполучений із зовнішнім повітрям	17
неопалювані підвали зі світловими отворами у стінах	12
неопалювальні підвали без світлових прорізів у стінах вище рівня землі, технічні підпілля нижче рівня землі	6

Розрахунок підлоги яка знаходиться на ґрунті

$k_{підлоги}$ можна визначити за формулою нижче:(2.10)

$$k = \frac{1}{R_c + \frac{d}{\lambda}}$$

(2.10)

d - товщина шару, що утеплює, м;

λ - коефіцієнт теплопровідності шару, що утеплює, Вт/(м^2*град.С);

R_c по зонах завширшки 2 м, паралельним зовнішнім стінам, приймаємо рівним 2,1 для першої зони; 4,3 для 2-й зони; 8,6 для 3-й зони и 14,2 для решти площі.

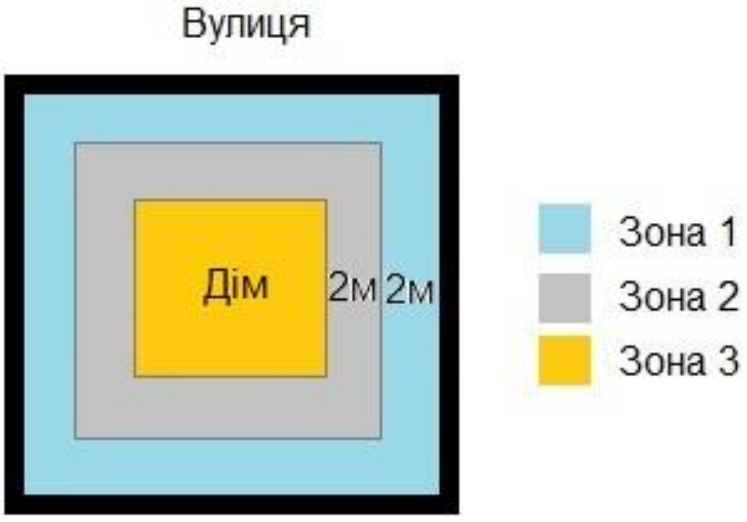


Рис. 2.3. Зони ґрунту

Розрахунок тепловитрат через нагрівання припливного повітря

$$Q_{вент} = 0.28* V_{вид} * \rho * C * (t_{вн} - t_{зов}) * k \quad (2.11)$$

$Q_{вент}$ - кількості тепла, необхідне для нагрівання інфільтрації, Вт;

$V_{вид}$ - втрати повітря, що видаляється, $м^3$/год;

Для розрахунку за стандартом обираємо рівною 3 куб.м./год на кожний кв.м. площі будинку.

ρ - щільність повітря у приміщенні, кг./$м^3$.;

Для розрахунку за стандартом обираємо рівною 1,1.

С - питома теплоємність повітря, кДж/(кг*К);

Для розрахунку за стандартом обираємо рівною 1.

$t_{вн}$\$t_{зов}$ - температура приміщення\зовнішнього повітря, град.С;

k - коефіцієнт врахування зустрічного теплового потоку в конструкціях.

Для розрахунку за стандартом обираємо рівною 1.

3. ОПИС РОЗРОБЛЕНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.

3.1. Функціональне призначення програмного забезпечення.

Програмне забезпечення “Energy Home”, розроблене на базі пакету прикладних программ для рішення задач технічних обчислень MATLAB, призначене для аналізу даних, наданих користувачем, їх обробка та адаптація до вимог приватного будинку. Проведення автоматичного розрахунку втрат енергії будинку, а саме втрати через: стіни, вікна, стелі, підлогу, а також на інфільтрацію(втрати енергії на нагрівання приливного повітря). Призначення будівлі клас енергоефективності.

3.2. Алгоритм роботи програмного забезпечення.

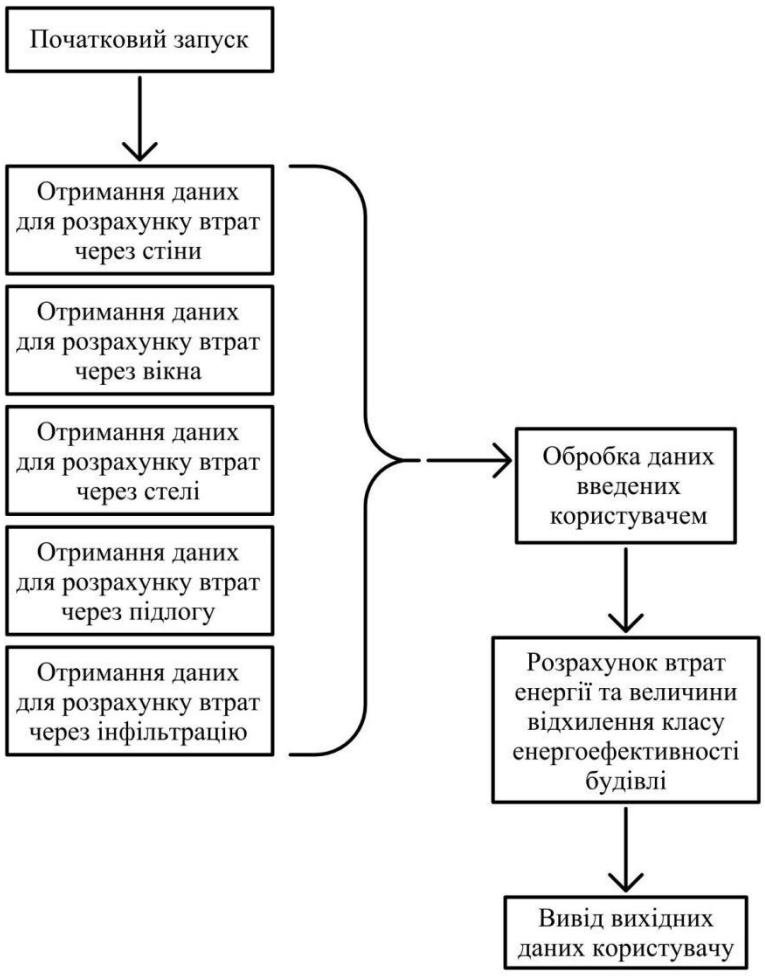


Рис. 3.1. Алгоритм роботи програмного забезпечення

3.3. Опис інтерфейсу додатку

На першій, заголовній сторінці додатку ми можемо перейти до розрахунку, натиснувши на кнопку з аналогічною назвою.

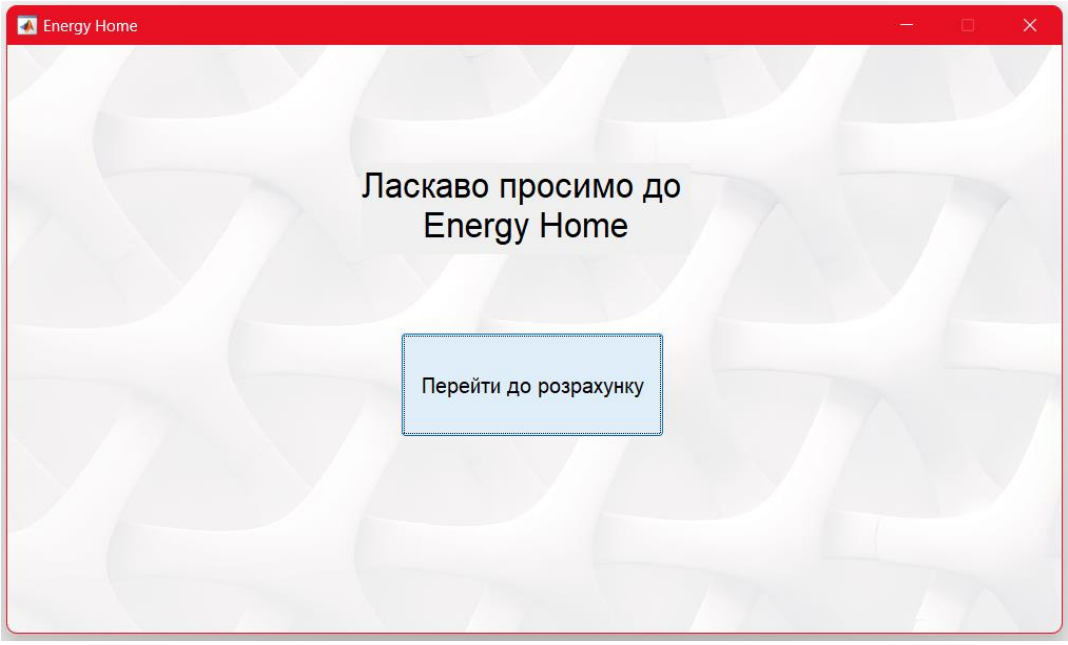


Рис. 3.2. Інтерфейс першої сторінки програми

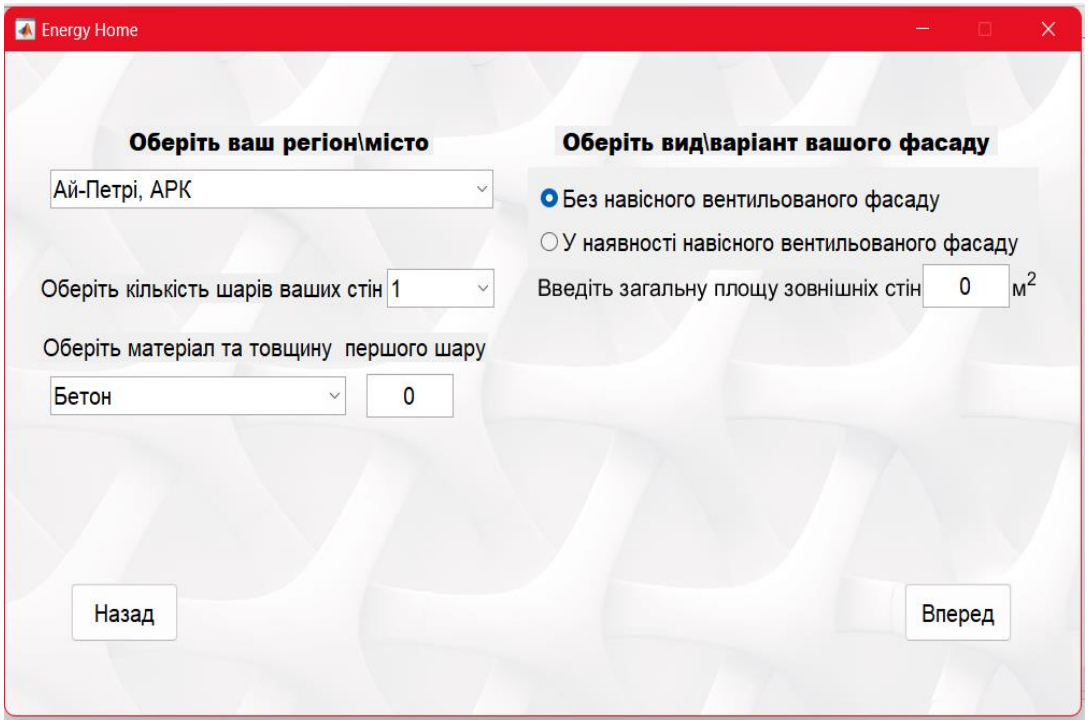


Рис. 3.3. Інтерфейс другої сторінки програми

На другій сторінці ПО ми заводимо показники для розрахунку. Обираємо ваше місто, регіон вид фасаду. Наступним етапом заводимо загальну площу зовнішніх стін у м^2. Наприкінці сторінки обираємо кількість шарів ваших стін та їх товщину.Товщину задаємо у метрах. Далі переходимо до наступного етапу.

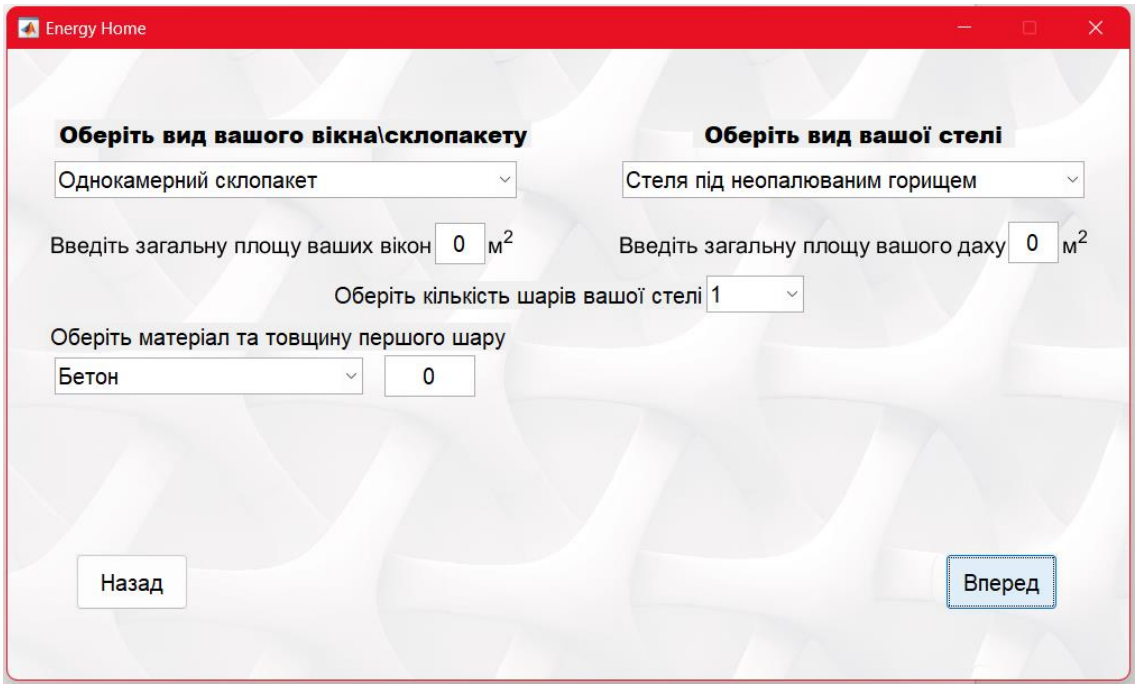


Рис. 3.4. Інтерфейс третьої сторінки програми

На третій сторінці ми обираємо вид вашого вікна та стелі. Наступним етапом ми заводимо загальну площу ваших вікон та даху у м^2. Наприкінці ми обираємо кількість шарів вашої стелі. Обираємо матеріали ваших шарів та товщини у метрах.Переходимо далі, натиснувши на кнопку вперед.

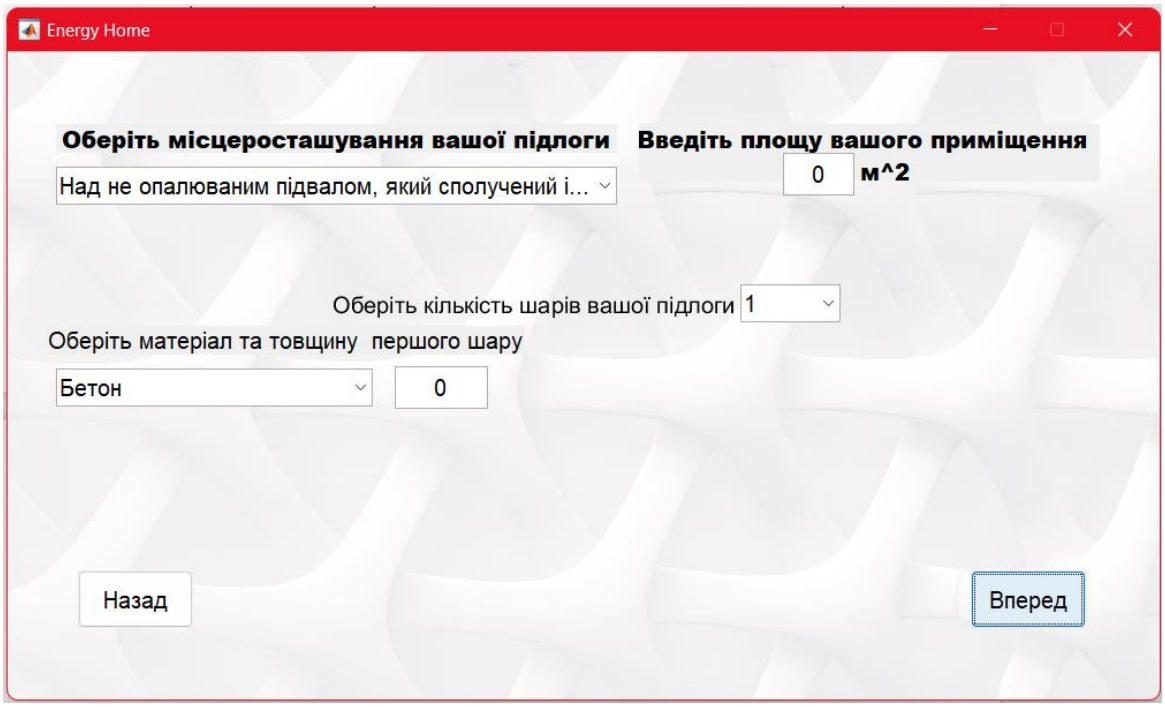


Рис. 3.5. Інтерфейс четвертої сторінки програми

На четвертому етапі обираємо вид або місце-влаштування вашої підлоги та її особливості, також заводимо площу вашого приміщення у м^2. Наступним етапом ми заводимо кількість шарів вашої підлоги. Далі обираємо матеріали шарів підлоги та їх товщину у метрах.

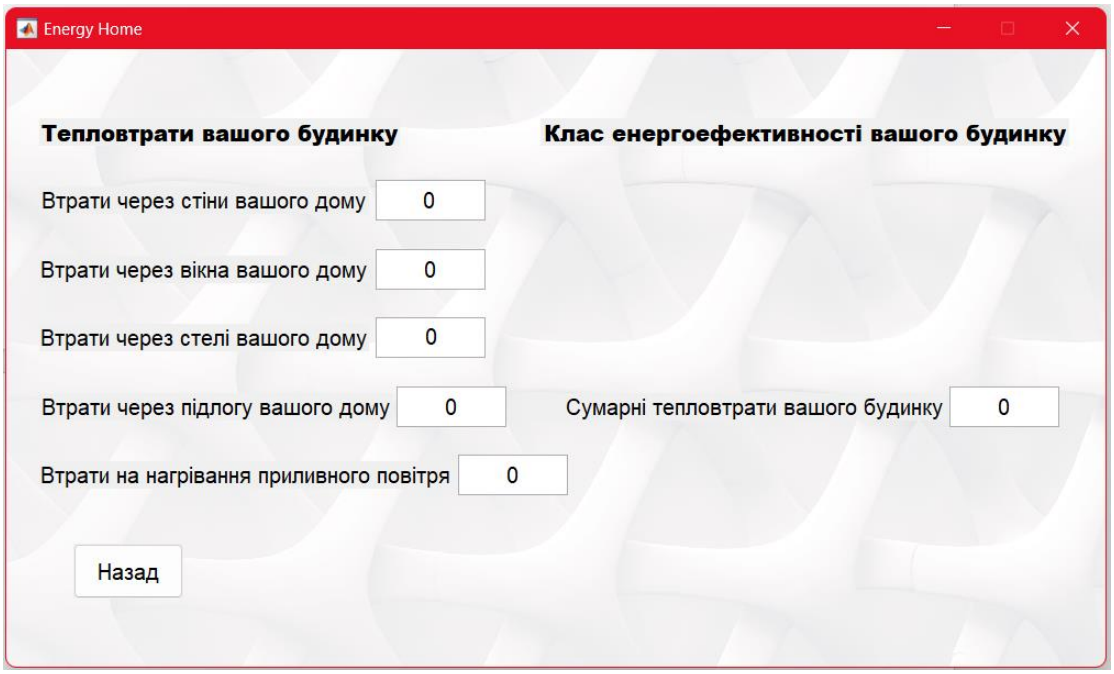


Рис. 3.6. Інтерфейс п’ятої сторінки програми

У фіналі програма надає результати розрахунку втрат енергії вашого будинку через: стіни, вікна, стелі, а також підлогу. Також програмне забезпечення видає результати розрахунку енергії на інфільтрацію, а також сумарні тепло-втрати енергії вашого дому. Програмою буде присвоєно вашому дому один із семи класів енергоефективності: A, B, C, D, E, F, G.

4. ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПРИВАТНОГО БУДИНКУ.

Для тестового розрахунку оберемо будинок з таким планом зображення котрого можна побачити на Рис. 3.7..



Рис. 3.7. План будівлі для розрахунку енергоефективності

Запускаємо програму, та натискаємо кнопку “Перейти до розрахунку”.

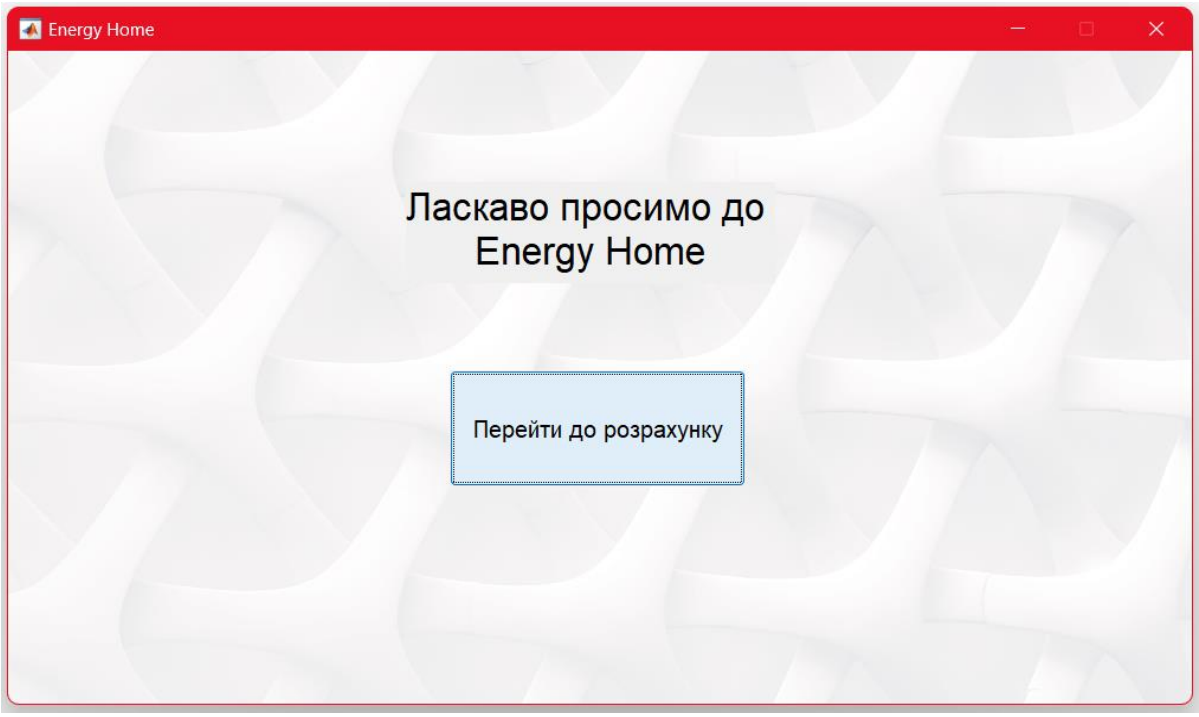


Рис. 3.8. Перша сторінка програмного забезпечення з тестовими даними

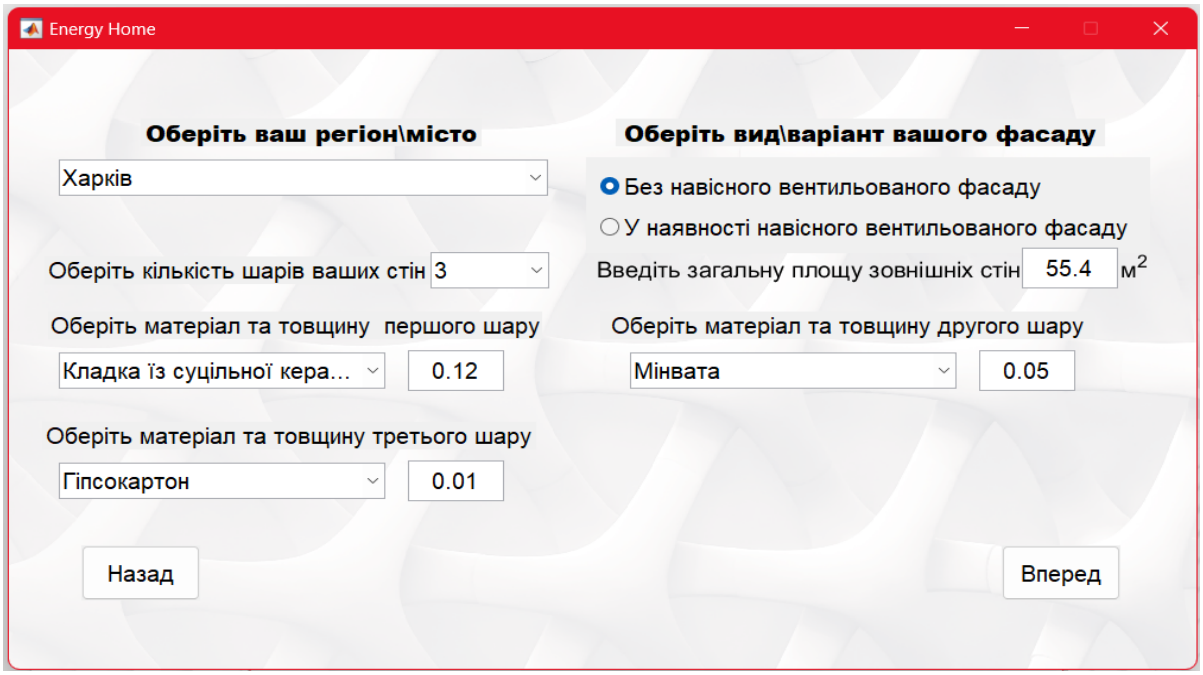


Рис. 3.9. Друга сторінка програмного забезпечення з тестовими даними

Заводимо наші показники до другої сторінки.

Наша будівля знаходиться у Харкові, вона не оснащена вентильованим фасадом. Площа зовнішніх стін дому 55.4 м^2, стіни складаються із 3 шарів. Перший шар складається з кладки із суцільної керамічної цеглі товщиною 0.12 м. Другий шар складається з мінвати товщиною 0.05 метрів. Третій шар складається з гіпсокартону товщиною 0.01 метрів.

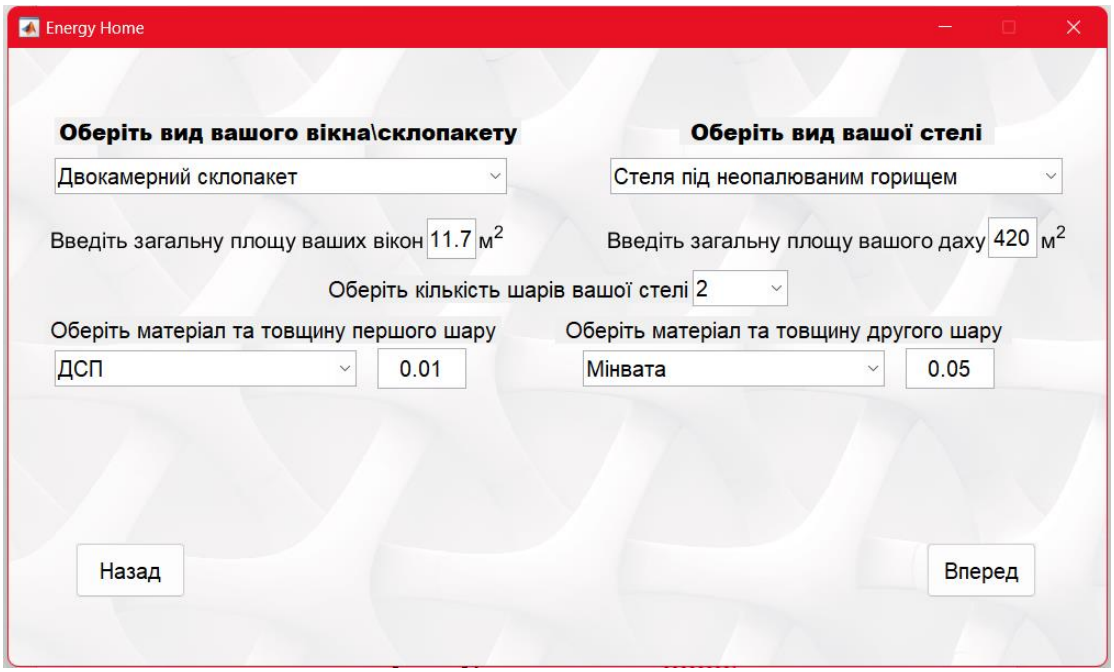


Рис. 3.10. Третя сторінка програмного забезпечення з тестовими даними

У наступному етапі обираємо двокамерний скло-пакет, також у нашому випадку будівля з має стелю з неопалюваним горищем. Полоща вікон дорівнює 11,7 м^2, а площа даху в свою чергу 420 м^2.У нашого будинку 2 шари стелі. Перший шар складається з ДСП товщиною 0.01 метрів а, другий складається з мінвати товщиною 0.05 метрів.

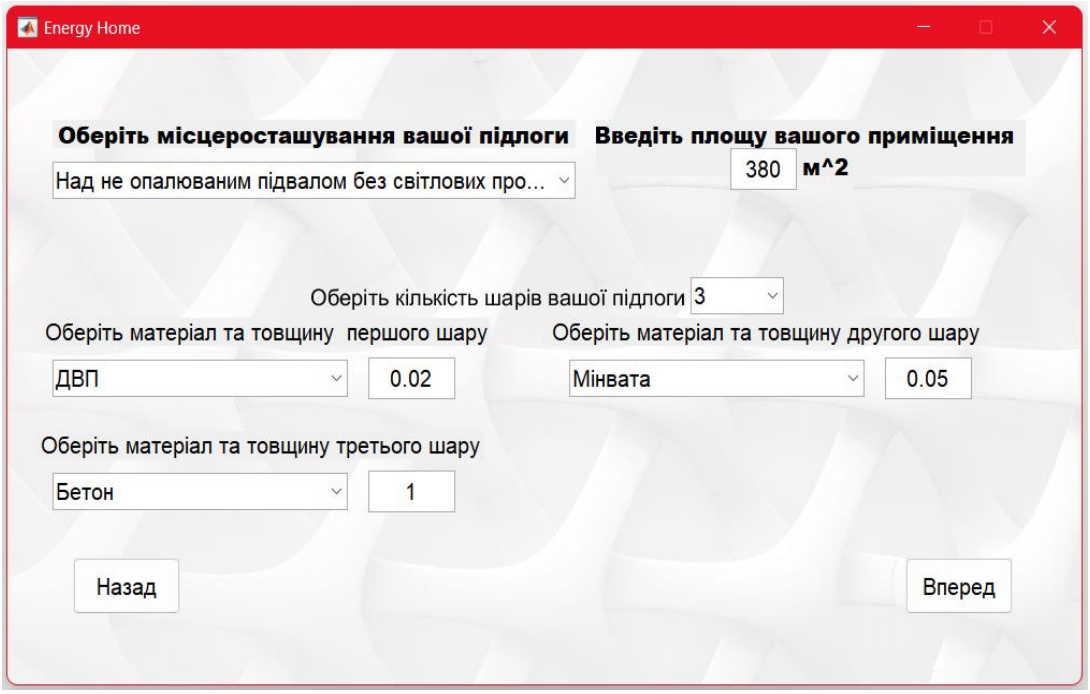


Рис. 3.11. Четверта сторінка програмного забезпечення з тестовими даними

На четвертій сторінці, у нашому випадку обираємо підлогу над не опалюваним підвалом без світлових прорізів. Вводимо площу приміщення 380 м^2.У нашої будівлі 3 шари підлоги. Перший шар ДВП товщиною 0.02 м. Другим шаром підлоги виступає мінвата товщиною 0.05 м. Третім шаром виступає бетон товщиною 1 м. Переходимо до наступного етапу.

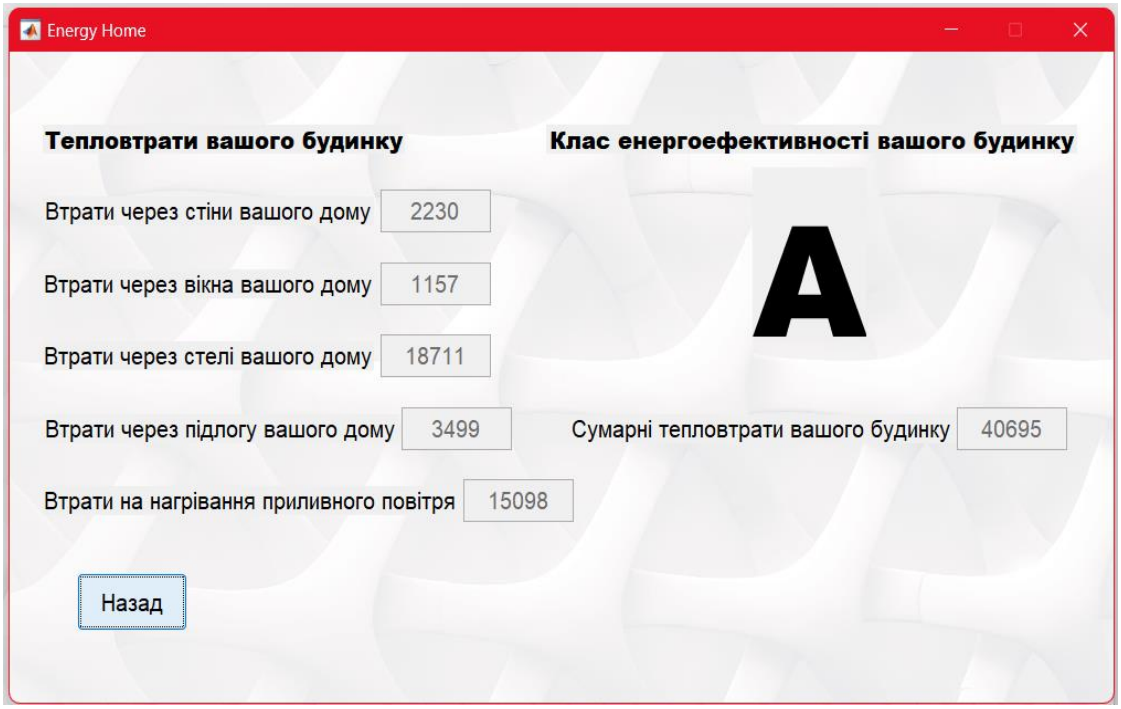


Рис. 3.12. П’ята сторінка програмного забезпечення з тестовими даними

У фіналі програма видала результати розрахунку. У нашому випадку: втрати через стіни дорівнюють 2230 Вт, втрати через вікна 1157 Вт, втрати через стелі 18711 Вт, втрати через підлогу 3499 Вт, втрати на інфільтрацію 15098 Вт. Сумарні втрати складають 40695 Вт. Нашому будинку програмне забезпечення присвоїло клас енергоефективності “А”.

ВИСНОВКИ

В процесі виконанні кваліфікаційної роботи були отримані наступні результати:

1. Зроблено огляд систем, що існують для аналізу енергоефективності будівель, виявлені їх переваги та недоліки.

2. Проведено алгоритм розрахунку енергоефективності приватних будівель.

3. Розроблено додаток “Energy Home” з впровадженням алгоритму розрахунку приватних будівель.

4. Проведено розрахунок енергоефективності приватного будинку за допомогою програмного забезпечення “Energy Home”. Додаток визначив втрати будинку та призначив будинку енергетичний клас.

Розроблене програмне забезпечення “Energy Home” дозволяє користувачу за введеними даними розрахувати клас енергоефективності, та у випадку класів з низькою енергоефективністю, допоможе підібрати будівельні матеріали для більшої енергоефективності приватної будівлі.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Energy Efficiency in Buildings [Електронний ресурс]: – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/271190669_Energy_Efficiency_in_Buildings

2. Energy Efficient Buildings with Solar and Geothermal Resources [Електронний ресурс]: – Режим доступу: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/9781118707050.fmatter

3. Building Services Design for Energy Efficient Buildings [Електронний ресурс]: – Режим доступу: https://www.academia.edu/41374863/Building_Services_Design_For_Energy_Efficient_Buildings_Sketches_For_Visualisations_Publisher_Routledge_KSB_1st_January_202020191220_98463_1ubq1fi

4. Handbook of Energy Efficiency in Buildings [Електронний ресурс]: – Режим доступу: https://dokumen.pub/qdownload/handbook-of-energy-efficiency-in-buildings-a-life-cycle-approach-0128128186-9780128128183.html

5. Energy Performance of Buildings [Електронний ресурс]: – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/287370115_Energy_efficiency_in_buildings

6. EnergyPlus [Електронний ресурс]: – Режим доступу: https://energyplus.net

7. Building Energy Optimization Tool [Електронний ресурс]: – Режим доступу: https://www.nrel.gov/buildings/beopt.html

8. BIM Energy [Електронний ресурс]: – Режим доступу: https://bimenergy.com

9. TerMus PLUS [Електронний ресурс]: – Режим доступу: https://www.accasoftware.com/en/dynamic-energy-analysis-and-simulation-software

10. Buildings Data and Tools [Електронний ресурс]: – Режим доступу: https://www.nrel.gov/buildings/data-tools.html

11. ДБН В.2.6-31:2016 “Теплова ізоляція будівель” [Електронний ресурс]: – Режим доступу: https://armis.com.ua/blog/library/dbn/228-dbn-v-2-6-31-2016

12. ДСТУ-Н Б В.1.1-27 2010 “Будівельна кліматологія” [Електронний ресурс]: – Режим доступу: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_27_2010/5-1-0-929

13. СНіП 2-3-79 [Електронний ресурс]: – Режим доступу: https://dnaop.com/html/45041/doc-%D0%A1%D0%9D%D0%B8%D0%9F_II-3-79_

14. NREL's buildings research [Електронний ресурс]: – Режим доступу: https://www.nrel.gov/buildings/

15. Energy Efficiency coefficients [Електронний ресурс]: – Режим доступу: https://unstats.un.org/oslogroup/meetings/og-04/docs/oslo-group-meeting-04-comments-issue-7.2-norway.pdf

16. Olgyay, V., 1963. Design with climate. Princeton University Press, New Jersey

17. Erell, E., Etzion, Y. (2000) Radiative cooling of buildings with at plate collectors, Building and Environment, Vol. 35, 297-305.

18. Jaikla, S., Nualboonrueng, T., Sichanugrist, P. (2005), Amorphous-Silicon Photovoltaic/Thermal Solar Collector in Thailand, Photovoltaic Specialists Conference, 2005. Conference Record of the Thirty-rst IEEE, 1687-1689.

19. Krarti, M.; Ihm, P. Evaluation of Net-Zero Energy Residential Buildings in the MENA Region. Sustain. Cities Soc. 2016, 22, 116–125

20. Yañez Parareda, G. (1982), Energía Solar, Edificación y Clima, Tomo I, Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, Servicio de Publicaciones, Madrid, España.

21. Givoni, B., 1994. Passive and Low Energy Cooling of Buildings. Van Nostrand Reinhold Ed., New York.