

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

І.О. Суходуб, В.І. Дешко, О.І. Яценко

ПРИКЛАДНІ ЗАДАЧІ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДІВЛІ З ТЕПЛОВИМ НАСОСОМ

Комп'ютерний практикум

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для студентів
спеціальності 144 «Теплоенергетика»*

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2022

Рецензент: Данілін О.В., канд. техн. наук, доцент
Відповідальний редактор: Дубровська В.В., канд. техн. наук, доцент

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
(протокол № 6 від 24.06.2022 р.)
за поданням Вченої ради Інституту енергозбереження та енергоменеджменту
(протокол № 10 від 31.05.2022 р.)*

Електронне мережне навчальне видання

*Суходуб Ірина Олегівна, канд. техн. наук, доцент
Дешко Валерій Іванович, док. техн. наук, професор
Яценко Олена Ігорівна, асистент*

ПРИКЛАДНІ ЗАДАЧІ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДІВЛІ З ТЕПЛОВИМ НАСОСОМ

Прикладні задачі енергозбереження: Моделювання системи теплозабезпечення будівлі з тепловим насосом: Комп'ютерний практикум [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 144 «Теплоенергетика» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: І.О. Суходуб, В.І. Дешко, О.І. Яценко. – Електронні текстові дані (1 файл: 4,98 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 43 с.

Видання призначене для студентів спеціальності 144 «Теплоенергетика» освітньо-професійної програми «Енергетичний менеджмент та інжиніринг теплоенергетичних систем» під час вивчення кредитного модуля «Прикладні задачі енергозбереження». Дане видання рекомендоване для освоєння спеціалізованого програмного забезпечення для моделювання систем теплозабезпечення з тепловими насосами і буде використовуватися під час проведення комп'ютерних практикумів. Матеріали, наведені у даному навчальному виданні, також можуть бути використані під час виконання досліджень в рамках магістерських дисертацій та при розробці спеціальних частин дипломних проєктів бакалавра.

© І.О. Суходуб, В.І. Дешко, О.І. Яценко, 2022
© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1. МЕТА ТА ОСНОВНІ ЗАВДАННЯ РОБОТИ.....	5
2. ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ	6
3. ЗАВАНТАЖЕННЯ ТА ОЗНАЙОМЛЕННЯ З ПРОГРАМОЮ T*SOL	7
4. ДАНІ ПРОЄКТУ	10
5. ВИБІР СИСТЕМИ.....	12
6. ОПАЛЕННЯ ПРИМІЩЕНЬ	15
7. ГАРЯЧЕ ВОДОПОСТАЧАННЯ	17
8. ТЕПЛОГЕНЕРАТОР.....	18
9. ДЖЕРЕЛО ТЕПЛОТИ	21
10. РЕЖИМ РОБОТИ	24
11. БАК	25
12. РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПОБУДОВА ГРАФІКІВ	26
13. ФІНАНСОВИЙ АНАЛІЗ	31
14. РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИКОНАННЯ КОМП'ЮТЕРНОГО ПРАКТИКУМУ.....	34
15. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ.....	35
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ТА РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	36
ДОДАТОК А. ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ СИСТЕМИ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ З ТЕПЛОВИМ НАСОСОМ.....	37

ВСТУП

GeoT*SOL – програма для професійного планування, розрахунку та проектування систем теплозабезпечення з тепловими насосами шляхом динамічного моделювання. В програмі можна обирати між різними джерелами теплоти (грунт, повітря та підземні води) та режимами роботи (моновалентний, моноенергетичний та бівалентний) для певного місця розташування системи. Є також можливість інтеграції сонячних теплових систем та бівалентних систем з котлом як додаткове джерело теплопостачання.

Використання програмного продукту GeoT*SOL дозволяє:

- приймати оптимальні рішення для систем з тепловим насосом на основі інтелектуальних імітаційних моделей;
- дослідити особливості роботи системи теплозабезпечення з тепловим насосом за допомогою професійних звітів;
- порівняти вибрану систему з тепловим насосом зі звичайною системою теплопостачання для того щоб визначити економію.

В процесі виконання даного комп'ютерного практикуму студенти матимуть можливість ознайомитися з особливостями моделювання систем з тепловими насосами на базі програмного продукту GeoT*SOL. Кожен студент для обраної будівлі змодельовує власну систему з тепловим насосом для повного або часткового покриття потреб будівлі в тепловій енергії.

Методичні вказівки створені для виконання комп'ютерного практикуму «Моделювання системи теплозабезпечення будівлі з тепловим насосом» при вивченні кредитного модуля «Прикладні задачі енергозбереження». Опанування програмного продукту в рамках комп'ютерного практикуму також може бути корисним при виконанні досліджень для магістерських дисертацій та при розробці спеціальних частин дипломних проектів бакалаврів. Видання призначене для студентів спеціальності 144 «Теплоенергетика».

1. МЕТА ТА ОСНОВНІ ЗАВДАННЯ РОБОТИ

Мета роботи – закріпити знання, отримані в процесі вивчення дисципліни, освоїти методику енергетичної та економічної оцінки проектів з енергозабезпечення об'єктів з використанням теплових насосів для теплозабезпечення будівель у програмному середовищі GeoT*SOL.

Основні завдання роботи:

- Зібрати дані для об'єкту дослідження про фактичне енергоспоживання теплоти на потреби опалення та ГВП.
- Вибрати оптимальну систему з тепловим насосом.
- Підібрати тепловий насос, додатковий нагрівач та бак для системи.
- Промодельовати систему для визначення технічних, енергетичних та економічних показників роботи системи;
- Провести аналіз отриманих показників та визначити технічну та економічну доцільність впровадження системи.

2. ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ

Всі програмні продукти, розроблені компанією Valentin Software GmbH, спеціалізуються на моделюванні систем з нетрадиційними та відновлюваними джерелами енергії. Використання програм дозволяє визначити можливості фінансування проектів з чистої енергії з використанням місцевого потенціалу відновлюваних джерел енергії та врахуванням місцевих кліматичних умов.

В програмному продукті GeoT*SOL енергопотреба об'єкту, втрати та споживання визначаються в результаті динамічного похвилинного моделювання. На основі результатів програмою розраховується споживання електроенергії, сезонний коефіцієнт теплової продуктивності та витрати з урахуванням періодів, коли система не працює, а також тарифів. За допомогою цих показників програма GeoT*SOL оцінює економічну ефективність обраної системи. Вартість та ефективність приводяться не лише для обраної системи з тепловим насосом, а й для іншої системи з метою їх порівняння.



Програма GeoT*SOL має значну базу даних, яка містить:

- більше ніж 4000 колекторів (плоскі колектори, трубчасті колектори, повітряні колектори);
- 5000 котлів (конденсаційні, дров'яні, пелетні та ін.)
- 4000 теплових насосів (розсіл/вода, повітря/вода, вода/вода)
- 600 резервуарів (комбінованих і буферних, одновалентних, двовалентних тощо).

Крім того, програма часто оновлюється так як виробники можуть додавати нові моделі накопичувальних баки, котли, колектори та теплові насоси.

3. ЗАВАНТАЖЕННЯ ТА ОЗНАЙОМЛЕННЯ З ПРОГРАМОЮ T*SOL

Завантажити програму GeoT*SOL можна з офіційного сайту виробника: <https://valentin-software.com/en/downloads/>. Розробник дає можливість встановити безкоштовну версію програми терміном на 30 днів без реєстрації та оплати. Також для студентів є можливість купити програму зі значною знижкою для використання в навчальних цілях. Для отримання інформації щодо наявності ліцензій студентам необхідно звернутися до відповідального викладача.

Системні вимоги:

- З'єднання інтернет.
- Процесор: 1,5 GHz Pentium PC.
- RAM: 512 MB.
- Пам'ять жорсткого диска: 400 MB.
- Монітор: VGA, min. 1024x768, 16 bit color depth.
- Операційна система: Windows 8.1, Windows 10.
- Інше: Microsoft .Net Framework 4.7.2 Redistributable Package.

До навчальних матеріалів включено:

- GeoT*SOL tutorials: <https://valentin-software.com/en/training/tutorials/>;
- детальний посібник користувача (GeoT*SOL manual);
- GeoT*SOL datasheet.

Офіційна веб-сторінка GeoT*SOL представлена на рис. 3.1.

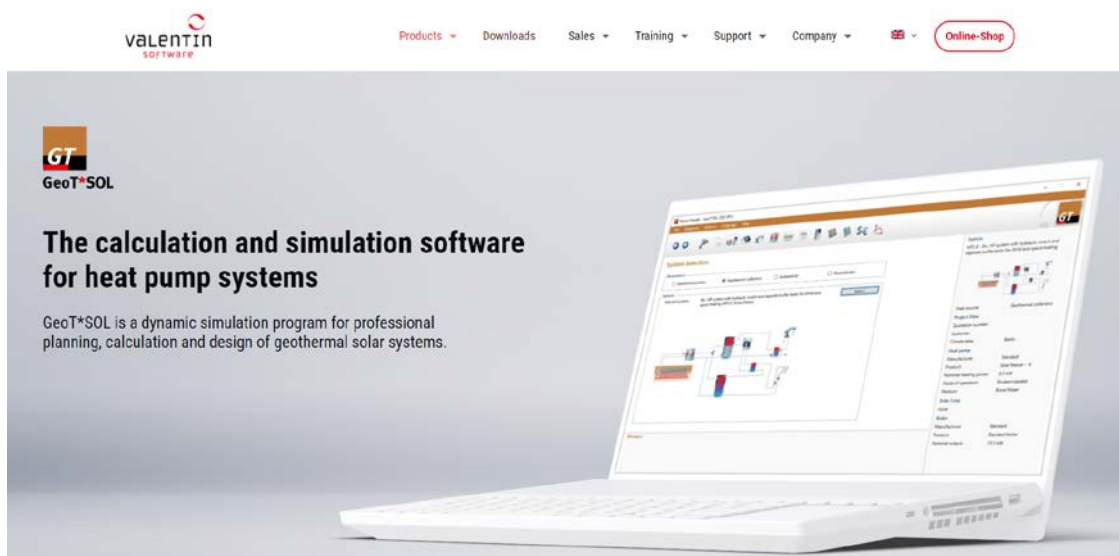


Рис. 3.1 – Офіційна веб-сторінка GeoT*SOL

При відкритті програми GeoT*SOL з'являється Welcome page (Стартова або вітальна сторінка), загальний вигляд якої Ви можете побачити на рис. 3.2.

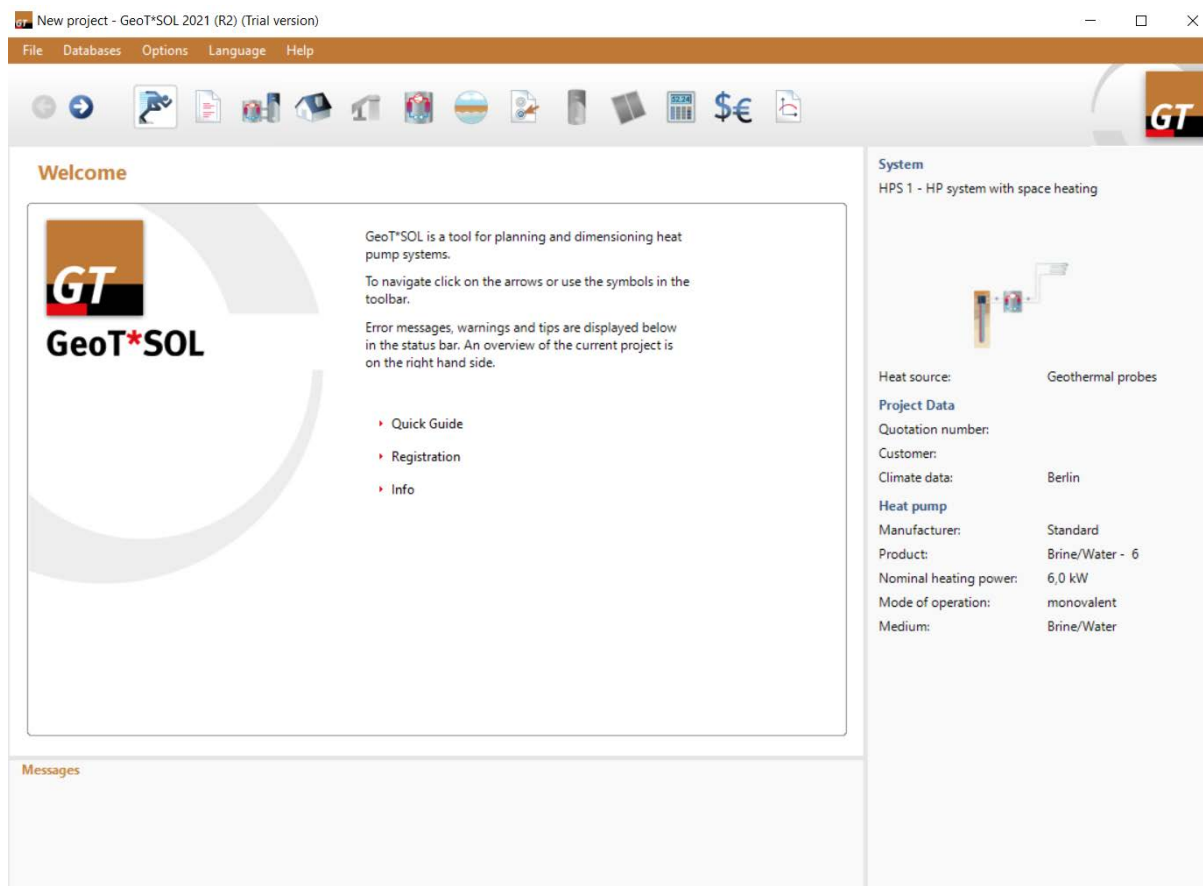


Рис. 3.2 – Стартова сторінка GeoT*SOL

При запуску програми одразу відкривається система опалення будівлі з тепловим насосом та ґрунтовим контуром. Навігаційна панель в залежності від типу системи, яка моделюється може містити елементи, наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1. Навігаційна панель програми GeoT*SOL

Зображення	Навігаційна сторінка	Опис
	Welcome / Стартова сторінка	Інформація про програму та посилання на посібник користувача
	Project data / Дані проекту	Інформація щодо назви та розміщення проекту, вибір кліматичних даних
	System selection / Вибір системи	Вибір джерела теплоти та типу системи
	Space heating / Опалення приміщень	Інформація щодо системи опалення, розрахункового навантаження та річної енергопотребы на опалення

Продовження таблиці 3.1.

	Domestic hot water / Гаряче водопостачання	Інформація щодо споживання та температури гарячої води, циркуляційного контуру
	Heat generator / Теплогенератор	Інформація щодо теплового насосу та додаткового джерела теплопостачання
	Heat source / Джерело тепла	Інформація щодо низькопотенційного джерела теплоти (повітря, ґрунтовий контур)
	Mode of operation / Режим роботи	Задання режимів роботи системи (моно- чи бівалентна)
	Tank / Бак	Об'єм баку та розрахункові тепловтрати з поверхні баку
	Solar loop / Сонячний контур	Задання вихідних даних щодо сонячного контуру: кількість, орієнтація та нахил колекторів, трубопроводи та насос
	Simulation results / Результати моделювання	Показники ефективності, споживання на опалення та охолодження, частка навантаження, яке покривається тепловим насосом
	Financial analysis / Фінансовий аналіз	Вихідні параметри та результати фінансового аналізу
	Result graphics / Графіки результатів	Графічна інтерпретація результатів моделювання: енергія, температури тощо

Моделювання системи теплозабезпечення з тепловим насосом включає наступні етапи:

- внесення загальних даних щодо об'єкту моделювання / будівлі;
- вибір відповідного типу системи та джерела низькопотенційної теплоти;
- внесення даних про енергоспоживання систем опалення та ГВП;
- вибір теплового насосу та баку;
- вибір режиму роботи системи;
- симуляція;
- аналіз результатів моделювання та фінансовий аналіз;
- висновки щодо доцільності впровадження проєкту.

4. ДАНІ ПРОЄКТУ

У відповідні поля вікна «Project Data / Дані проєкту» (рис. 4.1) вводяться наступні дані:

- Project name / Назва проєкту.
- Quotation number / Номер пропозиції.
- Customer / Дані про замовника.
- System location / Місцезнаходження системи.
- Customer address / Адреса замовника.
- Project description / Опис проєкту.
- Project Image / Фото проєкту.

Також у даному вікні необхідно обрати кліматичні дані для місця розташування системи, натиснувши “Select”. Після цього відкриється вікно, в якому можна буде обрати країну та місто, де розміщена система (рис. 4.2). Програма дає можливість обрати місце з використанням мапи (Map), списку (List), інших варіантів (Options). У вкладці опцій або інших варіантів є можливість імпортувати кліматичні дані з зовнішнього джерела.

Project Data

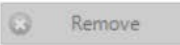
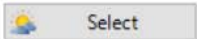
Project name:	Apartment modelling		
Quotation number:	n/a	Customer:	Igor Sikorsky KPI
System location:	Kyiv region, Ukraine	Customer address:	n/a
Project description:	Modelling of air to water heat pump for an apartment in multi-family residential building		
Project image:			
Climate data:	Kiev	 	
			

Рис. 4.1 – Дані проєкту

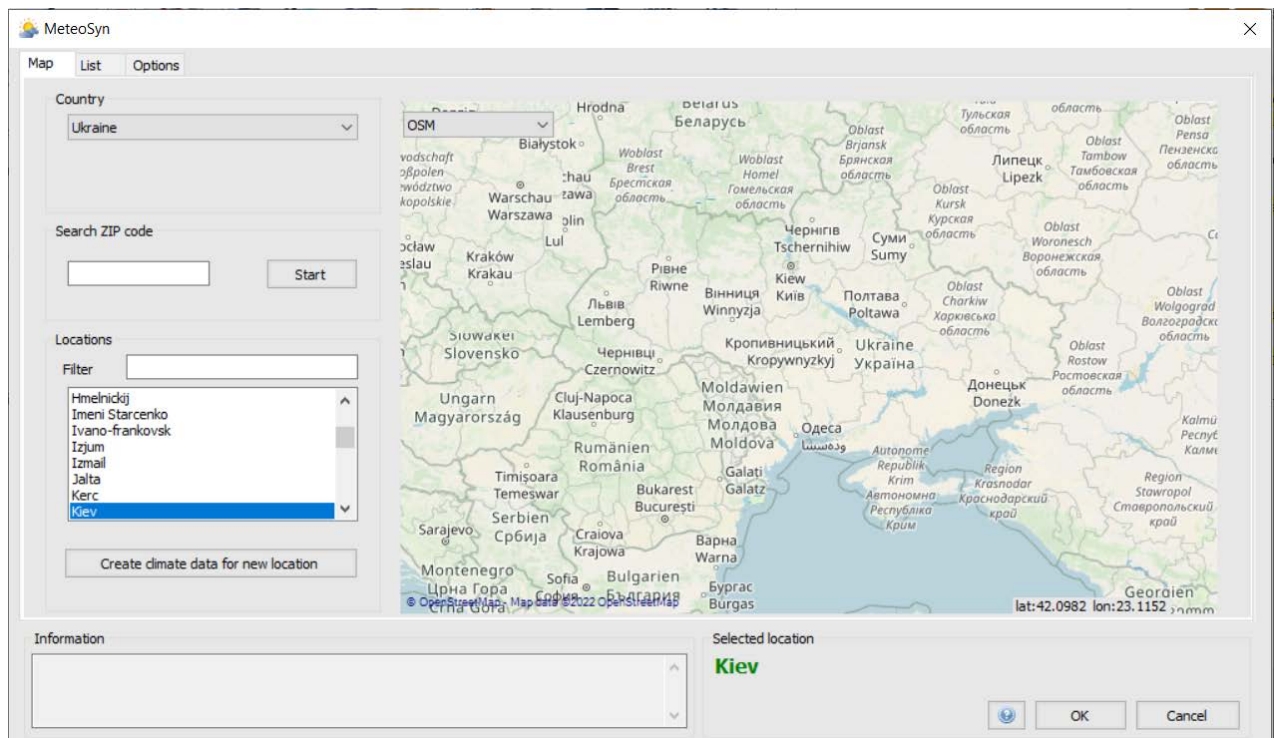


Рис. 4.2 – Місце розташування системи

5. ВИБІР СИСТЕМИ

При виборі системи у вікні «System Selection» спочатку потрібно обрати джерело низькопотенційної теплоти. Наступні джерела доступні для моделювання в програмі (рис. 5.1):

- Geothermal probes / Геотермальні зонди.
- Geothermal collectors / Геотермальні колектори.
- Ambient air / Зовнішнє повітря.
- Groundwater / Ґрунтові води.

При зміні джерела зображення системи буде змінюватися автоматично. Для вибору або зміни типу системи необхідно натиснути “Select” праворуч від вказаного типу обраної системи. У вікні, яке відкриється, необхідно обрати тип системи, що розглядається. Для зручності є можливість відфільтрувати системи для забезпечення системи опалення (Space heating), ГВП (Domestic hot water), з можливістю роботи в бівалентному режимі (Bivalent (with boiler)), системи з сонячними колекторами (Solar thermal system) (рис. 5.2).

System Selection

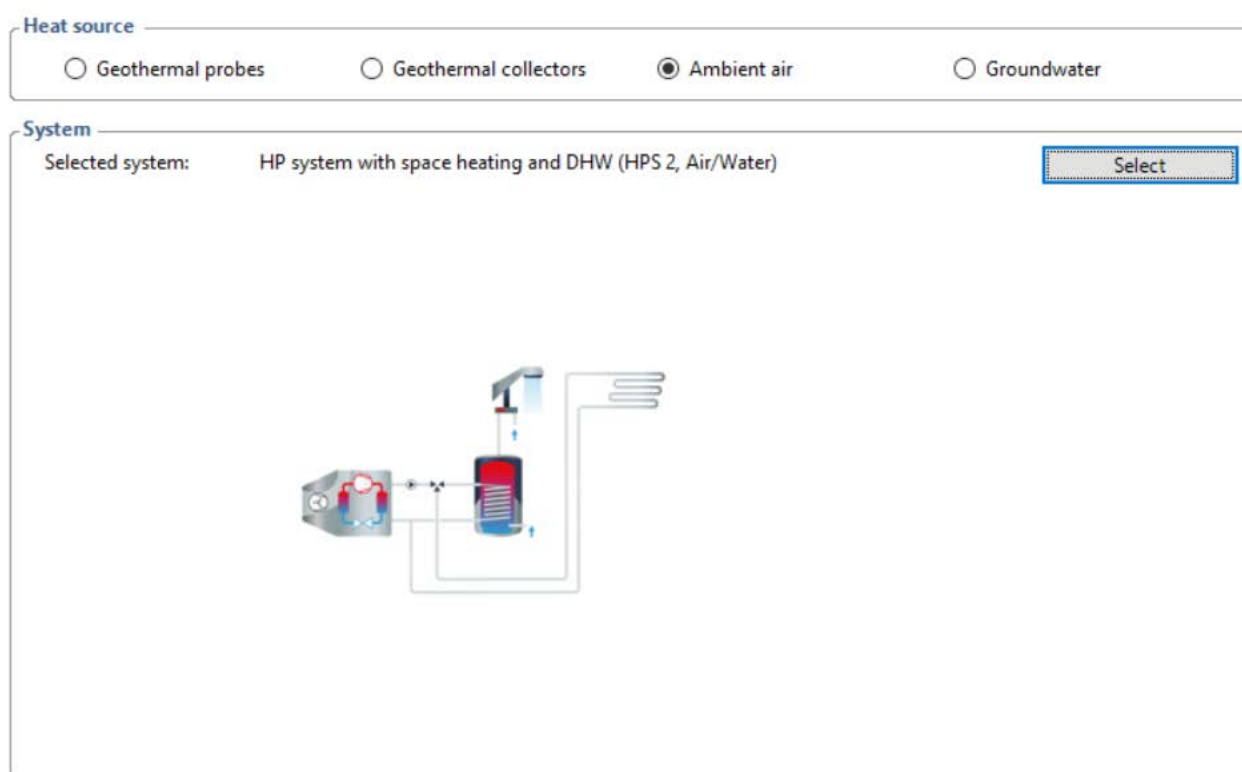


Рис. 5.1 – Вибір джерела теплоти та типу системи

У даному випадку буде розглядатися тепловий насос типу «повітря-вода» та «розсіл-повітря» для забезпечення опалення приміщень та ГВП з додатковим електричним нагрівачем, що буде працювати паралельно з ТН у разі потреби.

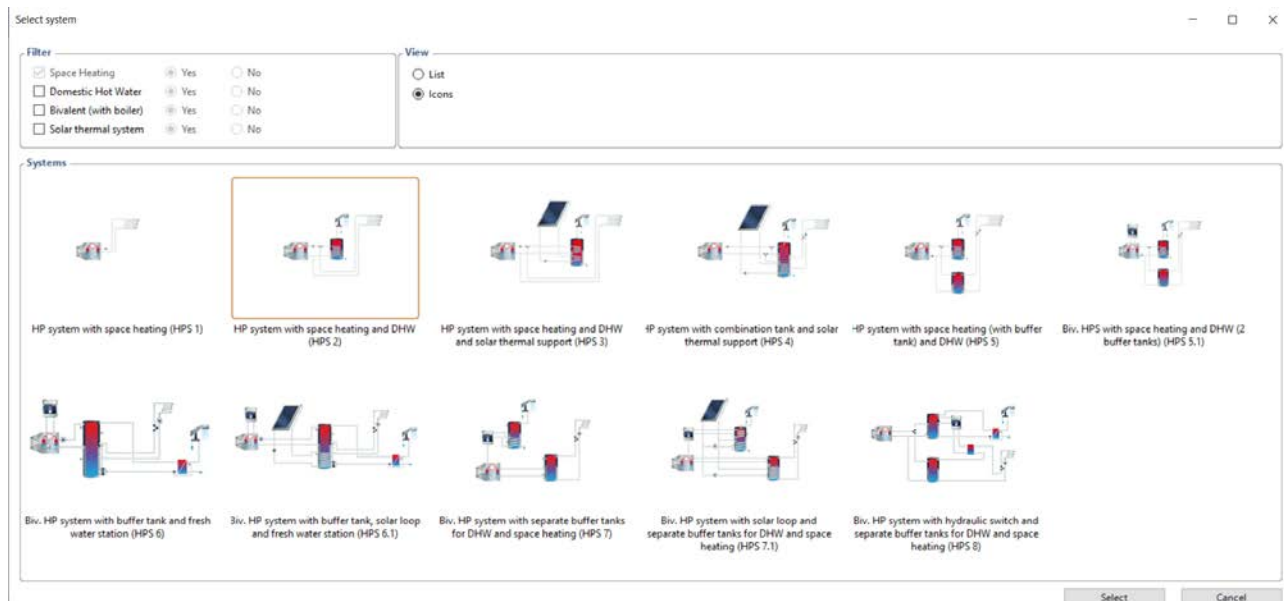


Рис. 5.2 – Доступні типи систем для забезпечення опалення приміщень

Також в методичних вказівках будуть розглянуті системи з геотермальними зондами як приклад іншого джерела низькопотенційної теплоти.

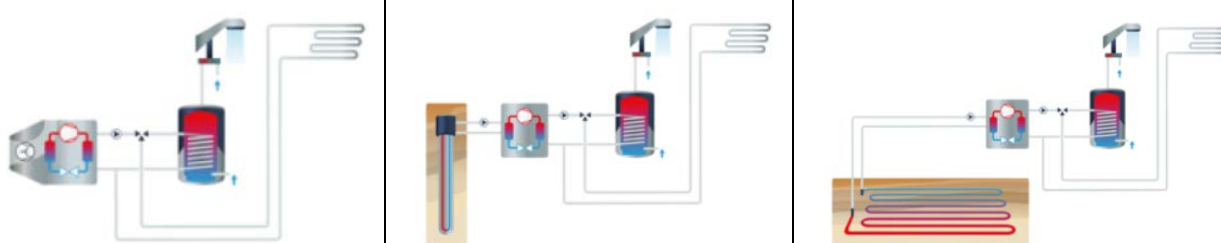
Деякі з типових систем, що доступні для моделювання у програмі, наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1. Типові системи, що доступні для моделювання у програмі

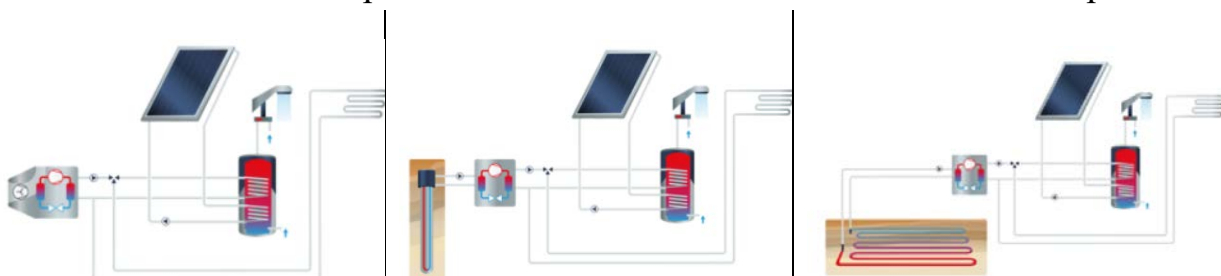
Повітря-вода	Розсіл-вода - геотермальні зонди	Розсіл-вода - геотермальний колектор
Heat pump system with space heating / Система опалення приміщень з ТН		

Продовження таблиці 5.1.

Heat pump system with space heating and DHW / Система опалення приміщень та ГВП з ТН



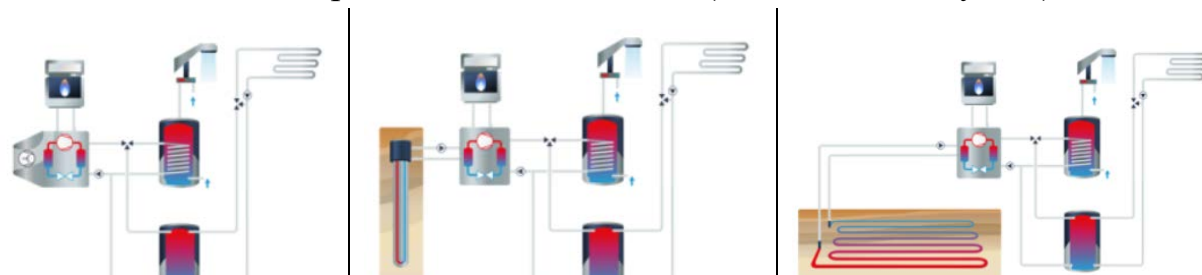
Heat pump system with space heating and DHW and solar thermal support / Система опалення приміщень та ГВП з ТН та сонячними колекторами



Heat pump system with space heating (buffer tank) and DHW / Система опалення приміщень (з баком накопичувачем) та ГВП з ТН



Bivalent HPS with space heating and DHW (2 buffer tanks) / Бівалентна система опалення приміщень та ГВП з ТН (2 баки накопичувачі)



6. ОПАЛЕННЯ ПРИМІЩЕНЬ

При моделюванні системи опалення у вікні «Space Heating» спочатку необхідно задати частку в покритті навантаження низькотемпературною системою опалення приміщення, а також температуру на подавальному та зворотному трубопроводах як для низькотемпературної, так і для високотемпературної системи опалення (рис. 6.1). Даний відсоток має враховувати тип систем тепловіддачі у розглянутому приміщенні (конвектори, радіатори, тепла підлога тощо).

Space Heating

Space heating loop

Low temp. (LT) heating loop proportion: %

Low temperature heating loop

Supply temperature: °C

Return temperature: °C

High temperature heating loop

Supply temperature: °C

Return temperature: °C

Requirements

☐ Heating load: kW

☒ Heating output (yearly total): kWh

☐ Heating output (monthly):

Heated useable area: m²

Indoor temperature: °C

Heating limit temperature: °C

Standard outdoor temperature: °C

Specific heating load: W/m²

Spec. annual heat requirement: Wh/m²

Рис. 6.1 – Задання параметрів системи опалення приміщень

Енергоспоживання на опалення можна задавати наступними способами / методами:

- Heating load / Навантаження на систему опалення.
- Heating output (yearly total) / Річне енергоспоживання.
- Heating output (monthly) / Помісячне енергоспоживання.

Для моделювання був обраний метод внесення річних даних про енергоспоживання в кВт·год, так як це існуючий об'єкт і для нього наявна інформація щодо фактичного енергоспоживання. Для нових будівель можна вносити розрахункові дані про навантаження або енергоспоживання. В даному

випадку програма автоматично визначає розрахункове навантаження на систему опалення, питоме навантаження та енергоспоживання. Наразі в програмі неможливо застосувати значення розрахункової температури на опалення на рівні мінус 20°C або нижче.

У вікні на рис. 6.1 також задаються наступні показники:

- Heated useable area / Опалювальна площа приміщення.
- Indoor temperature / Внутрішня температура.
- Heating limit temperature / Верхня межа зовнішньої температури, при якій працюватиме система опалення.
- Standard outdoor temperature / Проектна зовнішня температура.

7. ГАРЯЧЕ ВОДОПОСТАЧАННЯ

У вікні «Domestic Hot Water» для системи ГВП є можливість задавати параметри різними методами. Якщо відоме середньодобове споживання гарячої води, то доцільно ввімкнути опцію «DHW consumption known / Споживання гарячої води відомо» та задати «Average daily usage / Середньодобове використання» (рис. 7.1). Якщо немає даних щодо споживання, можна скористатися автоматичним розрахунком програми, задавши кількість користувачів та добове споживання на одного користувача відповідно до типу будівлі.

Domestic Hot Water

Consumption

☐ DHW consumption known

Average daily usage: l

No. Persons:

Consumption per person and day: l

Annual energy consumption: 1 155 kWh

Spec. annual energy consumpt 23 090,6 Wh/m²

Temperatures

DHW target temperature: °C

☒ Calculate cold water temperature based on climate data

Cold water temperature in February: °C

Cold water temperature in August: °C

DHW Recirculation Loop

☐ DHW recirculation loop used

Single length of pipes: m

Temperature spread feed/return: K

Spec. losses: W/(m*K)

Operating times: -

Volume flow: ---

Resulting losses (approx.): ---

Рис. 7.1 – Задання параметрів системи ГВП

Також необхідно задати бажану температуру гарячої води (DHW target temperature) та температуру холодної води в холодний та теплий періоди року (Cold water temperatures in February and August). В даному випадку підхід аналогічний до програми T*SOL.

У відповідному вікні також можна задавати параметри циркуляційного контуру для розрахунку додаткових тепловтрат. Для цього необхідно задати довжину трубопроводів (Single length of pipes), різницю температур на подавальному та зворотному трубопроводах (Temperature spread feed/return), питомі тепловтрати (Spec. losses) та графік роботи системи (Operating times). Для даного об'єкту циркуляційний контур відсутній, тому розглядатися не буде.

8. ТЕПЛОГЕНЕРАТОР

Програма GeoT*Sol автоматично не розраховує необхідну потужність та не підбирає модель теплового насосу. Тому необхідно буде розраховувати та підбирати тепловий насос самостійно у вікні «Heat Generator» (рис. 8.1). Можна моделювати системи з різною потужністю теплового насосу та аналізувати відсоток енергії, що покривається тепловим насосом та резервним електричним нагрівачем.

Heat Generator

Heat pump

Manufacturer:	Buderus Bosch Thermotechnik GmbH	Select
Product:	Logatherm WPL 31A	Properties
Construction type:	Air/Water	
Nominal heating power:	31,0 kW	

Рис. 8.1 – Вибір виробника та моделі теплового насосу

У програмі є значна кількість виробників та моделей теплових насосів (рис. 8.2). При виборі теплового насосу необхідно звернути увагу на наступні характеристики:

- COP / коефіцієнт продуктивності або ефективності теплового насосу.
- Nominal output, kW / Номінальна потужність, кВт.
- Test point / Точка випробування.
- Heating element, kW / Нагрівальний елемент, кВт.

Companies

- 1A HEIZEN STROBL UG
- AERMEC GmbH
- AIRWELL Deutschland GmbH
- alpha innotec (alt-deutschland GmbH)
- Anwago e.K.
- August Brötje GmbH
- Austria Email AG
- AWE Wärmepumpen
- AWES Newco AG
- Bartl Wärmepumpen
- Behrmann GmbH
- BES Building Energy Solutions GmbH
- Bosch Thermotechnik GmbH
- Brunner GmbH
- Buderus Bosch Thermotechnik GmbH
- Caldoa GmbH
- Carrier GmbH & Co. KG
- CECZ GREEN S.L.
- CTA AG
- CTC GIERSCHE - Energetech GmbH
- DAIKIN Airconditioning Germany GmbH (Rotex Heating System)
- Daikin Europe N.V.
- Danfoss AG Wärmepumpen
- Dimplex - Glen Dimplex Deutschland GmbH
- Dolder Wärmetechnik AG
- dresiel und weiss Deutschland GmbH
- Ecoforest S.A.
- eco-modul GmbH
- EFFITEC UG & Co. KG
- ELCO GmbH
- emcal Wärmesysteme GmbH
- Enertech GmbH - Division Giersch
- EQtherm GmbH
- Eschenfelder KGU GmbH
- Euronorm AB
- Foshan Sero Electrical Appliances CO., Ltd.
- Fresh aetec GmbH & Co. KG
- FRIAP Holding AG
- Frigipol K.s.
- Fujitsu General (Euro) GmbH

Product type: Air/Water

Search in: Product

☐ Show user-created products, only

☐ Display only favorites

Company	Product	COP	Nominal output kW	Test Point	Heating element kW	BAFA
Buderus Bosch Thermotechnik GmbH	Logatherm WLW196-4 AR (E / B / T / TS)	4,0	4,0	A2/W35	9,0	BAFA (www.bafa.de)
Buderus Bosch Thermotechnik GmbH	Logatherm WLW196-6 AR (E / B / T / TS)	4,1	6,0	A2/W35	9,0	BAFA (www.bafa.de)
Buderus Bosch Thermotechnik GmbH	Logatherm WLW196-8 IR (E / B / T / TS)	4,3	8,0	A2/W35	9,0	BAFA (www.bafa.de)
Buderus Bosch Thermotechnik GmbH	Logatherm WLW196-11 IR (E / B / T / TS)	4,1	11,0	A2/W35	9,0	BAFA (www.bafa.de)
Buderus Bosch Thermotechnik GmbH	Logatherm WLW196-14 IR (E / B / T / TS)	4,0	14,0	A2/W35	9,0	BAFA (www.bafa.de)
Buderus Bosch Thermotechnik GmbH	Logatherm WPL 6 IK	3,5	6,2	A2/W35	0,0	Manufacturer
Buderus Bosch Thermotechnik GmbH	Logatherm WPL 8 IK	3,5	8,0	A2/W35	0,0	Manufacturer
Buderus Bosch Thermotechnik GmbH	Logatherm WPL 10 IK	3,2	10,0	A2/W35	0,0	Manufacturer
Buderus Bosch Thermotechnik GmbH	Logatherm WPL 12 IK	3,4	11,9	A2/W35	0,0	Manufacturer
Buderus Bosch Thermotechnik GmbH	Logatherm WPL 14 I	3,5	13,6	A2/W35	0,0	Manufacturer
Buderus Bosch Thermotechnik GmbH	Logatherm WLW196-6 IR (E / B / T / TS)	4,1	6,0	A2/W35	9,0	BAFA (www.bafa.de)
Buderus Bosch Thermotechnik GmbH	Logatherm WLW196-8 AR (E / B / T / TS)	4,3	8,0	A2/W35	9,0	BAFA (www.bafa.de)
Buderus Bosch Thermotechnik GmbH	Logatherm WLW196-11 AR (E / B / T / TS)	4,1	11,0	A2/W35	9,0	BAFA (www.bafa.de)
Buderus Bosch Thermotechnik GmbH	Logatherm WLW196-14 AR (E / B / T / TS)	4,0	14,0	A2/W35	9,0	BAFA (www.bafa.de)
Buderus Bosch Thermotechnik GmbH	Logatherm WPL 18i	3,4	17,2	A2/W35	0,0	Manufacturer
Buderus Bosch Thermotechnik GmbH	Logatherm WPL 25i	3,4	24,0	A2/W35	0,0	Manufacturer
Buderus Bosch Thermotechnik GmbH	Logatherm WPL 31i	3,5	31,0	A2/W35	0,0	Manufacturer
Buderus Bosch Thermotechnik GmbH	Logatherm WPL 18A	3,4	17,2	A2/W35	9,0	BAFA (www.bafa.de)
Buderus Bosch Thermotechnik GmbH	Logatherm WPL 25A	3,4	24,0	A2/W35	9,0	BAFA (www.bafa.de)
Buderus Bosch Thermotechnik GmbH	Logatherm WPL 31A	3,5	31,0	A2/W35	0,0	Manufacturer
Buderus Bosch Thermotechnik GmbH	Logatherm WPL56.2 RE	4,7	9,5	A2/W35	9,0	BAFA (www.bafa.de)
Buderus Bosch Thermotechnik GmbH	Logatherm WPL58.2 RE	4,8	10,2	A2/W35	9,0	BAFA (www.bafa.de)
Buderus Bosch Thermotechnik GmbH	Logatherm WPL511.2 RE	4,4	15,0	A2/W35	9,0	BAFA (www.bafa.de)
Buderus Bosch Thermotechnik GmbH	Logatherm WPL56.2 RB	4,7	9,5	A2/W35	0,0	BAFA (www.bafa.de)
Buderus Bosch Thermotechnik GmbH	Logatherm WPL58.2 RB	4,8	10,2	A2/W35	0,0	BAFA (www.bafa.de)
Buderus Bosch Thermotechnik GmbH	Logatherm WPL511.2 RB	4,4	15,0	A2/W35	0,0	BAFA (www.bafa.de)

Export Import Cancel

Рис. 8.2 – Виробники та моделі теплових насосів «повітря-вода»

Потужність теплового насосу наводиться при різних параметрах. Температура зовнішнього повітря в даному випадку вказується після літери «А», а температура води – після літери «W». Тому, наприклад, для температури повітря мінус 7°C та температури води 55°C, тестова точка буде мати наступне маркування «А-7/W55». Для моделювання коректної роботи теплового насосу програма застосовує залежності теплової потужності (Heating power), електричної потужності (Electr. power) та коефіцієнту продуктивності (COP) для різних температур зовнішнього повітря та води (рис. 8.3).

Logatherm WPL 31A

Product	Test points			Scope of application
Test points according to EN 14511 at a heat sink side range of 5 K.				
	Heating power	Electr. power	COP	
A2/W35:	31,000 kW	8,750 kW	3,54	Nominal output point
A-15/W35:	20,460 kW	8,750 kW	2,34	
A-7/W35:	25,375 kW	8,750 kW	2,90	
A7/W35:	36,536 kW	8,750 kW	4,18	
A10/W35:	37,625 kW	8,750 kW	4,30	
A7/W45:	27,795 kW	8,750 kW	3,18	
A-7/W55:	17,571 kW	8,750 kW	2,01	
A7/W55:	22,696 kW	8,750 kW	2,59	
A20/W55:	31,126 kW	8,750 kW	3,56	

Close

Рис. 8.3 – Параметри теплового насосу для різних точок тестування

Можна також за допомогою програми аналізувати частку «покриття» навантаження на опалення та ГВП за рахунок ТН та додаткового електронагрівача для різних потужностей ТН і оптимізувати таким чином його потужність, а отже і початкові капіталовкладення з незначним «погіршенням» показників по енергоспоживанню.

Для теплового насосу типу «розсіл-вода» за наявності ґрунтового контуру також є можливість обрати виробника та модель з вбудованої бази даних. При цьому точка тестування вказує температуру розсолу літерою «В» та води –

літерою «W». Тому, наприклад, для температури розсолу 0°C та температури води 35°C, тестова точка буде мати наступне маркування «B0/W35» (рис. 8.4).

Select heat pump

Companies

- 1A HEIZEN STROBL UG
- AERMEC GmbH
- AIRWELL Deutschland GmbH
- alpha innotec (ait-deutschland GmbH)
- Arwego e.K.
- August Brötje GmbH
- Austria Email AG
- AWE Wärmepumpen
- AWES Newco AG
- Bartl Wärmepumpen
- Behrmann GmbH
- BES Building Energy Solutions GmbH
- Bosch Thermotechnik GmbH
- Brunner GmbH
- Buderus Bosch Thermotechnik GmbH
- Caldoa GmbH
- Carrier GmbH & Co. KG
- CEO2 GREEN S.L.
- CTA AG
- CTC GIERSCHE - Energetik GmbH
- DAIKIN Airconditioning Germany GmbH (f)
- Daikin Europe N.V.
- Danfoss AG Wärmepumpen
- Dimplex - Glen Dimplex Deutschland GmbH
- Dolder Wärmotechnik AG
- drexel und weiss Deutschland GmbH
- Ecoforest S.A.

Product type: Brine/Water

Search in: Product

☐ Show user-created products, only

☐ Display only favorites

Company	Product	COP	Nominal output kW	Test Point	Heating element kW	BAFA
Buderus Bosch Thermotechnik GmbH	Logatherm WPS 10-1	4,7	10,4	B0/W35	9,0	BAFA (www.bafa.de)
Buderus Bosch Thermotechnik GmbH	Logatherm WPS 10K-1	4,7	10,4	B0/W35	9,0	Manufacturer
Buderus Bosch Thermotechnik GmbH	Logatherm WPS 13-1	4,8	13,3	B0/W35	9,0	BAFA (www.bafa.de)
Buderus Bosch Thermotechnik GmbH	Logatherm WPS 17-1	4,7	17,0	B0/W35	9,0	BAFA (www.bafa.de)
Buderus Bosch Thermotechnik GmbH	Logatherm WSW196i-12 (T / TS)	4,6	11,8	B0/W35	9,0	BAFA (www.bafa.de)
Buderus Bosch Thermotechnik GmbH	Logatherm WPS 6K-1	4,4	5,8	B0/W35	9,0	Manufacturer
Buderus Bosch Thermotechnik GmbH	Logatherm WPS 8K-1	4,7	7,6	B0/W35	9,0	BAFA (www.bafa.de)
Buderus Bosch Thermotechnik GmbH	Logatherm WPS 6-1	4,4	5,8	B0/W35	9,0	Manufacturer
Buderus Bosch Thermotechnik GmbH	Logatherm WPS 8-1	4,7	7,6	B0/W35	9,0	BAFA (www.bafa.de)
Buderus Bosch Thermotechnik GmbH	Logatherm WSW186i-6 (T180 / TP50)	4,6	3,4	B0/W35	9,0	BAFA (www.bafa.de)
Buderus Bosch Thermotechnik GmbH	Logatherm WSW186i-8 (T180 / TP50)	4,6	3,4	B0/W35	9,0	BAFA (www.bafa.de)
Buderus Bosch Thermotechnik GmbH	Logatherm WSW186i-12 (T180 / TP50)	4,8	6,2	B0/W35	9,0	BAFA (www.bafa.de)
Buderus Bosch Thermotechnik GmbH	Logatherm WSW186i-16 (T180 / TP50)	4,8	6,1	B0/W35	9,0	BAFA (www.bafa.de)
Buderus Bosch Thermotechnik GmbH	Logatherm WSW196i-12 T190	4,6	11,8	B0/W35	9,0	BAFA (www.bafa.de)
Buderus Bosch Thermotechnik GmbH	Logatherm WSW196i-12 TS185	4,6	11,8	B0/W35	9,0	BAFA (www.bafa.de)
Buderus Bosch Thermotechnik GmbH	Logatherm WSW196i-2-6 (T180 / TP50)	4,6	3,4	B0/W35	9,0	BAFA (www.bafa.de)

Export Import Cancel

Рис. 8.4 – Виробники та моделі теплових насосів «розсіл-вода»

9. ДЖЕРЕЛО ТЕПЛОТИ

Якщо моделюється система теплопостачання з використанням теплового насосу типу «повітря-вода», то низькопотенційним джерелом теплоти є зовнішнє повітря. Виходячи з номінальної продуктивності теплового насосу у вікні «Heat Source» програма розраховує потужність вентилятора зі сторони зовнішнього повітря (Ventilator's nominal output) та його витрату (Flow rate) (рис. 9.1).

Heat Source

Ventilator	
Ventilator's nominal output:	0,100 kW
Flow rate:	10 854 m ³ /h

Рис. 9.1 – Потужність вентилятора і витрата зовнішнього повітря

Якщо моделюється система з тепловим насосом типу «розсіл-вода», то низькопотенційним джерелом теплоти є ґрунтовий контур. Розглянемо на прикладі вертикальних зондів (рис. 9.2). Програма автоматично розраховує необхідну теплопродуктивність зі сторони «холодного джерела» (Power input at the cold side), потужність (Nominal output of brine pump) та витрату теплоносія через циркуляційний насос (Flow rate). Також користувач може коригувати температуру ґрунту (Undisturbed ground temperature), діаметр свердловини (Borehole diameter), конструктивний тип труб (Construction type) та заповнення (Infill). Температура ґрунту має бути осереднена по всій довжині зонда та враховувати сезонні коливання температур у верхніх шарах ґрунту. Це стосується ґрунту, що не піддавався впливу від охолодження ґрунтовим контуром (геотермальними зондами або геотермальними колекторами). Чим глибше буде свердловина, тим вищою буде місцева та усереднена за сезонами температура «непорушеного» ґрунту. Значення діаметру зонду на рівні 150 мм є типовим відповідно до рекомендацій розробника програми.

Heat Source

Heat pump Power input on the cold side: 23,0 kW		Geothermal probe Borehole diameter: 150 mm Construction type: Double U-Pipe Infill: Simple grouting	
Brine Nominal output of brine pump: 414 W Flow rate: 6 980 l/h Glycol: 30 %		Length of the borehole heat exchanger Spec. extraction rate: 20,0 W/m Maximum drilling depth: 100 m Required heat probe length: 1 150 m	
Ground Undisturbed ground temperature: 10,0 °C		Calculate size Number of wells: 10 at 100,0 m	

Рис. 9.2 – Параметри вертикального грунтового контуру

Також користувачу необхідно відкоригувати питомий тепловий потік з 1 метру трубопроводу (Specific extraction rate) та вказати максимальну глибину свердловини (Maximum drilling depth). Програма автоматично розрахує необхідну довжину трубопроводів (Required heat probe length). Після цього можна або автоматично розрахувати кількість та глибину свердловин, натиснувши «Calculate size» або задати ці параметри самостійно. Якщо кількість та глибина свердловин задані невірно, програма видає про це попередження (рис. 9.3).

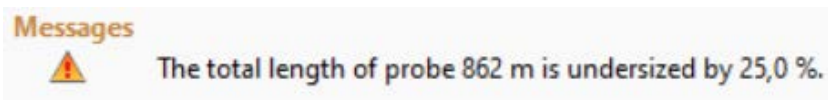


Рис. 9.3 – Попередження програми про помилку розрахунку сумарної довжини грунтового контуру

Якщо моделюється система з горизонтальним грунтовим колектором, у такому разі необхідно задати площу геотермального колектора (area), щоб вийти на потрібне питоме значення відбору теплової енергії (resulting heat extraction rate). Також необхідно задати глибину залягання колектора (laying depth) та параметри ґрунтових вод (groundwater depth and temperature), тип ґрунту (soil) (рис. 9.4).

Heat Source

Heat pump					
Power input on the cold side:		23,0 kW			
Geothermal collector					
Area:	1 000,0	m ²	Resulting heat extraction rate:	23,0	W/m ²
Laying depth:	1,2	m			
Groundwater depth:	10,0	m	Groundwater temperature:	10,0	°C
Brine					
Nominal output of brine pump:	414	W			
Flow rate:	6 980	l/h			
Glycol:	30	%			
Ground					
Soil:	Sand, humid				
Spec. heat capacity:	1,9	MJ/(m ³ *K)			
Conductivity:	1,4	W/(m*K)			
Water:	40	%			

Рис. 9.4 – Параметры горизонтального грунтового контура

10. РЕЖИМ РОБОТИ

При моделюванні системи у вікні «Mode of Operation» можна задавати тільки такі режими роботи:

- Monovalent / Моновалентний – потреба забезпечується виключно ТН;
- Monoenergetic, parallel / Моноенергетичний, паралельний – при температурі нижче, ніж вказана, ТН та додатковий нагрівач працюють паралельно;
- Monoenergetic, alternative / Моноенергетичний, альтернативний – при температурі нижче, ніж вказана, працює тільки додатковий нагрівач;
- Monoenergetic, partially parallel / Моноенергетичний, частково паралельний – при температурі нижче, ніж вказана, ТН та додатковий нагрівач працюють паралельно, якщо температура ще падає нижче певного рівня, ТН вимикається і працює тільки додатковий нагрівач.

При виборі моноенергетичного режиму роботи необхідно задати потужність електричного нагрівача (power of heating element) та відповідні температури: температура, вище якої нагрівач не працює (heating element out of service above), температура, нижче якої ТН не працює (heat pump out of service below) (рис. 10.1).

Бівалентні режими роботи доступні тільки при виборі типу систем з котлами.

Mode of Operation

Monovalent/monoenergetic operation

☐ Monovalent	☒ Monoenergetic, parallel	Power of heating element:	18,0 kW
	☐ Monoenergetic, alternative	Heating element out of service above:	-5,0 °C
	☐ Monoenergetic, partially parallel	Heat pump out of service below:	... °C

Рис. 10.1 – Вибір режиму роботи системи

11. БАК

Виходячи з типу обраної системи вкладка «Tank» (рис. 11.1) буде містити інформацію щодо доступних баків, наприклад для ГВП, для системи опалення та комбіновані. Для вибору ємності баку можна скористатися рекомендаціями розробників програми: об'єм баку ГВП має відповідати або бути меншим, ніж денна потреба в гарячій воді. Модель та ємність баку можна обрати з наявних в базі даних програми. Крім ємності бака програма також враховує втрати енергії з поверхні баку за одну добу.

Tank

Single coil indirect hot water tank		
Manufacturer:	Viessmann Werke GmbH Co KG	Select Standard
Product:	Vitocell 100-W (120 l)	
Volume:	120 l	
Insulation thickness:	1,06 kWh/d	

Рисунок 11.1 – Вибір моделі та ємності баку для ГВП

12. РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПОБУДОВА ГРАФІКІВ

Після проведення моделювання необхідно проаналізувати отримані результати. Якщо якісь з компонентів системи будуть підібрані не вірно, то програма видає повідомлення про помилку (рис. 12.1). Наприклад, при недостатній потужності системи вона не зможе на 100% покрити потреби на опалення та ГВП.

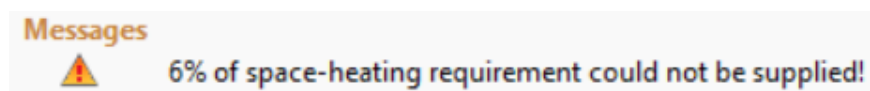


Рис. 12.1 – Попередження програми щодо покриття потреби в опаленні

Серед результатів моделювання можна аналізувати сезонні показники ефективності (seasonal heat performance factor – SPF) системи в цілому та окремо теплового насосу, а також забезпечення енергією системи опалення та ГВП та електроспоживання ТН та електричного нагрівача (рис. 12.2, 12.3).

Сезонний показник ефективності ТН (SPF of heat pump) враховує отриману від нього теплову енергію на потребу опалення та ГВП, а також споживання електричної енергії тільки ТН. А сезонний показник ефективності системи (SPF of heat pump system) враховує всю вироблену енергію, а також витрати електричної енергії ТН, додаткового нагрівача та насосів.

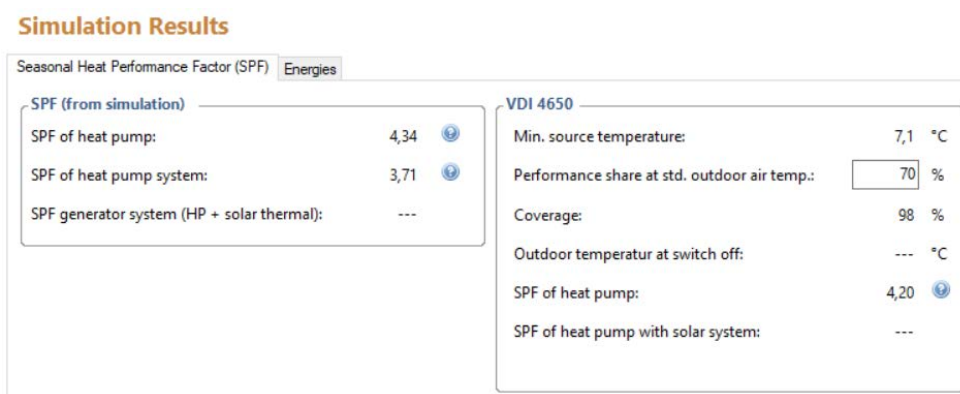


Рис. 12.2 – Сезонні показники ефективності системи для ТН «розсіл-вода»

Simulation Results

Seasonal Heat Performance Factor (SPF)		Energies
SPF (from simulation)		
SPF of heat pump:	3,03	
SPF of heat pump system:	2,44	
SPF generator system (HP + solar thermal):	---	
VDI 4650		
Min. source temperature:	---	
Performance share at std. outdoor air temp.:	70	%
Coverage:	99	%
Outdoor temperatur at switch off:	---	°C
SPF of heat pump:	3,01	
SPF of heat pump with solar system:	---	

Рис. 12.3 – Сезонні показники ефективності системи для ТН «повітря-вода»

Енергетичні показники роботи системи можуть включати наступні (рис. 12.4, 12.5):

- Energy generated / Year / Згенерована енергія за рік:
 - Supplied by heat pump / Постачається за допомогою теплового насоса.
 - Supplied by elect. heating rod / Постачається з використанням електричного нагрівального елемента.
- Utilized energy / Year / Використана енергія за рік:
 - Space heating / Опалення приміщень.
 - Domestic hot water / Гаряче водопостачання.
- Power consumption / Year / Електроспоживання за рік:
 - Heat pump / Тепловий насос.
 - Heating element / Нагрівальний елемент.
 - Auxiliary energy / Допоміжна енергія.
- Losses / Year / Втрати енергії за рік:
 - Tank losses / Втрати з поверхні баку.

В програмі можна автоматично згенерувати звіт з вихідними даними та результатами моделювання системи.

Simulation Results

Seasonal Heat Performance Factor (SPF) Energies

Energy generated / Year

Supplied by heat pump:	5 996 kWh (96 %)
Supplied by boiler:	--- kWh
Supplied by solar system:	--- kWh
Supplied by elec. heating rod:	223 kWh (4 %)

Utilized energy / Year

Space Heating:	5 056 kWh (83 %)
Domestic hot water:	1 034 kWh (17 %)

Power consumption / Year

Heat pump:	1 381 kWh (82 %)
Heating element:	223 kWh (13 %)
Auxiliary energy:	84 kWh (5 %)
Solar loop pump:	--- kWh
Boiler (fuel):	--- kWh

Losses / Year

Tank losses:	177 kWh
...fraction of solar tank losses:	--- kWh
DHW recirculation loop:	--- kWh
Solar loop piping indoors:	--- kWh
Solar loop piping outdoors:	--- kWh

Solar loop

Solar fraction:	--- %
Solar fraction DHW:	--- %
Efficiency of solar system:	--- %
Irradiation onto active solar surface:	--- kWh
Energy delivered by collectors:	--- kWh

Рис. 12.4 – Енергетичні показники ефективності системи для ТН «розсіл-вода»

Simulation Results

Seasonal Heat Performance Factor (SPF) Energies

Energy generated / Year

Supplied by heat pump:	5 426 kWh (88 %)
Supplied by boiler:	--- kWh
Supplied by solar system:	--- kWh
Supplied by elec. heating rod:	734 kWh (12 %)

Utilized energy / Year

Space Heating:	4 998 kWh (83 %)
Domestic hot water:	1 034 kWh (17 %)

Power consumption / Year

Heat pump:	1 789 kWh (71 %)
Heating element:	734 kWh (29 %)
Auxiliary energy:	--- kWh
Solar loop pump:	--- kWh
Boiler (fuel):	--- kWh

Losses / Year

Tank losses:	175 kWh
...fraction of solar tank losses:	--- kWh
DHW recirculation loop:	--- kWh
Solar loop piping indoors:	--- kWh
Solar loop piping outdoors:	--- kWh

Solar loop

Solar fraction:	--- %
Solar fraction DHW:	--- %
Efficiency of solar system:	--- %
Irradiation onto active solar surface:	--- kWh
Energy delivered by collectors:	--- kWh

Рис. 12.5 – Енергетичні показники ефективності системи для ТН «повітря - вода»

Також є можливість виводити дані щодо енергії, що виробляється ТН (heat pump), додатковим електричним нагрівачем (auxiliary heating) та показника ефективності для системи в цілому (SPF of heat pump system) (рис. 12.6), температури розсолу на вході та виході з ТН (inlet brine to heat pump / outlet brine

of heat pump), а також температури ґрунту навколо зонду (ground around probe) (рис. 12.7).

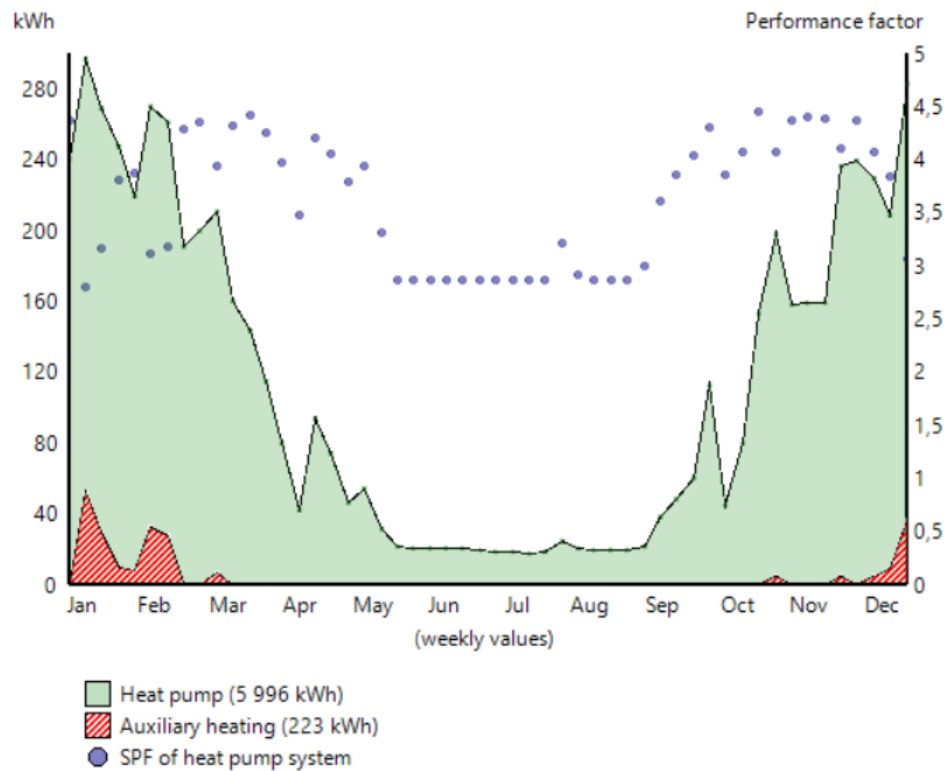


Рис. 12.6 – Тижневі енергетичні показники ефективності системи

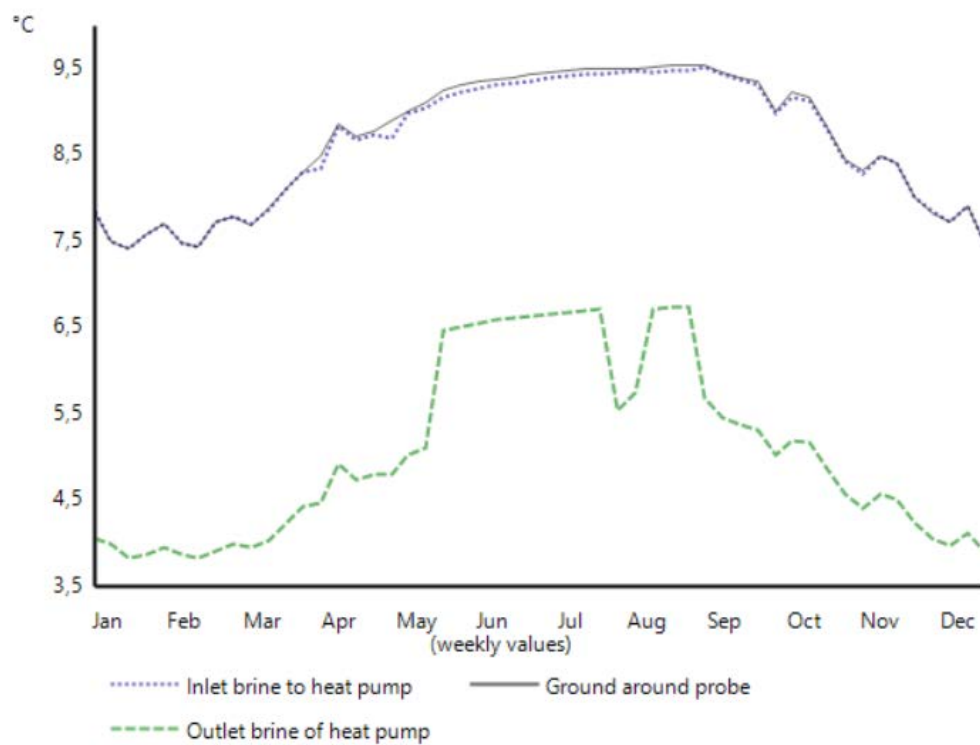


Рис. 12.7 – Зміна температури в ґрунтовому контурі для ТН «розсіл-вода» протягом року

Для теплового насосу типу «повітря-вода» можна виводити дані про температуру повітря на вході та виході з вентилятора системи (ventilator inlet / outlet) (рис. 12.8).

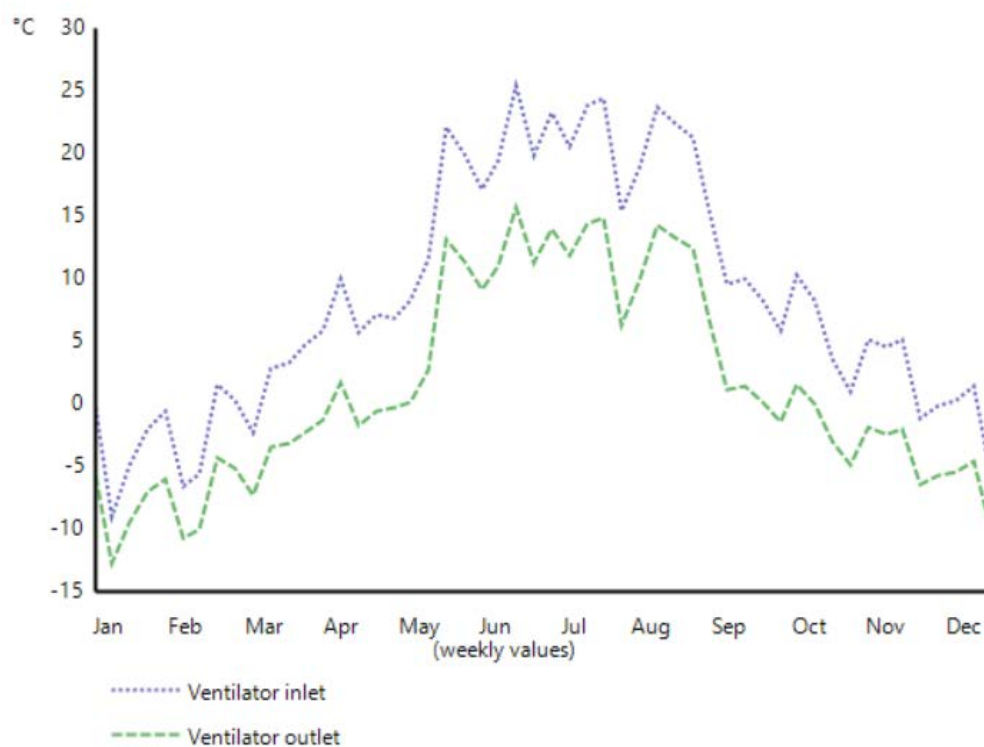


Рис. 12.8 – Зміна температури повітря в ТН «повітря-вода» протягом року

13. ФІНАНСОВИЙ АНАЛІЗ

Для проведення фінансового аналізу необхідно перейти на вкладку «Financial analysis» (рис. 13.1). Програма дозволяє розраховувати рентабельність системи і витрати на опалення для системи з тепловим насосом та системи, з якою проводиться порівняння. Розрахунок показників витрат на різні системи базуються на сумі виробленої енергії, відображеній на попередніх вкладках та результатах моделювання.

Financial Analysis

Life span:	20 Years	Auxiliary electricity price (budget price):	1,680 €/kWh
Interest on capital:	2,50 %	Inflation rate:	2,00 %/year
Reinvestment return:	2,50 %	Generated energy:	7 934 kWh/Jahr

Heat pump system		Comparison system	
Energy price:	Tariffs	1,380 €/kWh	
Cost escalation rate of energy:	2,00 %/year	2,00 %/year	
System expenditure figure:	0,427	1,300	

Investments and Subsidies:	Change...	Remaining investment:	150 000,00 €
----------------------------	--	-----------------------	---

Maintenance costs:	1 500,00 €/Year	1 500,00 €/Year	
--------------------	--	--	--

Annuities

Investment annuity:	16 036,78 €	6 414,71 €	Net present value:	49 042,05 €
Operating costs annuity:	4 245,48 €	17 013,46 €		
Allowances annuity:	--- €	--- €		
Maintenance costs annuity:	1 792,97 €	1 792,97 €		

Heat production costs

	2,782 €/kWh	3,179 €/kWh
--	--	--

Reinvestment premise

Return (MIRR):	3,96 %
Surplus:	176 153,58 €

Рис. 13.1 – Вихідні дані та розрахунки фінансових показників

Для проведення розрахунків необхідно ввести наступні дані:

- Life span / Термін служби – заявлений виробником період часу, протягом якого система повинна працювати (10-20 років).
- Interest on capital / Відсотки на капітал – відсоткова ставка, за якою капітал для інвестицій потрібно було б позичити в банку, або ставка, за якою інвестований капітал міг би отримувати відсотки.
- Reinvestment return / Повернення реінвестицій – інвестиційні надлишки (=позиції грошові потоки) приносять відсотки та нараховуються з цією ставкою.
- Auxiliary electricity price / Ціна на додаткову електроенергію.
- Inflation rate / Рівень інфляції.

- Generated energy / Згенерована енергія – розраховується програмою.

Для розрахунку вартості енергії та чистої приведеної вартості використовується порівняння двох систем: з тепловим насосом (heat pump system) та системи, яка розглядається в якості альтернативи (comparison system).

Для обох систем необхідно вносити наступні дані:

- Energy prices / Вартість енергоресурсів;
- Cost escalation rate of energy / Швидкість зростання вартості енергії;
- System expenditure figure / Показник витрат системи – це співвідношення витрат системи і корисного ефекту (згенерованої енергії). Для системи з ТН цей показник розраховується програмою, для альтернативної задається користувачем. Це величина, що є оберненою до COP теплового насосу або коефіцієнту ефективності газового котла;
- Investments and subsidies / Інвестиції та субсидії/грантові кошти;
- Maintenance costs / Витрати на обслуговування системи за рік.

Тарифи для електричної енергії можуть задаватися як однозонні (однаковий тариф протягом всього дня) або двозонні (денний та нічний тарифи) (рис. 13.2). В даному випадку була обрана друга опція «With high-low tariff».

Tariffs and off periods

Tariffs

Basic monthly price: 0,00 £

☒ With high/low tariff:

07:00 - 23:00 1,680 £/kWh

23:00 - 07:00 0,840 £/kWh

Off-periods

☐ 1st off-period: 11:00 - 13:00

☐ 2nd off-period: 17:00 - 19:00

☐ 3rd off-period: 00:00 - 00:00

OK Cancel

Рис. 13.2 – Тарифи на електричну енергію

Необхідні інвестиції (Investments (total)) вказуються як для системи з тепловим насосом, так і для альтернативної системи (рис. 3.29). Також по аналогії з сонячними тепловими системами можна задавати величину субсидій / грантів (subsidy) та додаткових виплат за згенеровану теплову енергію тепловим насосом (allowances).

	Heat pump system	Solar thermal system	Comparison system
Investments (total):	250 000,00 €		100 000,00 €
Subsidy:	0,00 €		0,00 €
Allowances			
Amount:	0,000 €/kWh		0,000 €/kWh
Payment Duration:	0 Years		0 Years
Adjustment:	0,00 %/a		0,00 %/a
Delivered energy:	6 994 kWh		6 994 kWh

Рис. 13.3 – Інвестиції для ТН та альтернативної системи

Розрахункові фінансові показники включають в себе середньорічні інвестиції (investment annuity), операційні витрати (operating costs annuity), додаткові виплати (allowances annuity), витрати на обслуговування (maintenance costs annuity) та чисту приведену вартість (net present value). Для розрахунку ціни на опалення (heat production cost) середньорічні інвестиції (за вирахуванням субсидій), витрати на експлуатацію та обслуговування діляться на теплоспоживання. Інші фінансові показники розраховуються по аналогії з системами з сонячними колекторами в програмі T*SOL.

14. РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИКОНАННЯ КОМП'ЮТЕРНОГО ПРАКТИКУМУ

В якості об'єктів моделювання студенти можуть обирати власні об'єкти, або навчальні корпуси та гуртожитки на території КПІ ім. Ігоря Сікорського (в такому випадку необхідні вихідні дані надаються викладачем).

Наступні вихідні дані необхідні для моделювання:

- розміщення та призначення будівлі;
- опалювальна площа;
- задана внутрішня температура на опалення;
- тип та характеристики системи опалення будівлі;
- дані щодо середньодобового споживання гарячої води;
- дані щодо навантаження або споживання енергії на опалення;
- вартість запропонованої (з ТН) та альтернативної системи;
- тарифи на енергоносії.

Пропонується промоделювати два варіанти системи: система з ТН типу «повітря-вода» та «розсіл-вода» та додатковим нагрівачем для забезпечення потреб на опалення та гаряче водопостачання. Після виконання практикуму необхідно зробити висновки.

15. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які типи систем можна моделювати в програмі GeoT*SOL?
2. Які типи джерел низькопотенційної теплоти можна моделювати в програмі GeoT*SOL?
3. Які типи споживачів можуть моделюватися в програмі GeoT*SOL?
4. Які вихідні дані необхідні для моделювання системи опалення з тепловими насосами?
5. Які є способи внесення даних щодо опалення для будівлі?
6. Які вихідні дані необхідні для моделювання системи ГВП з тепловими насосами?
7. Які є способи внесення даних щодо споживання гарячої води для будівлі?
8. Яким чином програма GeoT*SOL враховує ефективність теплового насосу?
9. Назвіть основні дані, які необхідно задавати для горизонтального ґрунтового контуру.
10. Назвіть основні дані, які необхідно задавати для вертикального ґрунтового контуру.
11. Які режими роботи систем з тепловим насосом можна моделювати в програмі GeoT*SOL?
12. Які параметри для бака-накопичувача задаються в програмі GeoT*SOL?
13. Які типи втрат в системі враховуються при моделювання системи ГВП з тепловим насосом?
14. Які параметри для електричного нагрівача задаються в програмі T*SOL?
15. Які типи зовнішніх джерел теплопостачання можна задавати в якості додаткових?
16. Які енергетичні показники дозволяє аналізувати GeoT*SOL?
17. Які основні результати моделювання необхідно аналізувати для системи опалення та ГВП з тепловим насосом?
18. Які графіки можна побудувати за результатами моделювання у програмі GeoT*SOL?
19. Яка мета виконання роботи та основні її етапи?
20. Проаналізуйте основні результати виконання роботи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ТА РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Соловей О.І. та ін. Нетрадиційні та поновлювальні джерела енергії: Навчальний посібник / О.І. Соловей, Ю.Г. Лега, В.П. Розен, О.О. Ситник, А.В. Чернянський, Г.В. Курбака; За заг. ред. О.І. Солов'я. – Черкаси: ЧДТУ, 2007. – 490 с.
2. Кудря С. О. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії . Підручник. Національний технічний університет України «КПІ». Київ, – 2012. – 495 с.
3. Кудря С. О. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії [Електронний ресурс] : курс лекцій / С. О. Кудря ; НТУУ «КПІ». – Електронні текстові дані (1 файл: 6,91 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2011. – Назва з екрана.
4. Сайт розробника програмного забезпечення для завантаження програм та корисні ресурси: <https://valentin-software.com/en/>
5. Закон України «Про енергетичну ефективність будівель» - <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19#Text>
6. Проект наказу Мінрегіону “Про затвердження Вимог до будівель з близьким до нульового рівнем споживання енергії” - <https://www.minregion.gov.ua/base-law/grom-convers/elektronni-konsultatsiyi-z-gromadskistyuu/proekt-nakazu-minregionu-pro-zatverdzhennya-vymog-do-budivel-z-blyzkym-do-nulovogo-rivnem-spozhyvannya-energiyi/>
7. КТМ 204 Україна 244–94. Норми та вказівки по нормуванню витрат палива та теплової енергії на опалення житлових та громадських споруд, а також на господарсько–побутові потреби в Україні. К.: ЗАТ «ВІПОЛ». 2001. 376 с.
8. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 «Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія». К., 2011. 135с.
9. ДБН В.2.6- 31:2016 Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель. К.: Мінбуд України, 2016. 64с.
10. ДСТУ Б А.2.2-12:2015. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні. К. Мінрегіонбуд, 2016. 205 с.

ДОДАТОК А. ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ СИСТЕМИ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ З ТЕПЛОВИМ НАСОСОМ

Як приклад пропонується розглянути встановлення системи з тепловим насосом для забезпечення потреб опалення та гарячого водопостачання квартири у місті Києві. Система опалення квартири складає сталі конвектори у кімнатах та теплу підлогу в кухні та санвузлі. Опалювальна площа 50 м². Середньорічне фактичне споживання теплоти на потреби опалення становить 5 062 кВт·год. У квартирі проживає троє людей. Середньодобове фактичне споживання гарячої води становить 20 л/добу на людину.

Тип системи. Для даного випадку було обрано систему опалення приміщень та ГВП з тепловим насосом типу «повітря-вода» (рис. А.1).

Selected system: HP system with space heating and DHW (HPS 2, Air/Water)

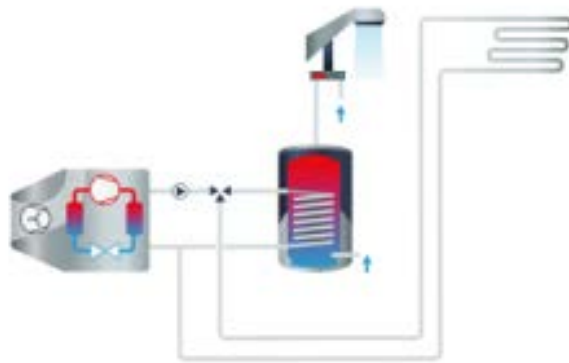


Рис. А.1. Обрана система опалення та ГВП з ТН

Опалення приміщень. Частка покриття теплового навантаження низькотемпературною системою опалення приміщення була задана на рівні 40% (враховано, що є конвектори та тепла підлога). Опалювальна площа та річне енергоспоживання задано за умовою. Внутрішня температура, згідно діючих норм для житлових будівель, вибрана 20°C. Так як програма не дозволяє задавати зовнішню температуру нижче мінус 19,9°C, введено у відповідний рядок саме це значення. Всі задані параметри у вікні «Space Heating» представлені на рис. А.2.

Space Heating

Space heating loop

Low temp. (LT) heating loop proportion: %

Low temperature heating loop

Supply temperature: °C
Return temperature: °C

High temperature heating loop

Supply temperature: °C
Return temperature: °C

Requirements

☐ Heating load: kW
☒ Heating output (yearly total): kWh
☐ Heating output (monthly):

Heated useable area: m² Specific heating load: W/m²
Indoor temperature: °C Spec. annual heat requirer Wh/m²
Heating limit temperature: °C
Standard outdoor temperature: °C

Рис. А.2. Опалення приміщень

Гаряче водопостачання. Відповідно до наявних даних про фактичне споживання гарячої води заповнюється розділ «Consumption». Необхідну температуру гарячої води встановлюємо на рівні 55°C, холодної води для зимового періоду 5°C та для та літнього періоду 15°C. Циркуляційний контур у невеличких децентралізованих системах зазвичай відсутній. Всі задані параметри у вікні «Domestic Hot Water» представлені на рис. А.3.

Domestic Hot Water

Consumption

☐ DHW consumption known

Average daily usage: l Annual energy consumptic kWh
No. Persons: Spec. annual energy consu Wh/m²
Consumption per person and day: l

Temperatures

DHW target temperature: °C
☐ Calculate cold water temperature based on climate data

Cold water temperature in February: °C
Cold water temperature in August: °C

DHW Recirculation Loop

☐ DHW recirculation loop used

Single length of pipes: m Operating times: -
Temperature spread feed/return: K Volume flow: ---
Spec. losses: W/(m*K) Resulting losses (approx.): ---

Рис. А.3. Гаряче водопостачання

Теплогенератор. Так як додатковий нагрівач в системі задається окремо, виберемо тепловий насос без додаткового нагрівача потужністю 31 кВт при температурі повітря 2°C та температурі води 35°C. Параметри вибраного теплового насосу у вікні «Heat Generator» представлені на рис. А.4.

Heat Generator

Heat pump		
Manufacturer:	Buderus Bosch Thermotechnik GmbH	Select
Product:	Logatherm WPL 31 A / I	Properties
Construction type:	Air/Water	
Nominal heating power:	31,0 kW	

Рис. А.4. Теплогенератор (тепловий насос)

Джерело теплоти. Так як моделюється тепловий насос типу «повітря-вода», то низькопотенційним джерелом теплоти є зовнішнє повітря. Для обраного теплового насосу програмою визначено витрату повітря, яка складає 10 854 м³/год.

Режим роботи. Потужність нагрівального елементу задаємо на рівні 10 кВт. Вибрано моноенергетичний, паралельний, режим роботи – при температурі нижче мінус 5°C вмикається додатковий нагрівач, який працює паралельно з тепловим насосом. Вибір режиму роботи представлений на рис. А.5.

Mode of Operation

Monovalent/monoenergetic operation		
☐ Monovalent	☒ Monoenergetic parallel	Power of heating element: 10,0 kW
	☐ Monoenergetic alternative	Heating element out of service above: -5,0 °C
☒ Monoenergetic partially parallel	Heat pump out of service below:	--- °C

Рис. А.5. Режим роботи

Бак. Ємність баку була підібрана відповідно до денної потреби у гарячій воді. Параметри вибраного баку у вікні «Tank» представлені на рис. А.6.

Tank

Single coil indirect hot water tank		
Manufacturer:	Viessmann Werke GmbH Co KG	Select
Product:	Vitocell 100-W (120 l)	Standard
Volume:	120 l	
Insulation thickness:	1,06 kWh/d	

Рис. А.6. Бак

Результати моделювання. Сезонні показники ефективності представлені на рис. А.7, а енергетичні показники – на рис. А.8.

Seasonal Heat Performance Factor (SPF)		Energies
SPF (from simulation)		
SPF of heat pump:	3.20	?
SPF of heat pump system:	2.11	?
SPF generator system (HP + solar thermal):	---	
VDI 4650		
Min. source temperature:	---	
Performance share at std. outdoor air temp:	70	%
Coverage:	99	%
Outdoor temperatur at switch off:	---	°C
SPF of heat pump:	3.11	?
SPF of heat pump with solar system	---	

Рис. А.7. Сезонні показники ефективності

Seasonal Heat Performance Factor (SPF)		Energies
Energy generated / Year		
Supplied by heat pump:	4 836 kWh (77 %)	
Supplied by boiler:	--- kWh	
Supplied by solar system:	--- kWh	
Supplied by elec. heating rc	1 479 kWh (23 %)	
Utilized energy / Year		
Space Heating:	5 010 kWh (81 %)	
Domestic hot water:	1 143 kWh (18 %)	
Power consumption / Year		
Heat pump:	1 510 kWh (51 %)	
Heating element:	1 479 kWh (49 %)	
Auxiliary energy:	--- kWh	
Solar loop pump:	--- kWh	
Boiler (fuel):	--- kWh	
Losses / Year		
Tank losses:	210 kWh	
...fraction of solar tank losses:	--- kWh	
DHW recirculation loop:	--- kWh	
Solar loop piping indoors:	--- kWh	
Solar loop piping outdoors:	--- kWh	
Solar loop		
Solar fraction:	---	%
Solar fraction DHW:	---	%
Efficiency of solar system:	---	%
Irradiation onto active solar surf	---	kWh
Energy delivered by collectors:	---	kWh

Рис. А.8. Енергетичні показники ефективності

Відповідно до результатів 77% енергії, необхідної для опалення та ГВП, забезпечується тепловим насосом, 23% – покривається електричним нагрівачем. При цьому 5 010 кВт·год від загального теплоспоживання витрачається на опалення, 1 143 кВт·год – на ГВП. Електроспоживання теплового насосу, враховуючи середньосезонний коефіцієнт ефективності (COP), становить 1 510 кВт·год, електроспоживання нагрівального елементу (COP = 1) – 1479 кВт·год.

На рисунках А.9 і А.10 представлені відповідно енергетичні показники ефективності системи протягом року та дані про температуру повітря на вході та виході з вентилятора системи.

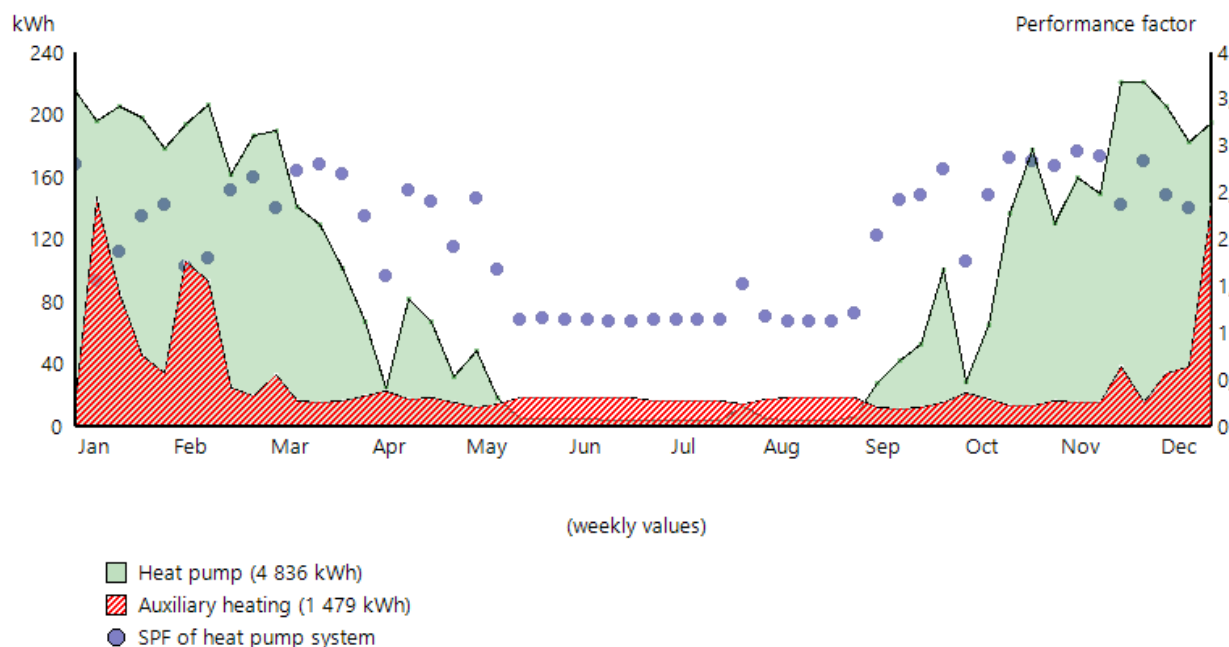


Рис. А.9. Показники ефективності системи з ТН протягом року

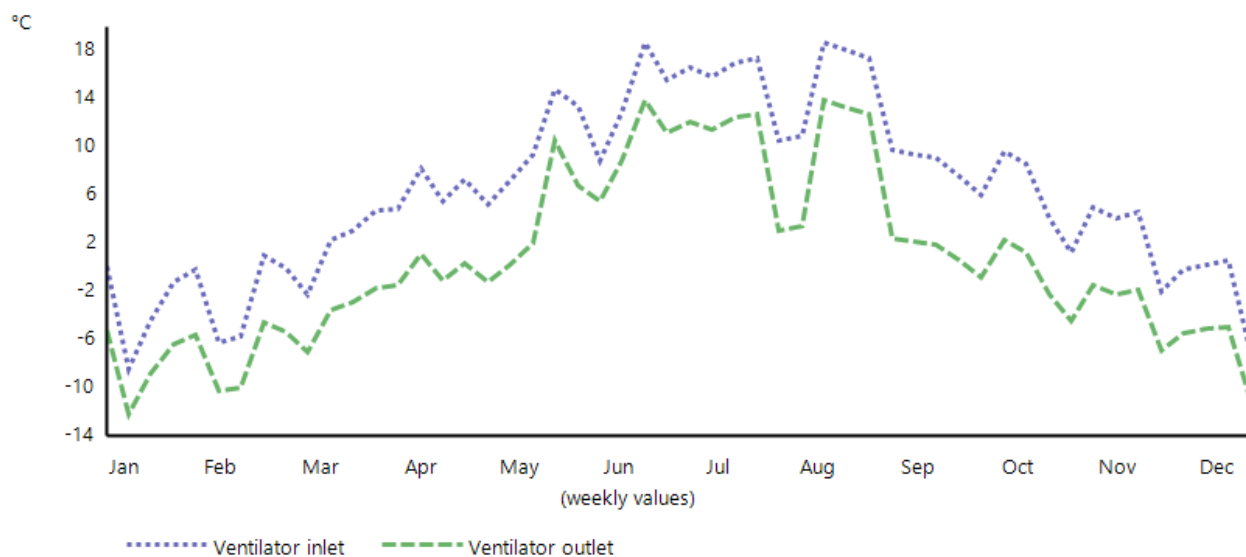


Рис. А.10. Температура повітря на вході та на виході з вентилятора протягом року

Фінансовий аналіз. Налаштовуючи параметри, термін служби вибраної системи, заявлений виробником, зазначаємо 20 років. Відсотки на капітал та повернення реінвестицій встановлюємо на рівні 2,5%. Вартість електричної енергії зазначаємо згідно діючого тарифу 1,68 грн/кВт·год. Темп інфляції для електричної енергії встановимо на рівні 2%.

Ь

Tariffs and off periods

Tariffs

Basic monthly price: 0,00 €

☒ With high/low tariff:

07:00 - 23:00 0,052 €/kWh

23:00 - 07:00 0,026 €/kWh

Off-periods

☐ 1st off-period: 11:00 - 13:00

☐ 2nd off-period: 17:00 - 19:00

☐ 3rd off-period: 00:00 - 00:00

OK Cancel

Рис. А.9. Задання двозонного тарифу на електричну енергію

Приймаємо інвестиції для вибраної системи з тепловим насосом «повітря-вода» 7 500 €, а для альтернативної системи – 4 000 €.

Витрати на обслуговування кожної системи за рік – 65 €.

Введені дані для фінансового аналізу представлені на рис. А.10.

Life span:	20 Years	Auxiliary electricity price (budget price):	0,052 €/kWh
Interest on capital:	2,50 %	Inflation rate:	2,00 %/year
Reinvestment return:	2,50 %	Generated energy:	6 315 kWh/Jahr
Heat pump system		Comparison system	
Energy price:	Tariffs	0,043 €/kWh	
Cost escalation rate of energy:	2,00 %/year	2,00 %/year	
System expenditure figure:	0,473	1,300	
Investments and Subsidies:	Change...	Remaining investment:	3 500,00 €
Maintenance costs:	65,00 €/Year	65,00 €/Year	

Рис. А.10. Фінансовий аналіз

За результатами фінансового аналізу чиста приведена вартість становить 1 052,82 €. Вартість опалення для системи з тепловим насосом – 0,109 €/кВт·год, для системи централізованого теплопостачання – 0,12 €/кВт·год.

Висновок. Використання системи опалення та ГВП з тепловим насосом «повітря-вода» для даної квартири, при діючих тарифах на електричну та теплову енергію, з економічної точки зору є не доцільним заходом. Якщо це технічно можливо, варто дослідити можливість використання системи іншого типу, наприклад теплового насоса з ґрунтовим контуром.