

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 СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ БУДІВЛІ**

**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 СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ БУДІВЛІ**

Прикладні задачі енергозбереження: Моделювання сонячної електростанції для забезпечення енергоспоживання будівлі: 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: 15,1 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 57 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 фотоелектричних систем і використання 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 PV*SOL PREMIUM.....	7
4. ДАНІ ПРОЄКТУ .....	11
5. ТИП СИСТЕМИ, КЛІМАТ І МЕРЕЖА.....	12
5.1. Тип системи.....	13
5.2. Тип проєктування.....	14
5.3. Кліматичні дані .....	14
5.4. Параметри мережі змінного струму.....	15
6. СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ .....	16
7. 3D ПРОЄКТ СИСТЕМИ.....	20
8. ВТРАТИ В КАБЕЛЯХ .....	35
9. ПЛАНИ ТА СПИСОК ОБЛАДНАННЯ.....	36
10. РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ .....	37
11. ФІНАНСОВИЙ АНАЛІЗ .....	40
12. РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИКОНАННЯ КОМП'ЮТЕРНОГО ПРАКТИКУМУ .....	47
13. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ.....	48
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ТА РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	49
ДОДАТОК А. ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ..	50

## ВСТУП

Для попереднього аналізу економічної доцільності проектів з енергоефективності та енергозбереження з використанням екологічно чистої енергії у всіх організацій (від промислових підприємств до окремих будівель) використовуються спеціалізовані програмні продукти, які дозволяють провести аналіз енергетичних, фінансових та екологічних показників проектів. Такий аналіз є необхідним при створенні енергосистеми з використанням відновлюваної енергії, при новому будівництві або запланованій реконструкції будівлі (модернізація, реновація), у випадку високих традиційних витрат на енергію підприємств, компаній, муніципальних об'єктів, тощо. Також використання відновлюваних джерел енергії передбачається в будівлях в близьким до нульового енергоспоживання NZEB (nearly zero energy buildings) в рамках імплементації директив ЄС щодо енергоефективності будівель.

PV\*SOL premium – програма для динамічного моделювання з 3D-візуалізацією та детальним аналізом затінення для розрахунку фотоелектричних систем у поєднанні з електричними приладами, акумуляторними системами та електромобілями.

В процесі виконання даного комп'ютерного практикуму студенти матимуть можливість ознайомитися з особливостями моделювання сонячної фотоелектричної системи на базі програмного продукту PV\*SOL premium. Кожен студент для обраної будівлі змоделює фотоелектричну систему на даху індивідуального об'єкту для повного або часткового покриття потреб будівлі в електричній енергії.

Методичні вказівки створені для виконання комп'ютерного практикуму «Моделювання сонячної електростанції для забезпечення енергоспоживання будівлі» 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 за рахунок встановлення сонячних електростанцій різних типів у програмному середовищі PV\*SOL premium.

### **Основні завдання роботи:**

- Зібрати дані для об'єкту дослідження про фактичне електроспоживання будівлі.
- Побудувати 3D модель будівлі та розмістити на її даху панелі фотоелектричної системи.
- Вибрати конфігурацію системи, кількість та потужність інверторів.
- Виконати моделювання сонячної електростанції для визначення технічних, енергетичних, економічних та екологічних показників роботи системи.
- Провести аналіз отриманих показників та визначити технічну та економічну доцільність впровадження системи.

## 2. ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ

Кожен з програмних продуктів, що розроблені компанією Valentin Software GmbH, спеціалізується на моделюванні того чи іншого типу нетрадиційних та відновлюваних джерел. Програмні продукти дозволяють визначити можливості фінансування проектів з чистої енергії з використанням місцевого потенціалу відновлюваних джерел енергії та врахуванням місцевих кліматичних умов.

Програма PV\*SOL premium, що є промисловим стандартом для програм проектування фотоелектричних систем, може використовуватися для проектування та моделювання всіх типів сучасних фотоелектричних систем. Це може бути як невелика система на даху з кількома модулями, так і система середнього розміру на дахах промислових підприємств та великі сонячні електростанції для генерації електроенергії в мережу.



3D-дизайн в програмі PV\*SOL premium дозволяє візуалізувати всі поширені типи систем: наземні, інтегровані в скатну покрівлю, змонтовані за допомогою системи кріплення на пласкій покрівлі тощо. Це також дозволяє детально проаналізувати сусідні об'єкти та оцінити втрату генерації за рахунок затінення модулів.

### 3. ЗАВАНТАЖЕННЯ ТА ОЗНАЙОМЛЕННЯ З ПРОГРАМОЮ PV\*SOL PREMIUM

Завантажити програму PV\*SOL premium 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: Intel i3 або вище;
- RAM: 4 GB;
- пам'ять жорсткого диска: 850 MB;
- роздільна здатність дисплея: mind. 1.024 x 768 Pixel;
- операційна система: Windows 8.1, Windows 10 (latest service packs required), Windows 11;
- графіка: DirectX compatible (at least Version 9.0c), 2 GB, OpenGL;
- інше: Microsoft .Net Framework 4.7.2 Redistributable Package.

Офіційна веб-сторінка PV\*SOL premium представлена на рис. 3.1

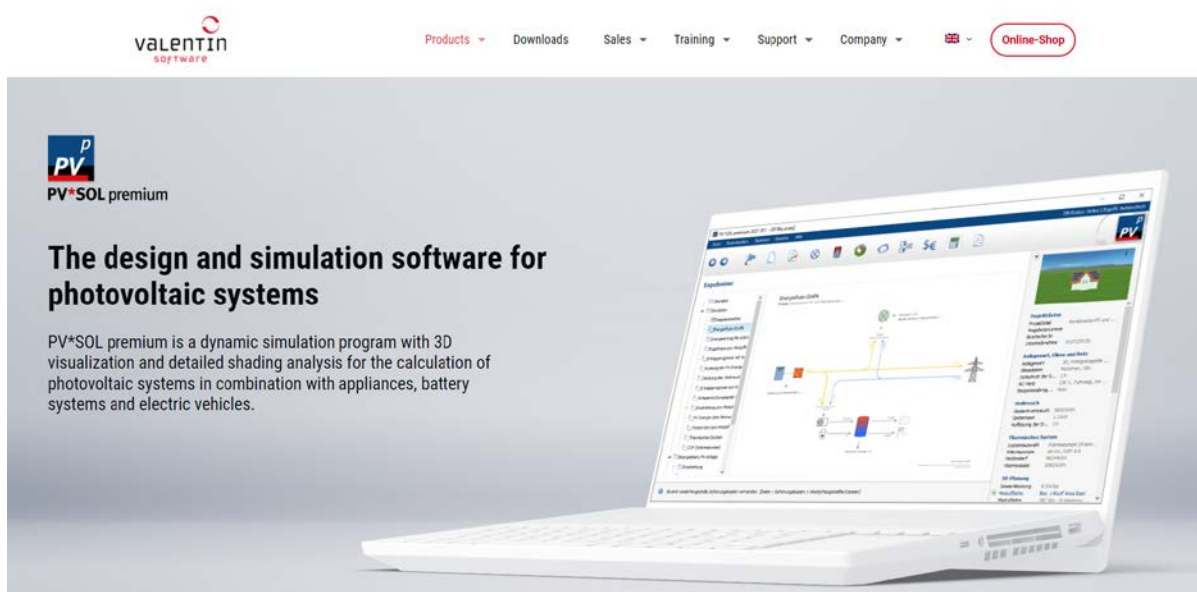


Рис. 3.1. Офіційна веб-сторінка PV\*SOL premium

До навчальних матеріалів включено:

- online help: <https://help.valentin-software.com/pvsol/en/start/>;
- PV\*SOL premium tutorials: <https://valentin-software.com/en/training/tutorials/>;
- детальний посібник користувача.

При відкритті програми PV\*SOL premium з'являється «Welcome page» (Стартова або вітальна сторінка), загальний вигляд якої Ви можете побачити на рис. 3.2. Стартова сторінка містить різноманітну інформацію про програму PV\*SOL premium:

- Зона 1 – посилання на вступ до програми;
- Зона 2 – новини щодо PV\*SOL premium, наприклад інформація про поточну програму або примітки щодо нових навчальних матеріалів;
- Зона 3 – створення нових та завантаження існуючих файлів проєктів (ті самі функції доступні в рядку меню в розділі File/Файл);
- Зона 4 – приклади проєктів, що використовуються для навчання.

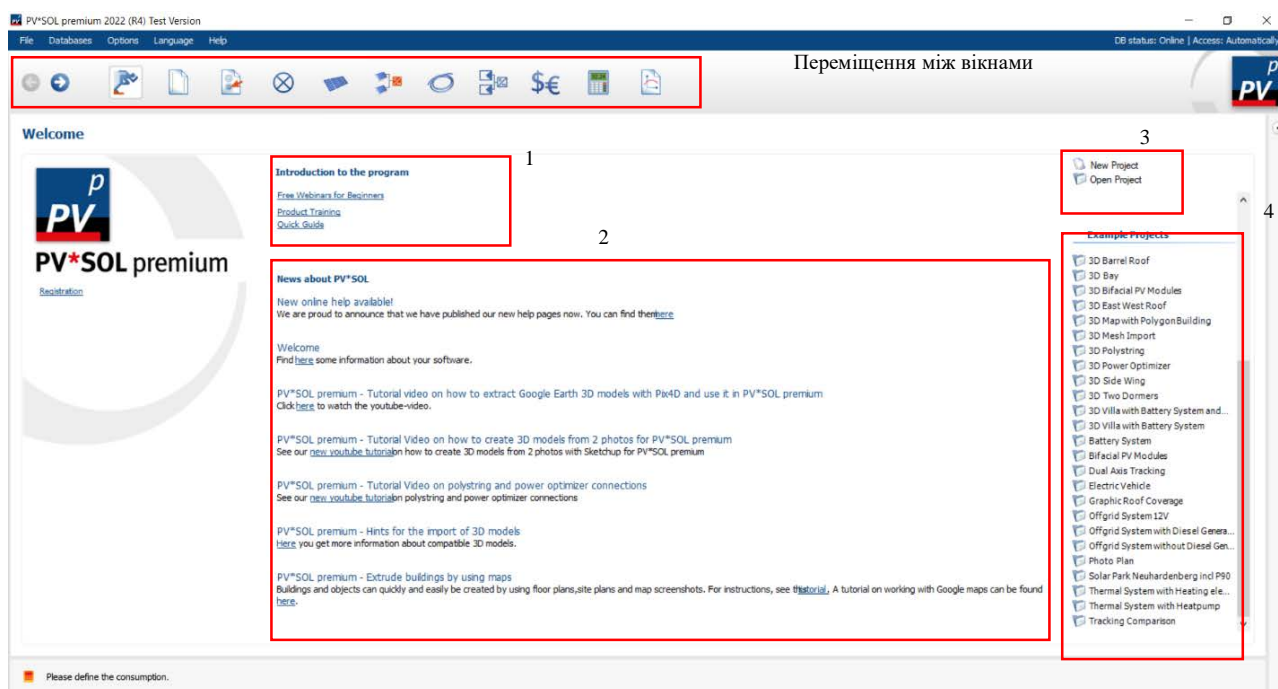








Рис. 3.2 – Стартова сторінка PV\*SOL premium

У вікні програми знаходиться рядок Меню, а нижче – панель вибору окремих сторінок навігації. Для переключення між різними вікнами навігації можна використати позначки зі стрілками  та .

Праворуч Ви будете бачити поточний статус проєкту, а в нижній частині вікна будуть з'являтися сповіщення програми.






Сповіщення PV\*SOL premium відображаються в нижній частині вікна програми. Є чотири категорії сповіщень, що наводяться у табл. 3.1.

Таблиця 3.1. Сповіщення програми PV\*SOL premium

Зображення	Сповіщення	Опис
	Information / Інформація	Інформація дає підказки та підтримку для оптимального проєктування.
	Warning / Застереження	Попередження виникають, якщо дані у проєкті не узгоджені або якщо в програмі виникають несподівані реакції.
	No simulation / Без моделювання	Введені дані неправильні, тому не можна розпочати моделювання.
	Error / помилка	Введені дані неправильні. Дану сторінку не можна залишити, поки не буде виправлений запис.

Навігаційна панель в залежності від типу системи, яка моделюється може містити елементи, наведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2. Навігаційна панель програми PV\*SOL premium

Зображення	Навігаційна сторінка	Опис
	Welcome / Вітальна сторінка	Відображає різну інформацію про програму PV*SOL. Серед іншого, різні приклади проєктів.
	Project data / Дані проєкту	Інформація про дані, пов'язані з проєктом, наприклад інформація про назву та розміщення об'єкту.
	System type, climate and grid / Тип системи, клімат і мережа	Вибір типу системи, вибір проєктування системи в 3D, розміщення та параметрів мережі.
	Consumption / Споживання	Введення потреби в електроенергії, яку повинна покривати запропонована система.
	PV-Modules / Фотоелектричні панелі	Введення інформації щодо моделі та кількості панелей та особливості їх встановлення.

Продовження таблиці 3.2.

Зображення	Навігаційна сторінка	Опис
	Inverter / Інвертор	Введення інформації щодо моделі та кількості інверторів та конфігурації системи.
	Backup Generator / Резервний генератор	Введення даних щодо додаткового генератора на додаток до фотоелектричної системи для автономних систем
	3D Design / 3D Проектування	3D об'єкти, розподіл площі (даху), висота, підключення модулів та інвертора, кабельний план.
	Battery system / Акумуляторна система	Введення даних щодо акумуляторної системи.
	Electric vehicles / Електромобілі	Введення даних щодо електромобілів, які також можуть заряджатися енергією від сонячної електростанції.
	Cables / Кабелі	Введення даних щодо стрінгів, лінії постійного та змінного струму, щоб визначити втрати в кабелі.
	Plans and Parts list / Плани та список обладнання	Огляд усіх важливих технічних креслень, таких як принципові схеми та розмірні плани.
	Financial Analysis / Фінансовий аналіз	Визначення вартості системи для визначення економічних показників.
	Results / Результати	Виведення результатів моделювання сонячної електростанції.

При виконанні роботи необхідно буде виконати наступні етапи:

- Внесення загальних даних щодо об'єкту моделювання / будівлі;
- Вибір відповідного типу системи, розташування та кліматичних даних для моделювання, задання параметрів мережі;
- Внесення даних щодо споживання електричної енергії будівлею;
- Створення 3D моделі будівлі, розташування панелей, вибір потужності та кількості інверторів, конфігурації системи;
- Внесення даних для розрахунку втрат енергії в кабелях;
- Аналіз результатів моделювання та проведення фінансового аналізу;
- Висновки щодо доцільності впровадження проекту.

## 4. ДАНІ ПРОЄКТУ

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

- Offer Number / Номер пропозиції (поз. 1);
- Project Designer / Проєктувальник (поз. 1);
- Customer Number / Номер клієнта (поз. 2);
- Contact person / Контактна особа (поз. 2);
- Company, Phone, Fax, E-mail, Address / Компанія, телефон, факс, електронна пошта, адреса (поз. 2);
- Start of Operation / Початок роботи системи (поз. 3);
- Project Name / Назва проєкту (поз. 3);
- Project Image / Фото проєкту (поз. 3);
- Project Description / Опис проєкту (поз. 3);
- Address of Installation / Адреса установки (поз. 3).

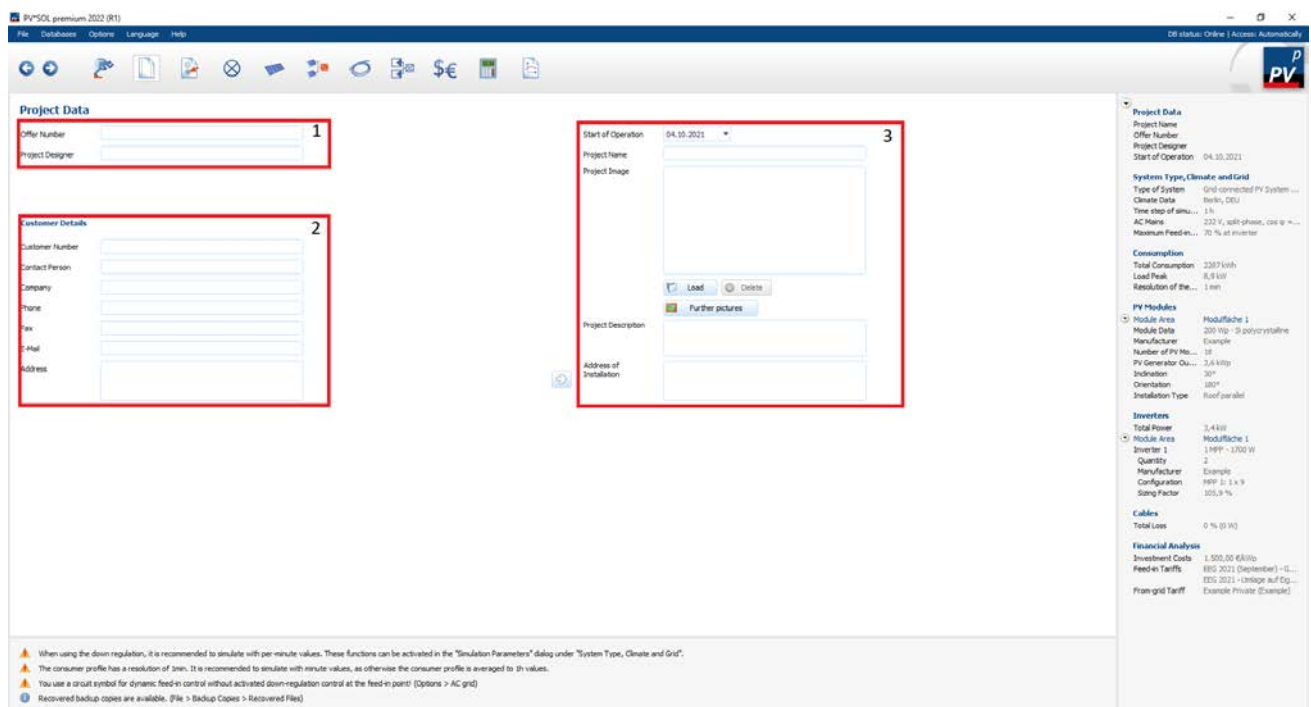


Рис. 4.1. Дані проєкту

## 5. ТИП СИСТЕМИ, КЛІМАТ І МЕРЕЖА

Загальний вигляд цієї навігаційної сторінки наведено на рис. 5.1.

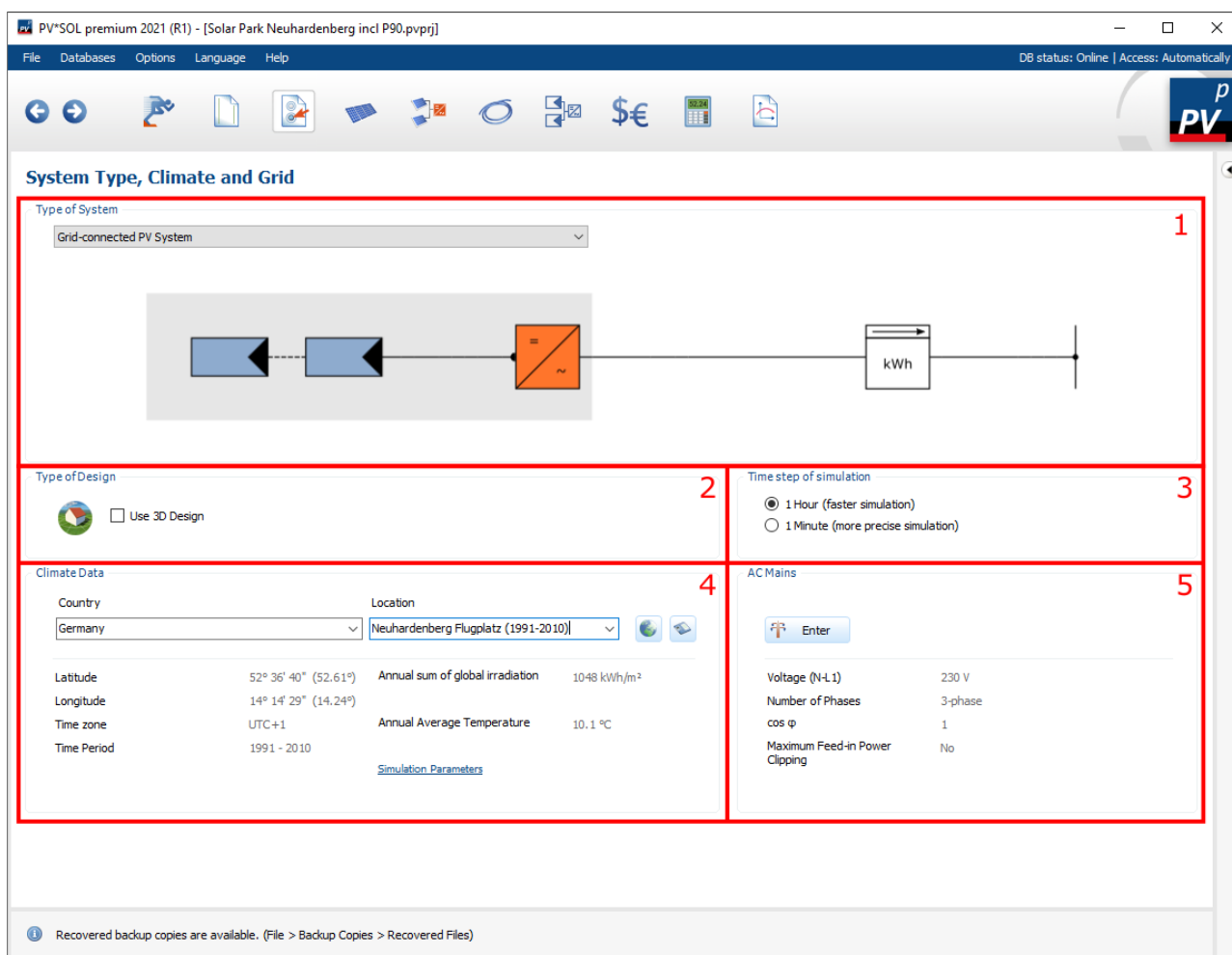


Рис. 5.1. Тип системи, клімат і мережа

На даній сторінці (рис. 5.1) можна вносити наступні дані:

- Type of system / Тип системи (поз. 1);
- Type of design / Проектування системи в 3D (поз. 2);
- Timestep of simulation / Крок моделювання (1 година або 1 хвилина) (поз. 3);
- Climate data / Кліматичні дані (поз. 4);
- AC Mains / Параметри мережі змінного струму (поз. 5).

## 5.1. Тип системи

Наступні типи систем можуть моделюватися за допомогою програми PV\*SOL premium:

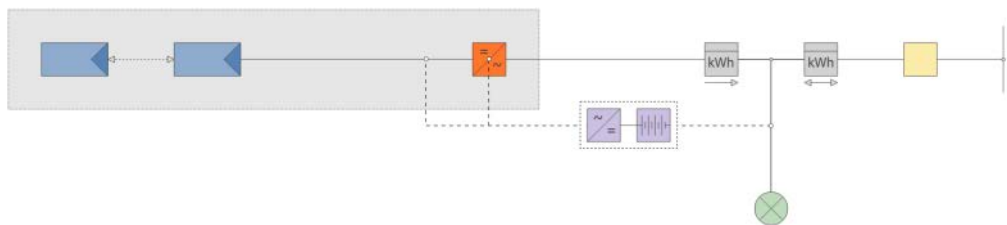
- Grid-connected PV System / Система, що приєднана до мережі без власного споживання



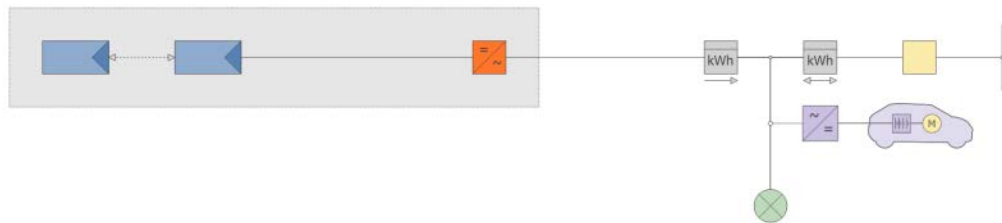
- Grid-connected PV System with Electrical Appliances / Система, що приєднана до мережі з власним споживанням



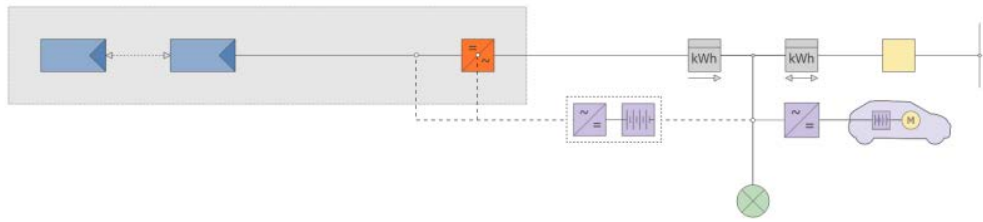
- Grid-connected PV System with Electrical Appliances and Battery System / Система, що приєднана до мережі з власним споживанням та акумуляторами



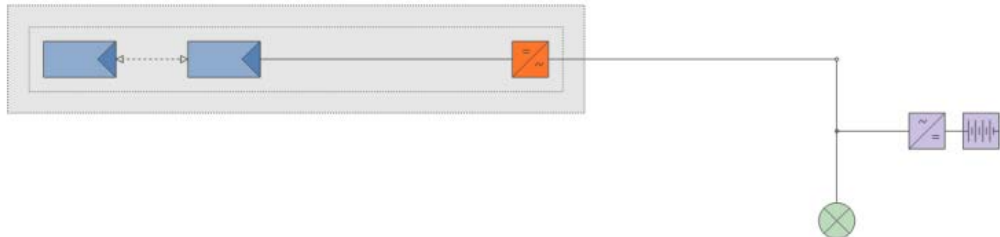
- Grid-connected PV System with Electrical Appliances and Electrical Vehicle / Система, що приєднана до мережі з власним споживанням та електромобілем



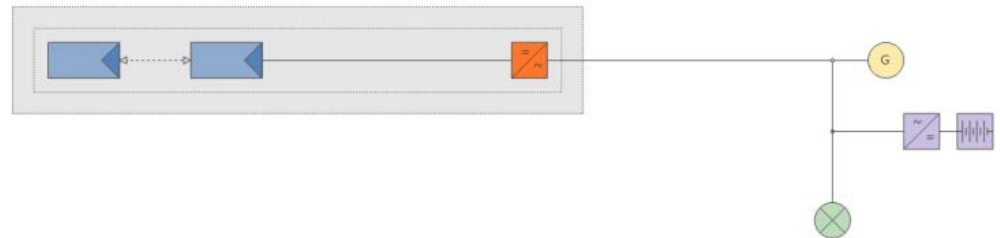
- Grid-connected PV System with Electrical Appliances, Electrical Vehicle and Battery System / Система, що приєднана до мережі з власним споживанням, електромобілем та акумуляторами



- Stand-alone PV System / Автономна система



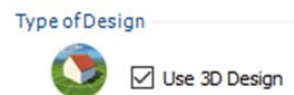
- Stand-alone PV System with Backup Generator / Автономна система з резервним генератором



В даному комп'ютерному практикумі будемо моделювати систему «Grid-connected PV System with Electrical Appliances / Система, що приєднана до мережі з власним споживанням».

## 5.2. Тип проєктування

Необхідно обрати використання 3D дизайну, що дозволить розміщувати панелі на місцевості, на даху тощо.



## 5.3. Кліматичні дані

Кліматичні дані дозволяють проводити розрахунок річної генерації електричної енергії сонячною електростанцією.

Кліматичні дані можна легко обрати із списку (рис. 5.2) для різних країн та розташувань.

Climate Data

Country	Location		
Ukraine	Kiev		
Latitude	50° 23' 59" (50.4°)	Annual sum of global irradiation	1171 kWh/m <sup>2</sup>
Longitude	30° 26' 59" (30.45°)	Annual Average Temperature	9 °C
Time zone	UTC+3	<a href="#">Simulation Parameters</a>	
Time Period	1991 - 2010		
Resolution	Hourly		

Рис. 5.2. Кліматичні дані

#### 5.4. Параметри мережі змінного струму

Властивості мережі змінного струму (рис. 5.3):

- Mains Voltage between phase and neutral / Напряга мережі між фазою і нейтраллю: 220 В;
- Number of Phases that make up the AC mains / Кількість фаз: малі системи, як правило, працюють на одній фазі, а більші системи – трифазні;
- Displacement Power Factor / Коефіцієнт зсуву потужності:  $\cos \varphi = 0,8 \dots 1$ ;
- Specific CO<sub>2</sub> saving through the use of PV energy / Питоме зменшення викидів CO<sub>2</sub>: можна використати дані щодо питомих викидів CO<sub>2</sub> при виробництві електричної енергії (420 г/кВт·год).

Mains voltage between phase and neutral	220	v
Number of Phases	3-phase	
Displacement Power Factor (cos φ)	+/- 1.00	
<input type="checkbox"/> Maximum Feed-in Power Clipping	70	% of PV Power
	<input type="radio"/> at inverter	
	<input checked="" type="radio"/> at feed-in point	
Specific CO <sub>2</sub> saving through the use of PV energy	420	g/kWh

Рис. 5.3. Параметри мережі змінного струму

## 6. СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Є декілька способів введення даних щодо споживання електричної енергії (рис. 6.1):

- Load profiles / individual appliances / Профілі завантаження / окремі прилади;
- Monthly / annual consumption for net metering / Місячне / річне споживання для системи «чистого вимірювання»;
- Surplus consumption / Надлишкове споживання.

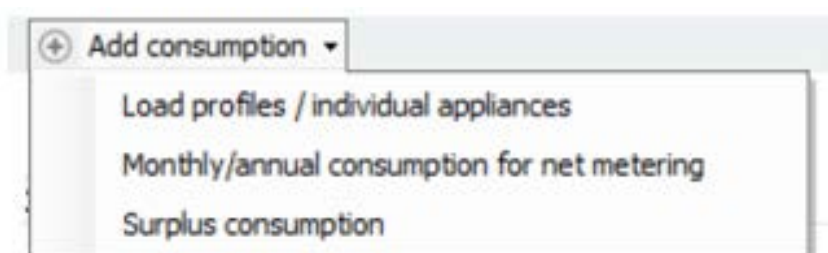


Рис. 6.1. Способи введення даних по споживанню

Перший спосіб може задаватися наступними методами:

- Load profiles (from measured values) / Профілі навантаження (з вимірних значень);
- Load profiles (from day profiles) / Профілі навантаження (з денних профілів);
- Individual appliances / Окремі прилади.

В даному випадку можна використовувати річні дані щодо електроспоживання в кВт·год (Annual Energy Requirement, kWh) та підібрати в програмі профіль споживання відповідно до типу будівлі, що є найбільш близьким до об'єкту моделювання.

Нижче наведені приклади задання даних щодо електроспоживання з використанням річного споживання та профілю навантажень (рис. 6.2), а також добових графіків (рис. 6.3).

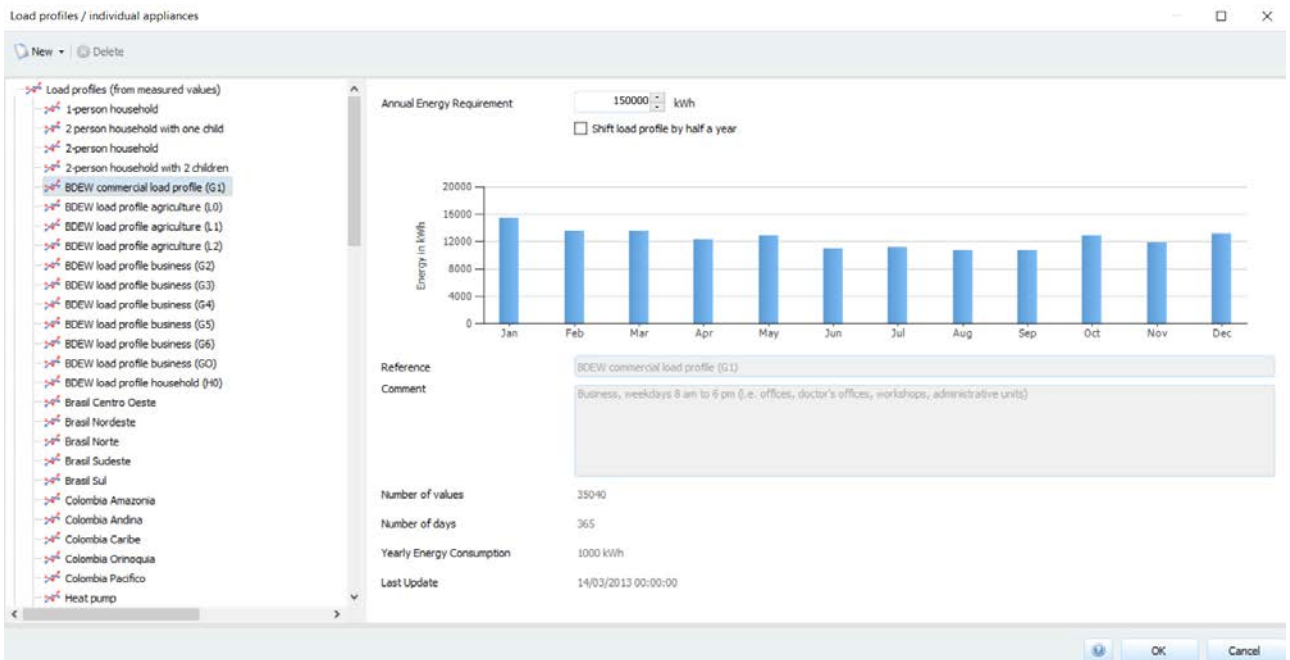


Рис. 6.2. Введення даних по споживанню з використанням річних даних та типу будівлі

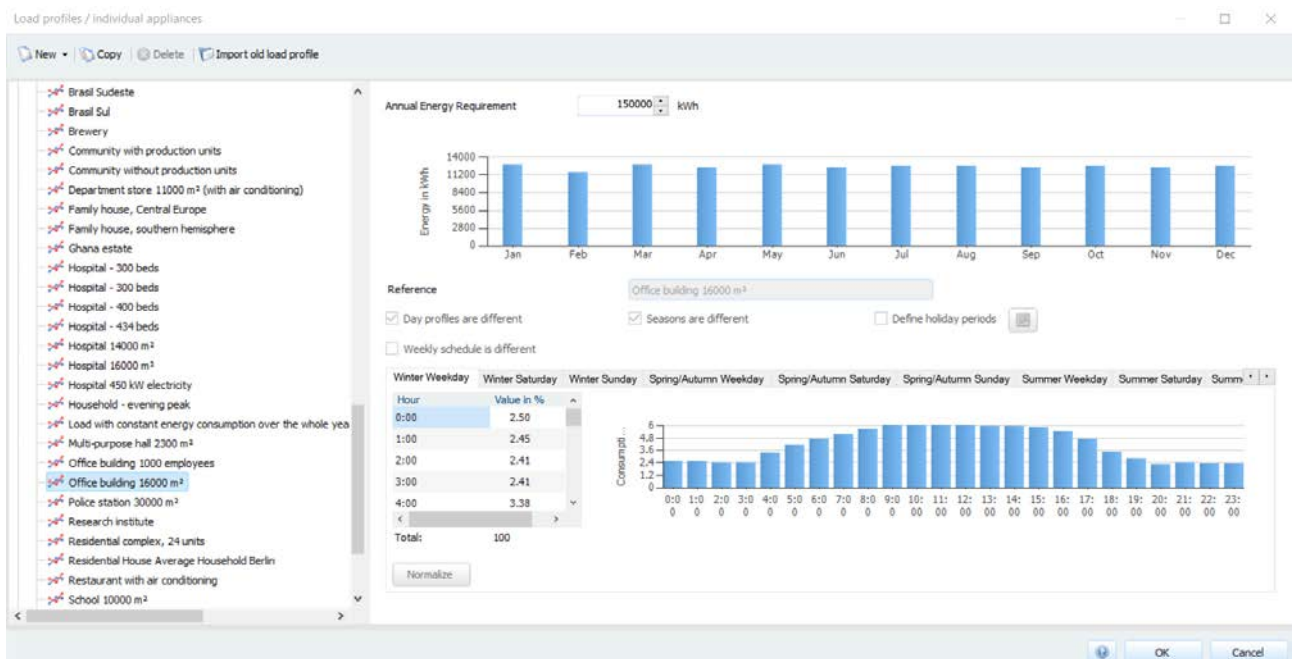


Рис. 6.3. Введення даних по споживанню з використанням річних даних та добових графіків

Також можна застосовувати дані погодинного профілю споживання електроенергії з лічильника для існуючої будівлі або з результатів енергетичного моделювання для будівлі, що проєктується. У цьому випадку дані завантажуються з файлу у форматі .txt (рис. 6.4).

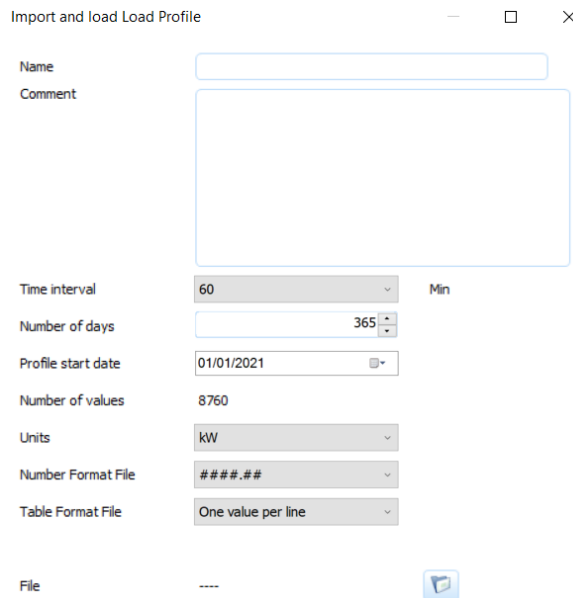


Рис. 6.4. Завантаження погодинного профілю споживання

Також можна задавати дані щодо індивідуальних електричних приладів (рим. 6.5). Це є доцільним тільки для невеликих об'єктів, для яких немає даних щодо фактичного енергоспоживання.

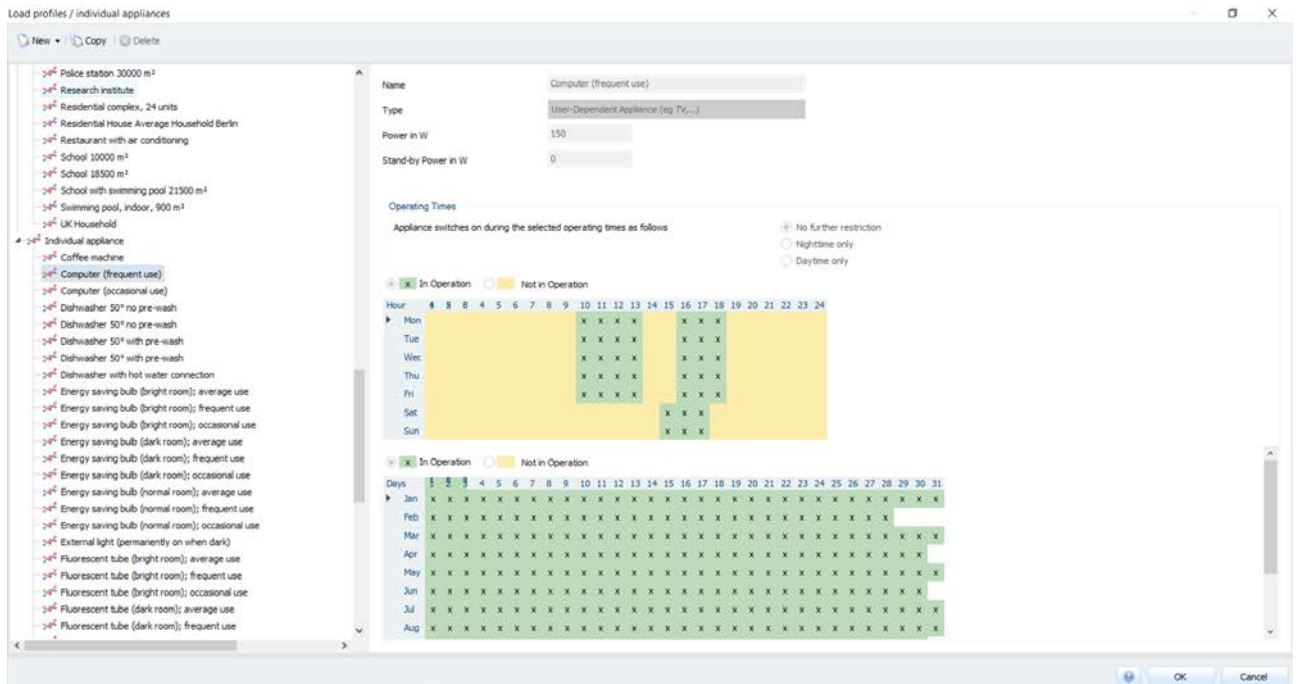


Рис. 6.5. Введення даних по індивідуальним споживачам

Другий спосіб введення даних передбачає занесення даних по споживанню електричної енергії у помісячному розрізі (рис. 6.6), при цьому в енергетичних/економічних розрахунках застосовується підхід «чистого вимірювання» (net metering).

Load profile from monthly/annual consumption for net metering

Name:

1 Tariff period ⓘ This load profile is created based on the tariff periods of the net metering tariff. With different tariff times, the net metering tariff must be selected on the Financial Analysis page

Annual Value  
 Monthly values

Month	Tariff period 1 [kWh]
Jan	0
Feb	0
Mar	0
Apr	0
May	0
Jun	0
Jul	0
Aug	0
Sep	0
Oct	0
Nov	0
Dec	0

Рис. 6.6. Введення даних по споживанню у помісячному розрізі

Після внесення даних щодо енергоспоживання Ви можете переглянути профілі споживання електричної енергії з різним інтервалом (рис. 6.7, 6.8).

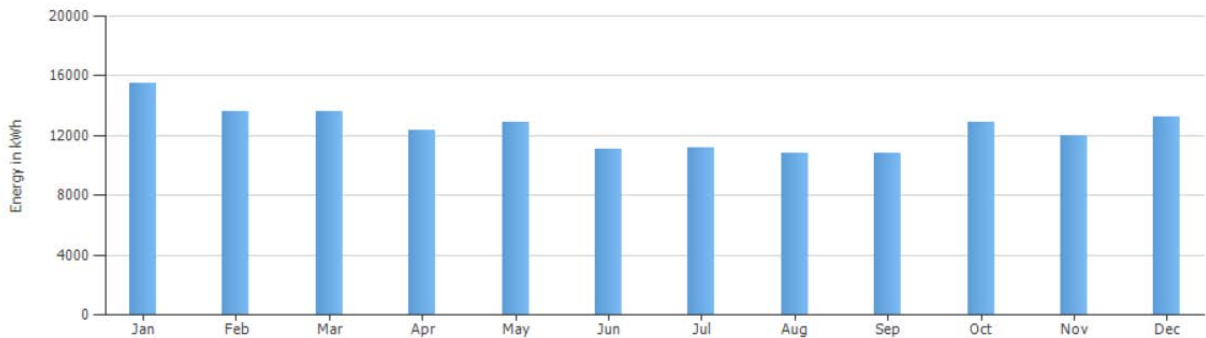


Рис. 6.7. Помісячні дані щодо споживання електричної енергії

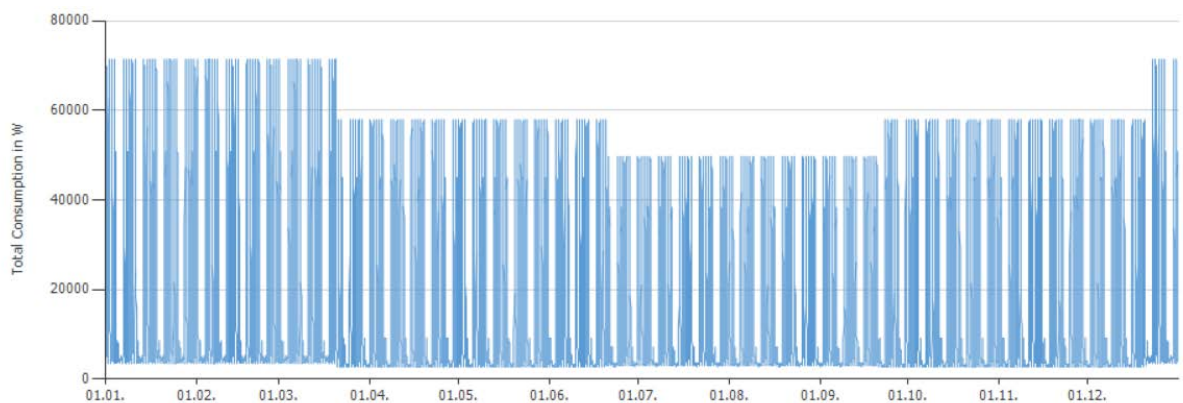


Рис. 6.8. Деталізований графік споживання електричної енергії

## 7. 3D ПРОЄКТ СИСТЕМИ

Дана навігаційна сторінка призначена для створення 3D проєкту системи. Загальний вигляд цієї сторінки наведено на рис. 7.1.

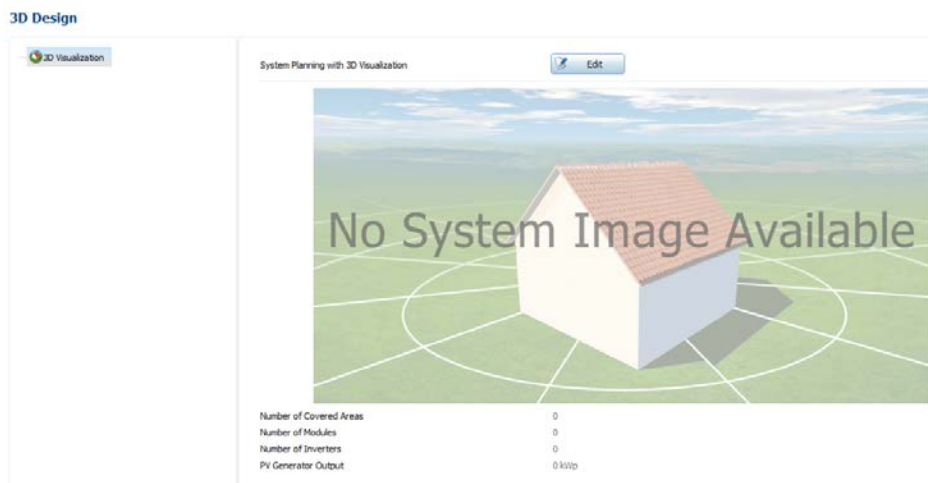


Рис. 7.1. Загальний вигляд сторінки для 3D проєкту системи

Натисніть «Edit» у вікні на рис. 7.1 щоб увійти у режим створення 3D дизайну. Для аналізу будівель можемо застосовувати наступні способи задання геометрії будівлі (рис. 7.2):

- Map Selection (створення будівлі з використанням зображення на карті (рис. 7.3));
- Simple roof area (розташування панелей на даху простої конструкції);
- Complex building (будівля складної форми).

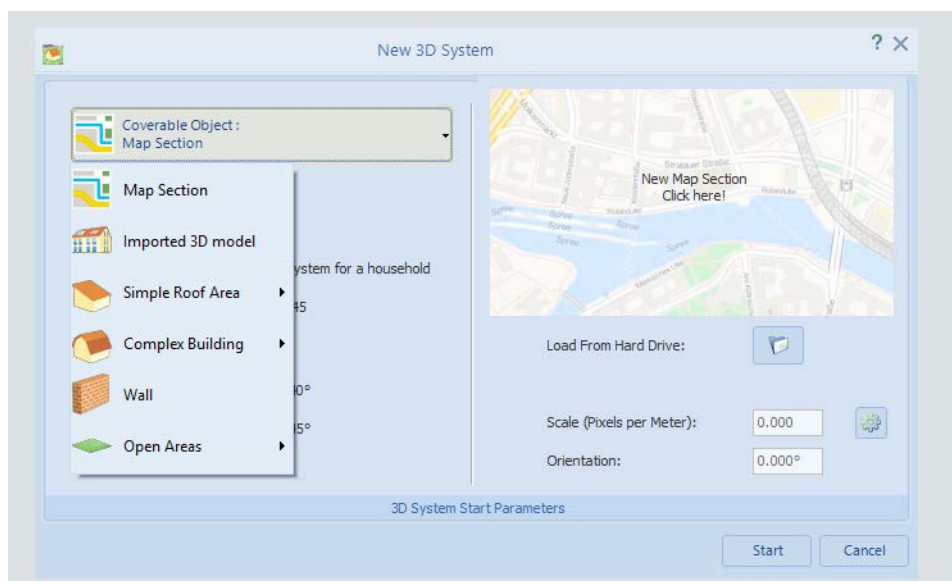


Рис. 7.2. Типи 3D систем

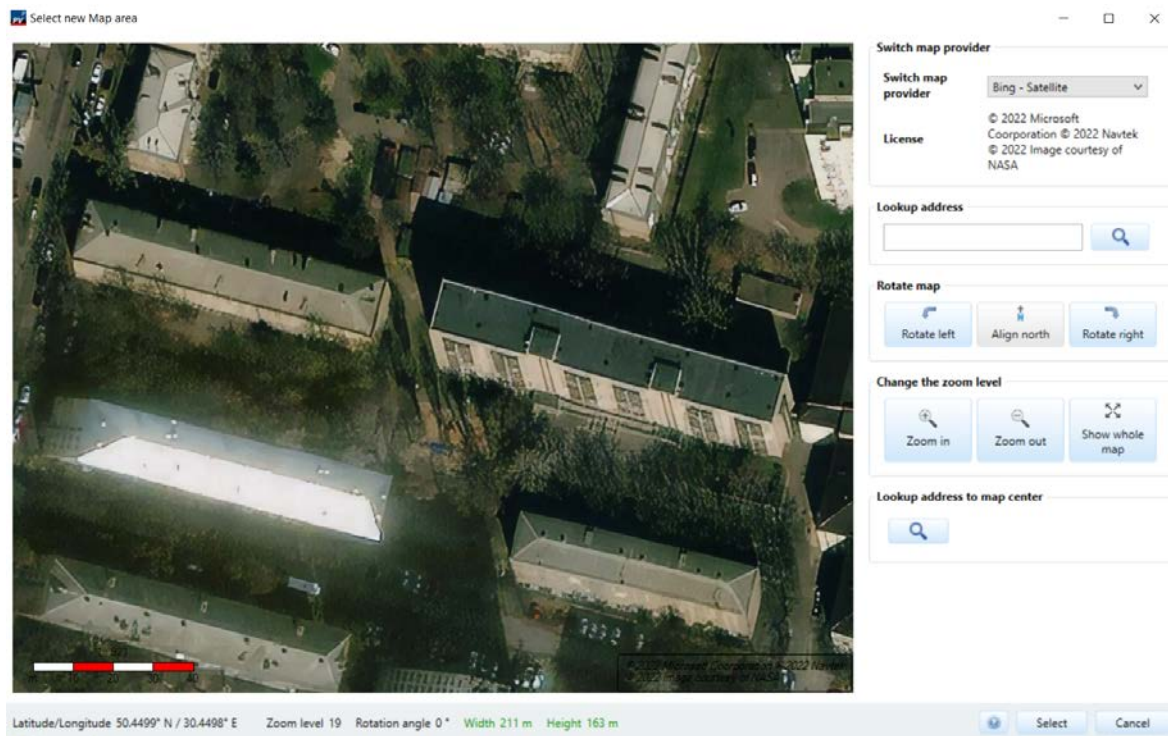


Рис. 7.3. Завантаження карти для створення будівлі

Після завантаження карти для створення 3D геометрії будівлі скористаємося побудовою 3D полігону (Sketch a 3D Polygon) (рис. 7.4). В даному випадку ми розглянемо побудову двох будівель на території студмістечка КПІ ім. Ігоря Сікорського: гуртожиток №22 та гуртожиток №14. Ці дві будівлі мають різний тип покрівлі: скатну та пласку.

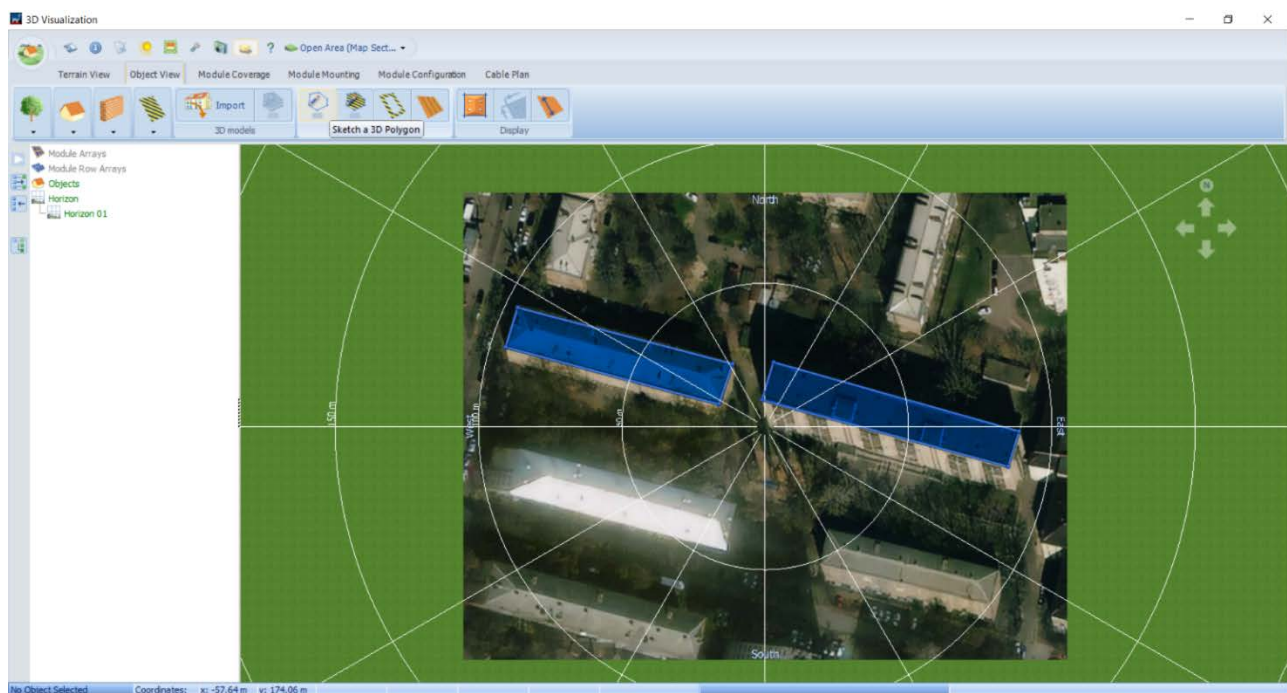


Рис. 7.4. Побудова 3D полігону для створення будівель

Після створення полігонів необхідно спочатку вирівняти полігони для формування прямих кутів (Make at a right angle) та витягнути 3D об'єкт (Extrude 3D object) (рис. 7.5).

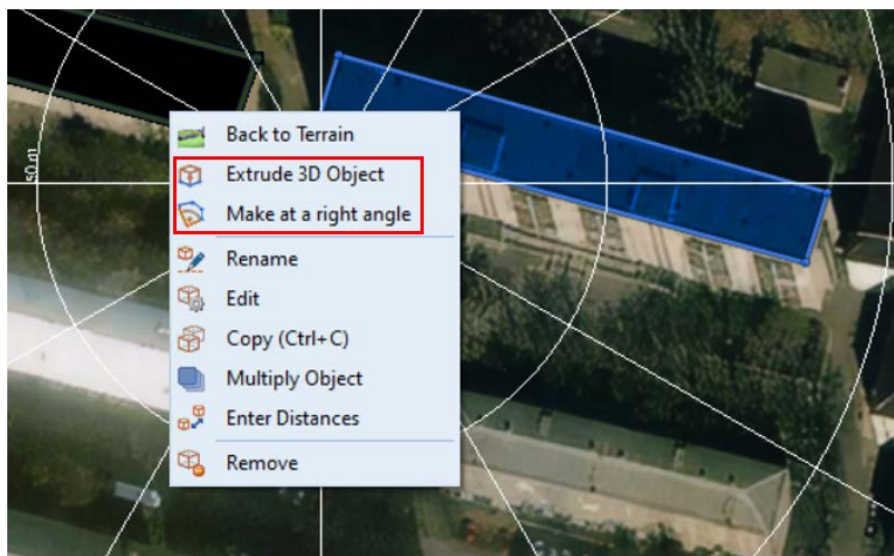
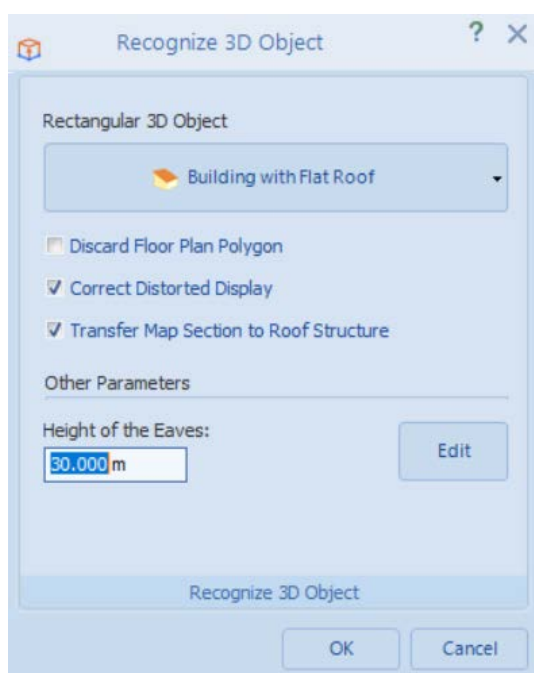
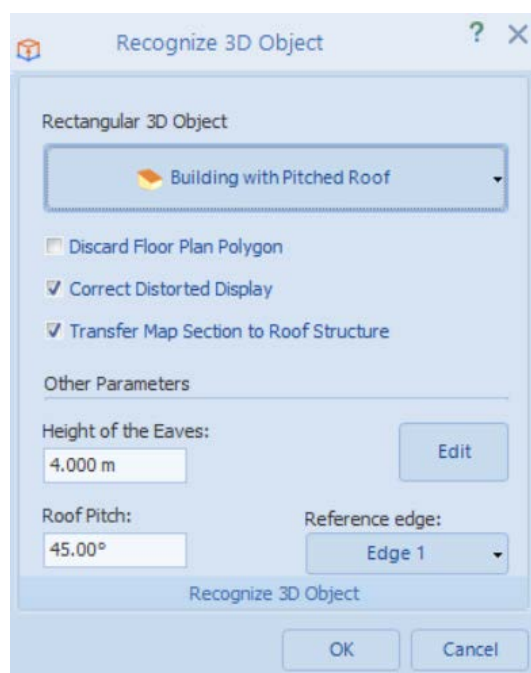


Рис. 7.5. Створення 3D об'єкту

Для будівлі з плоскою покрівлею обирається «Building with flat roof» та задається її висота (Height of the Eaves) (рис. 7.6 а). Для будівлі зі скатною покрівлею обирається «Building with pitched roof» та натискається «Edit» для редагування параметрів (рис. 7.6 б).



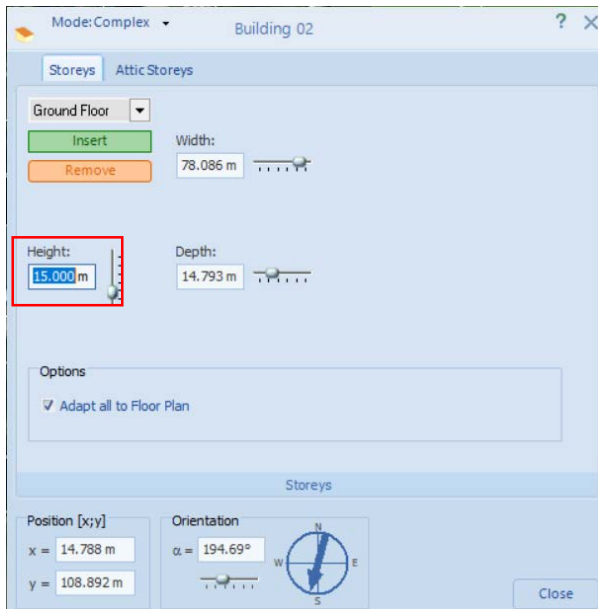
а)



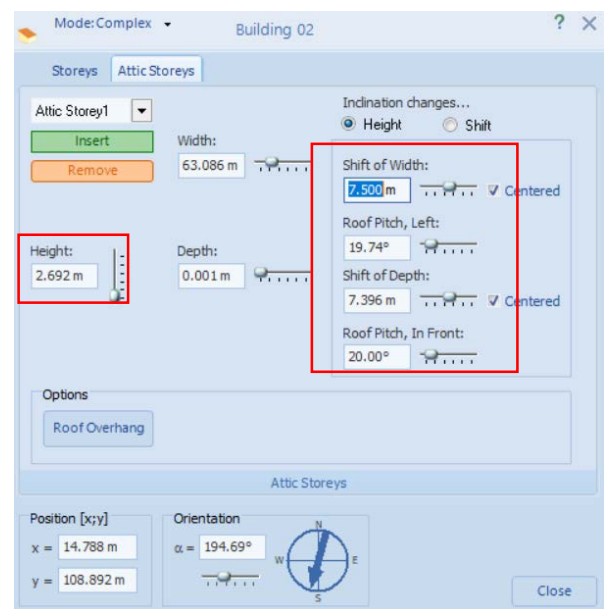
б)

Рис. 7.6. Будівля з плоскою (а) та скатною (б) покрівлею

Для будівлі зі скатною кривою за замовчуванням задається односкатна покрівля. Для нашого випадку необхідно змінити модель будівлі з «Model: Simple» на «Model: Complex». Параметри будівлі задаються у вікні на рис. 7.7 а та горища окремо у вікні на рис. 7.7 б.



а)



б)

Рис. 7.7. Редагування будівлі зі скатною покрівлею:  
а – параметри будівлі; б – параметри горища

Скат покрівлі можна задавати за допомогою висоти горища (height), кута для основного скату покрівлі (roof pitch, in front) та кута для бічного скату покрівлі (roof pitch, left) або зсуву бічного скату (shift of width) (рис. 7.7 б). При наявності габаритних розмірів покрівлі потрібно обов'язково перевірити ширину та довжину будівлі (width, depth).

Після побудови, будівлі матимуть вигляд як на рис. 7.8.

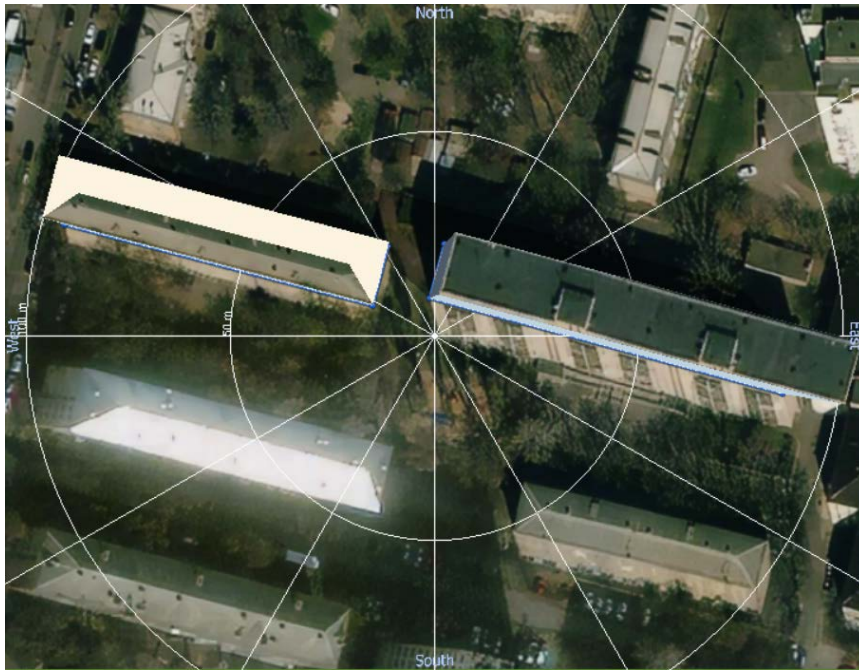



Рис. 7.8. Загальний вигляд будівель

На плоскій покрівлі будівлі необхідно нанести надбудови та вентиляційні канали. Для цього необхідно активувати поверхню «Activate» (натиснувши ліву клавішу миші), нанести полігони для витягування надбудов та створення «заборонених зон» для вентканалів (рис. 7.9). Надбудови створюються витягуванням полігонів: «Sketch a 3D polygon» (створити 3D полігон), «Extrude 3D object» (витягнути 3D об'єкт), «Arbitrary Building» (довільна будівля), «Height» (висота).



Рис. 7.9. Створення надбудов та «заборонених зон»

Заборонені зони створюються за допомогою інструменту «Sketch a polygonal barred area» . Після створення надбудов будівлі мають вигляд як на рис. 7.10.

Зображення на карті можуть дещо відрізнятись / зміщатися, тому розміщення вентканалів потрібно перевіряти додатково.



Рис. 7.10. Загальний вигляд будівель після створення надбудов

Після цього етапу можна переходити до розміщення панелей на плоскій і скатній покрівлі та конфігурації системи. Для скатної покрівлі використовується блок «Module coverage» (покриття даху модулями) (рис. 7.11), а для плоскої покрівлі – «Module mounting» (кріплення модулів на даху) (рис. 7.16). Почнемо розгляд налаштування системи для «Module coverage» (рис. 7.11, поз. 1).

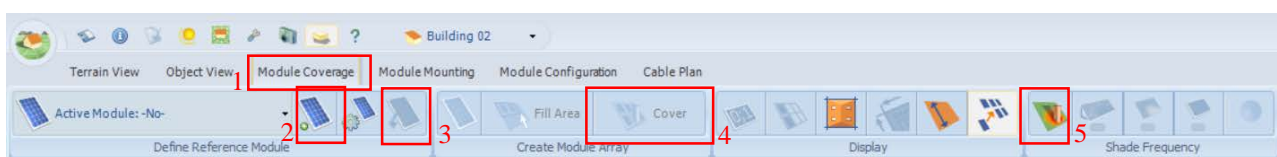


Рис. 7.11. Покриття скатної покрівлі модулями

Для розміщення панелей на скатній покрівлі потрібно задати модель та орієнтацію PV панелей, натиснувши на кнопку «New module» (📱) (рис. 7.11, поз. 2)). Після цього необхідно обрати виробника та модель панелей (рис. 7.12). За замовчуванням приймається вертикальне розміщення панелей: «Module Installation: Vertical» (📱) (рис. 7.11, поз. 3). Але за необхідності можна змінити розміщення панелей на горизонтальне.

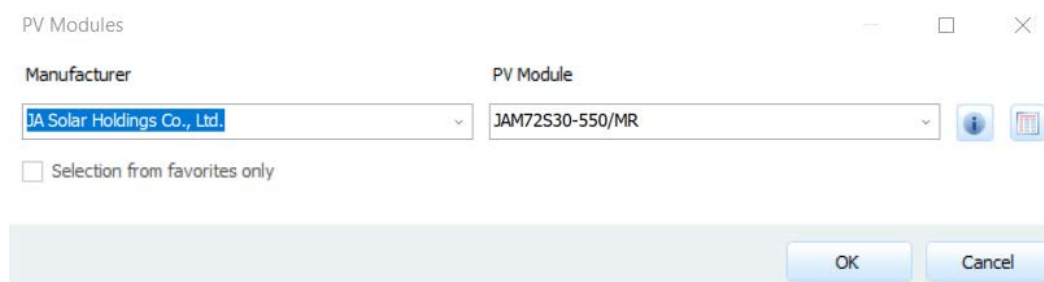



Рис. 7.12. Приклад вибору виробника та моделі панелей

Після вибору моделі PV панелей можна перейти безпосередньо до розміщення їх на даху натисканням кнопки «Cover» (  ) (рис. 7.11, поз. 4). Тепер необхідно задати відстань між панелями та спосіб кріплення на покрівлі (рис. 7.13):

- Roof integrated – no rear ventilation / Кріплення інтегроване до покрівлі – немає вентиляції зі зворотної сторони панелі;
- Roof integrated – rear ventilation / Кріплення інтегроване до покрівлі – є вентиляція зі зворотної сторони панелі;
- Flush mount – good rear ventilation / Кріплення на направляючих конструкціях – гарна вентиляція зі зворотної сторони панелі;
- Mounted – roof / Підняте кріплення панелей на даху;
- Mounted – open space / Підняте кріплення панелей на відкритій ділянці;
- Floating PV / Фотоелектричні модулі монтуються на конструкцію, що плаває на воді.

Зазвичай вибір системи кріплення може впливати на охолодження та температуру панелей, і таким чином на показники ефективності. В даному випадку була обрана наступна система: «Flush mount – good rear ventilation».

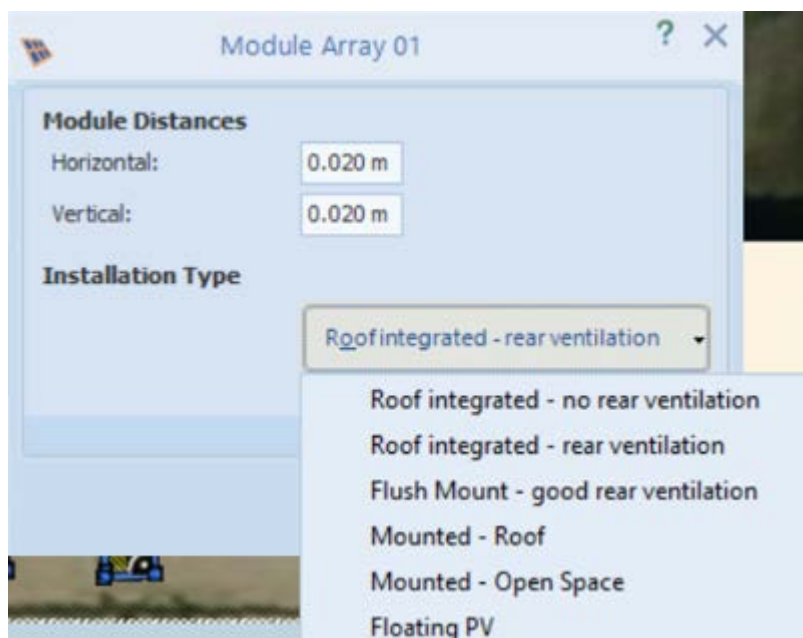


Рис. 7.13. Приклад вибору системи кріплення панелей

Програма розташує панелі на даху, уникаючи «заборонених зон» (виступів, вентиляційних каналів тощо). Приклад розміщення панелей на даху можна побачити нижче на рис. 7.14

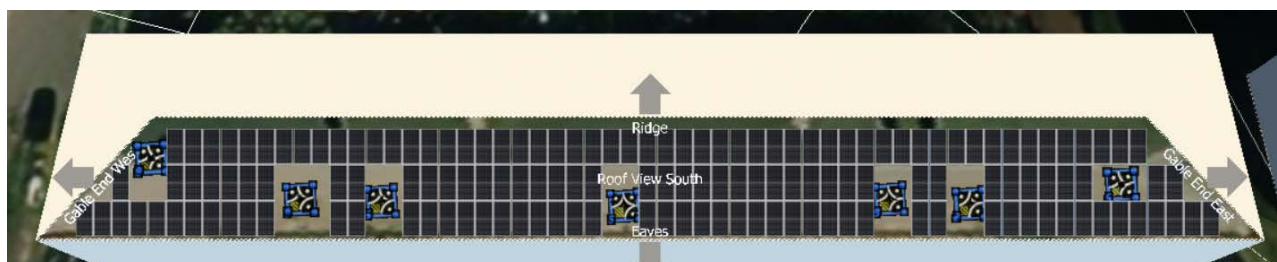


Рис. 7.14. Приклад розміщення панелей на скатній покрівлі

Після розміщення перевіряємо потенційне затінення від виступаючих елементів та сусідніх будівель, натискаючи кнопку «Start Shade Frequency» (рис. 7.11, поз. 5). В даному випадку, на рис. 7.15, можемо спостерігати вплив затінення від сусідньої будівлі.

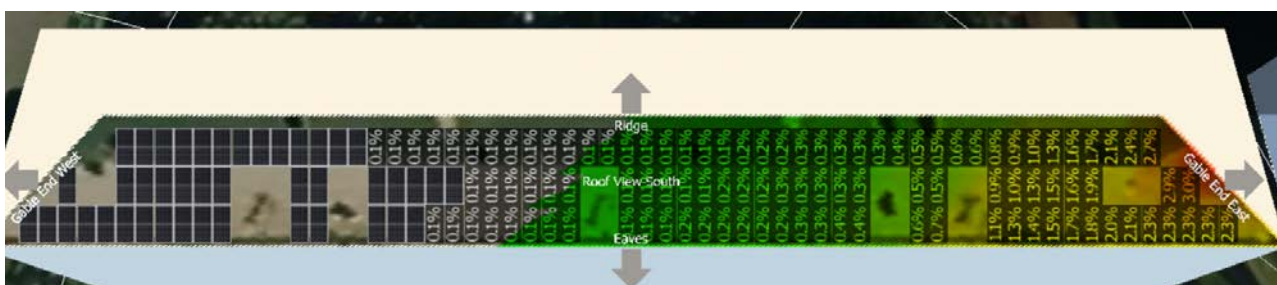


Рис. 7.15. Розрахунок відсотку затінення панелей від сусідньої будівлі

Для плоскої покрівлі скористаємося блоком «Module mounting» (кріплення модулів на даху) (рис. 7.16, поз. 1). Для розміщення панелей на плоскій покрівлі потрібно задати модель, орієнтацію та кут нахилу PV панелей, а також відстань між рядами панелей, натиснувши «New assembly system» (рис. 7.16, поз. 2)

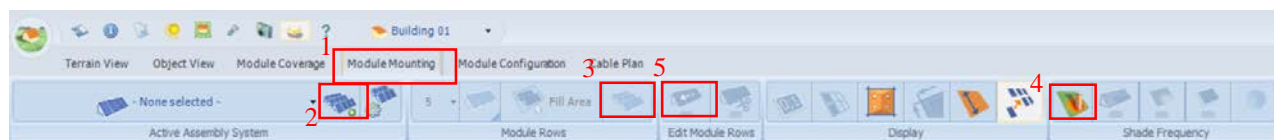


Рис. 7.16. Покриття плоскої покрівлі модулями

Для розміщення панелей на плоскій покрівлі обирається модуль за аналогічним принципом зі скатною покрівлею та задається його розміщення

(Horizontal/Горизонтальне або Vertical/Вертикальне) (рис. 7.17). Після цього програма може розрахувати оптимальну орієнтацію панелей (Orientation→Calculate), в даному випадку на південь. Можна також «проігнорувати» оптимальну орієнтацію та розмістити панелі паралельно одному з країв будівлі (Edge). У вікні на рис. 7.18 можна побачити кут нахилу панелей (mount angle), референтний край будівлі (reference edge) та орієнтацію панелей відповідно до референтного краю (alignment to the reference edge).

Також у даному вікні (рис. 7.17) можна отримати дані щодо оптимальної відстані між рядами для мінімізації взаємного затінення (Placing→Calculate). Програма самостійно порахує і заповнить потрібні дані стосовно розміщення панелей. Результати обрахунку можна побачити на рис. 7.19.

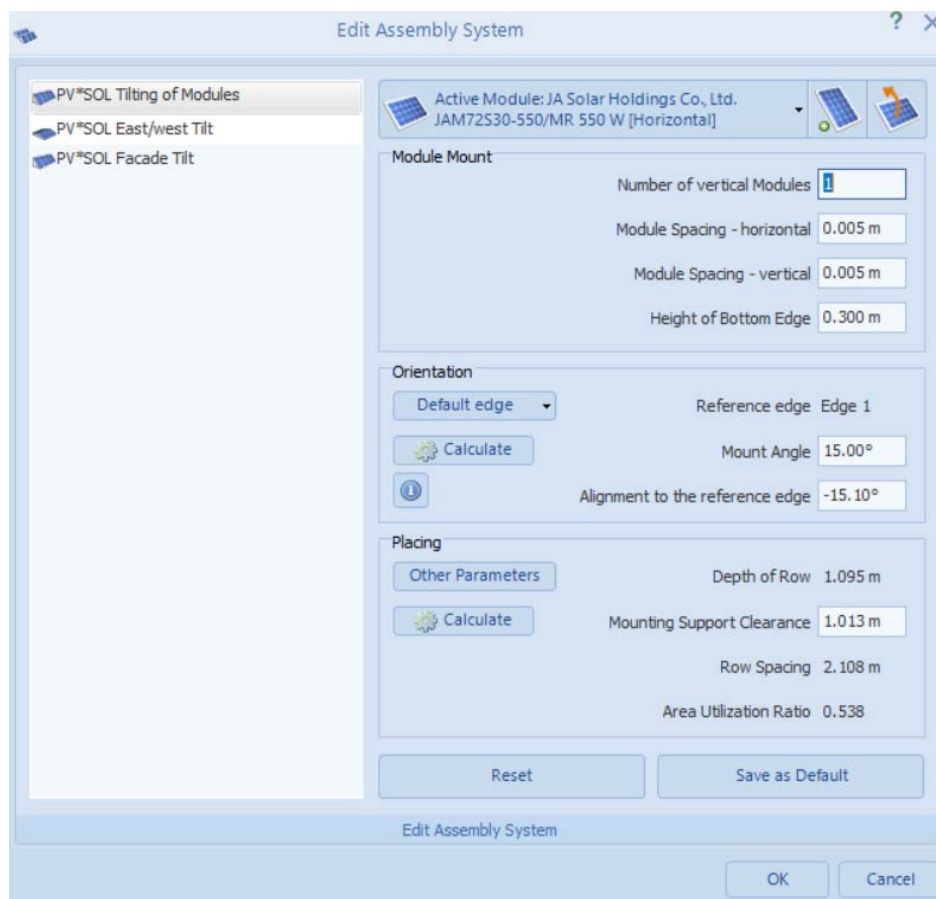


Рис. 7.17. Приклад розрахунку розміщення панелей на пласкій покрівлі



Рис. 7.18. Приклад автоматичного розрахунку оптимальної орієнтації панелей

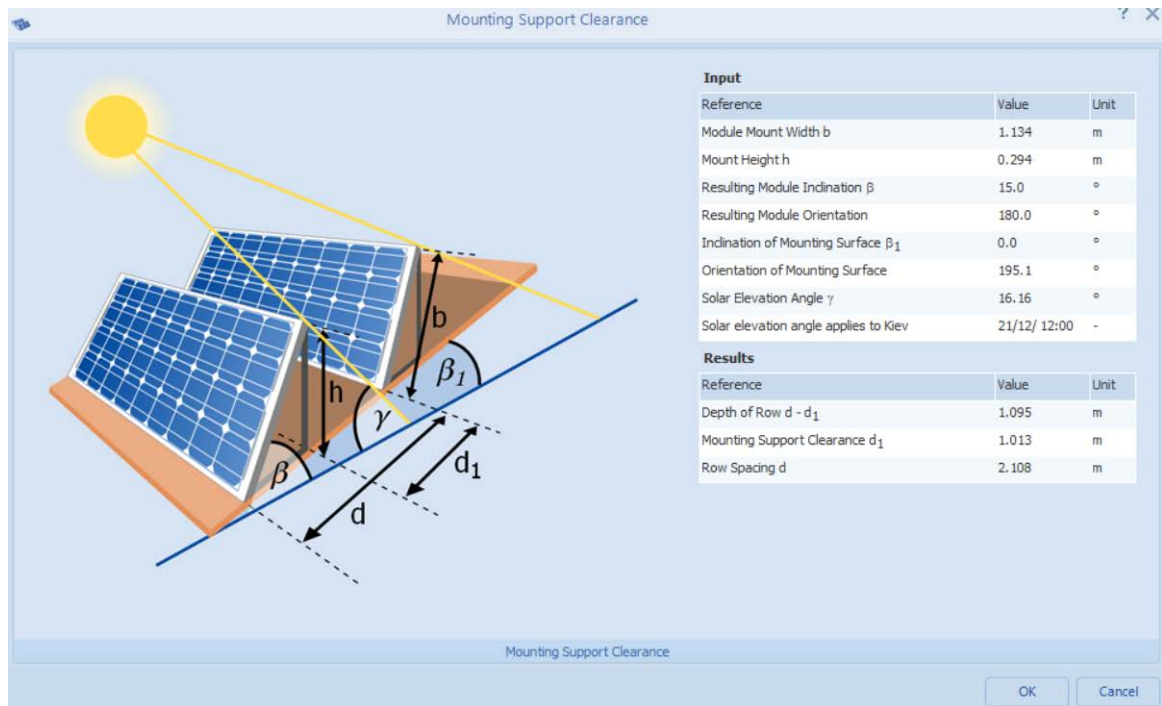



Рис. 7.19. Приклад автоматичного розрахунку оптимальної відстані між рядами панелей

Після внесення даних щодо конфігурації панелей, розміщуємо їх на даху натиснувши кнопку «Cover the mounting surface with maximum number of module rows»  (рис. 7.16, поз. 3). У відповідному вікні (рис. 7.20) необхідно задати відстань від країв будівлі, на якій не можна розміщувати модулі (мінімум 0,5-1 м).

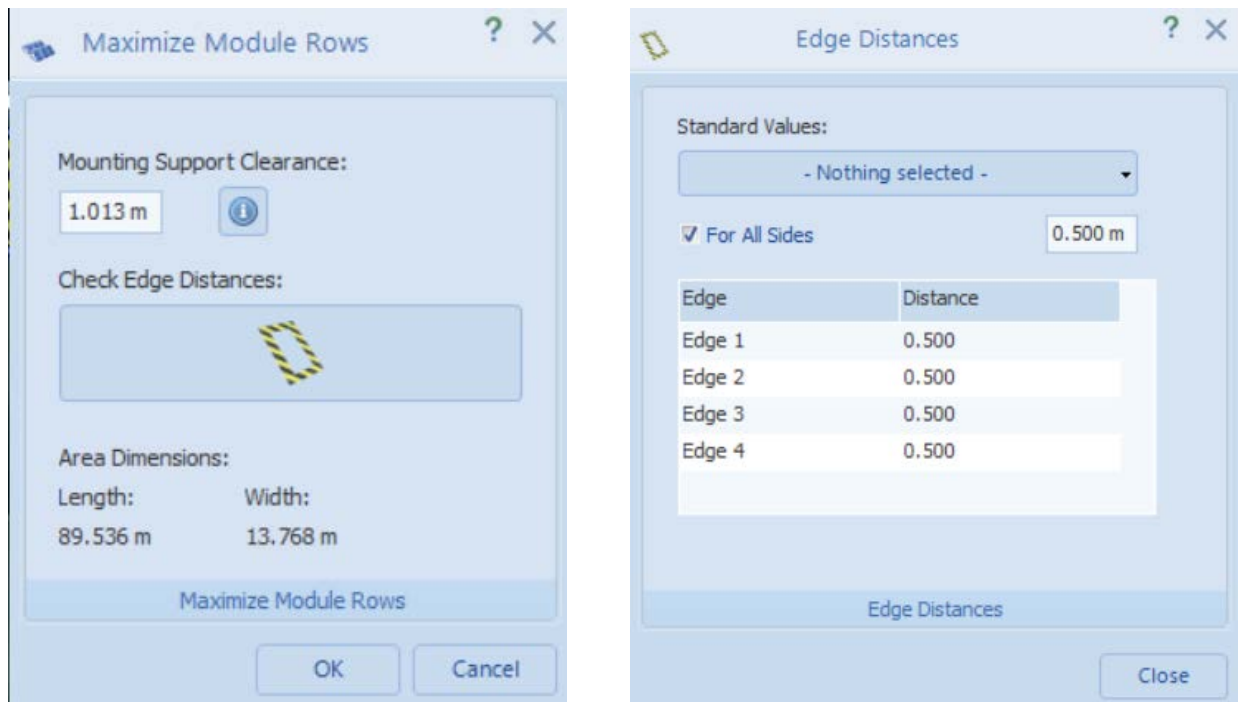


Рис. 7.20. Внесення інформації щодо відстані від країв будівлі

Приклад розміщення панелей на плоскій покрівлі показано на рис. 7.21.

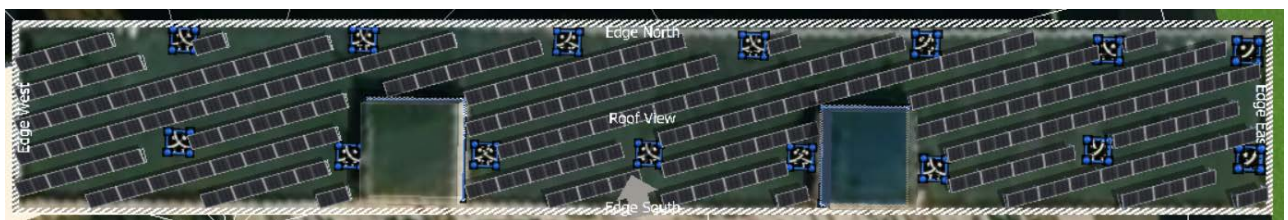


Рис. 7.21. Приклад розміщення панелей на плоскій покрівлі


Після розміщення перевіряємо потенційне затінення від виступаючих елементів та сусідніх будівель, натискаючи кнопку «Start Shade Frequency»  (рис. 7.16, поз. 4). В даному випадку можна спостерігати вплив затінення від виступаючих елементів (рис. 7.22).



Рис. 7.22. Розрахунок частоти затінення панелей від виступаючих елементів




Наступним кроком необхідно вилучити всі панелі, які мають коефіцієнт затінення більше 10-15%. Для цього можна скористатися кнопкою «Modules rows can be subsequently reduced or enlarged here»  (рис. 7.16, поз. 5). Той же самий фрагмент після видалення панелей можна побачити на рисунку 7.23.



Рис. 7.23. Розрахунок частоти затінення панелей від виступаючих елементів після вилучення найбільш затінених панелей

Після закінчення розміщення на поверхні покрівлі потрібно перейти до конфігурації системи, натиснувши на блок «Module Configuration» (конфігурація панелей) (рис. 7.24, поз. 1). Якщо розглядається одна будівля або поверхня можна скористатися кнопкою «Configure all Unconfigured Modules in this mounting surface» (skonфігурувати всі неskonфігуровані панелі на цій поверхні)  (рис. 7.24, поз. 2). Якщо ж поверхонь або будівель більше, то краще скористатися сусідньою кнопкою «Configure all Unconfigured Modules» (skonфігурувати всі неskonфігуровані панелі)  (рис. 7.24, поз. 3).

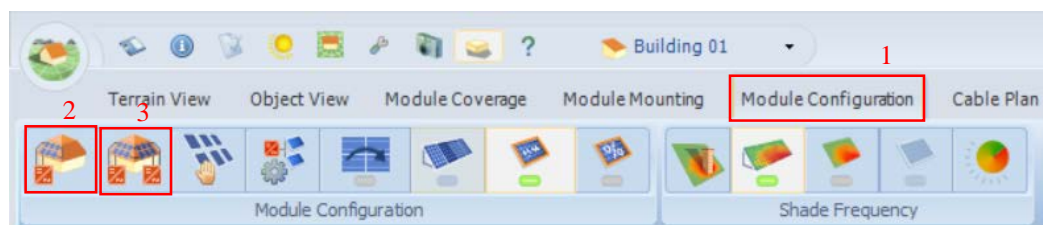


Рис. 7.24. Блок конфігурації панелей

У вікні, що з'явилося, переходимо власне до конфігурації системи. Якщо у вас декілька будівель/поверхонь, то за бажанням їх можна з'єднати і сконфігурувати разом. Для цього необхідно натиснувши Ctrl обрати всі необхідні поверхні та натиснути «Configure module areas together» (Сконфігурувати

поверхні з панелями разом) (рис. 7.25, поз. 1). Для вибору кількості та потужності інверторів можна скористатися рекомендованим діапазоном для коефіцієнту завантаження (1,0 – 1,2). Також, необхідно задати таку кількість стрінгів на MPP-трекерах та кількість послідовно з'єднаних панелей, щоб всі перевірки за струмом і напругою виконувалися (зелені галочки біля MPP-трекерів, інвертору та конфігурації в цілому) (рис. 7.25, поз. 2). Також необхідно, щоб всі панелі були при цьому сконфігуровані. У разі виходу за рекомендовані межі колір галочок може змінитися на жовтий/оранжевий або на червоний хрестик у разі, якщо система не сконфігурована. Приклади конфігурації системи та виходу за рекомендовані межі/інтервали можна побачити на рисунках нижче.

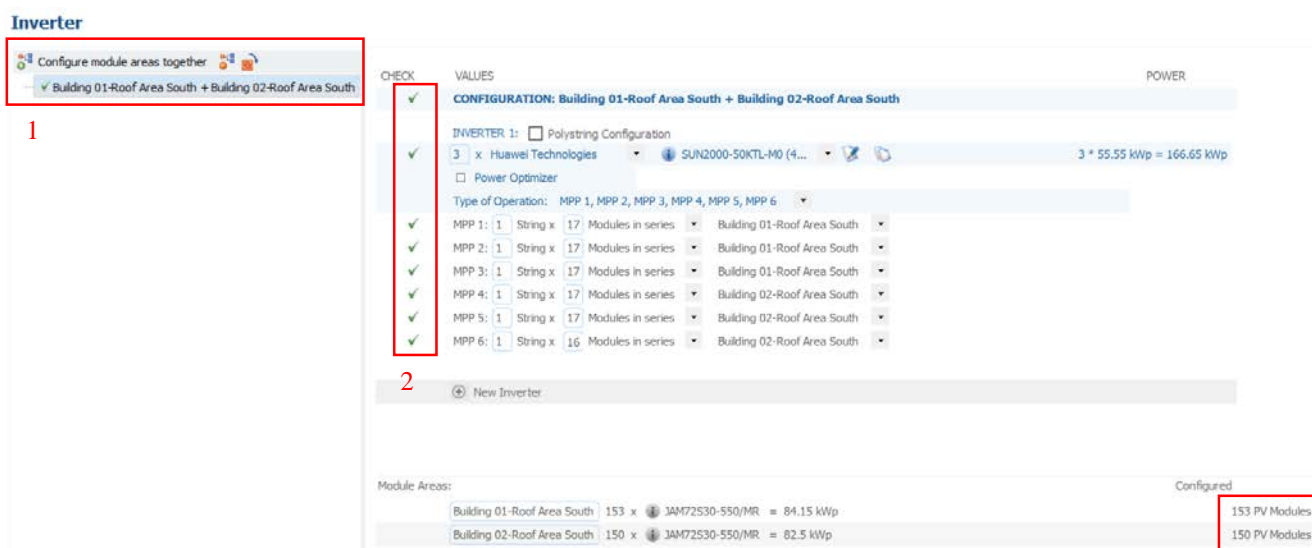


Рис. 7.25. Задання конфігурації панелей та інверторів

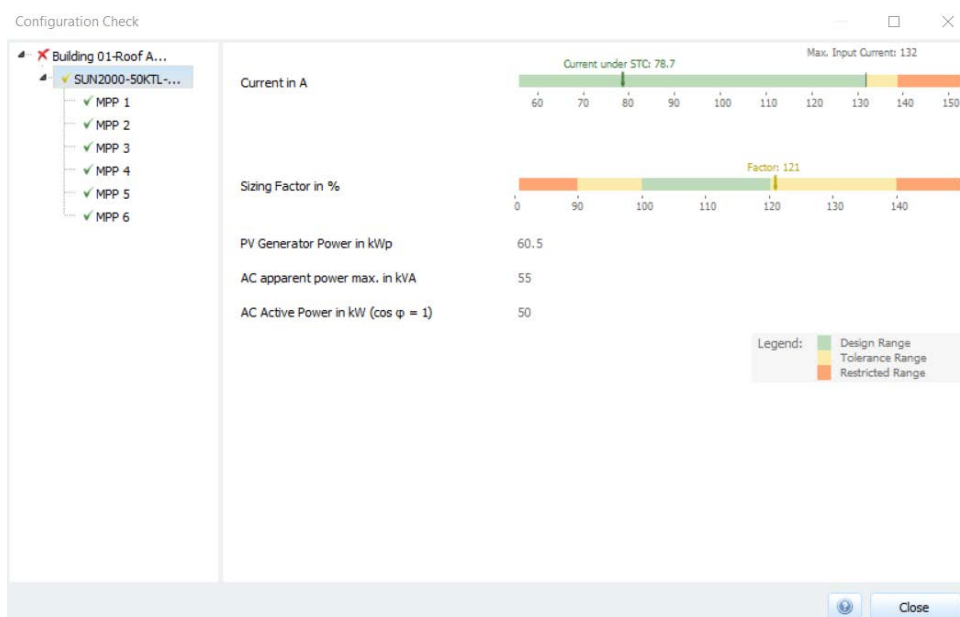


Рис. 7.26. Перевірка конфігурації системи

Успішна конфігурація системи завершується «розфарбуванням» панелей по стрінгам та MPP-трекерам (рис. 7.27). Після цього можна закрити вікно 3D візуалізації та обов'язково «прийняти» дані та промоделювати затінення (рис. 7.28).

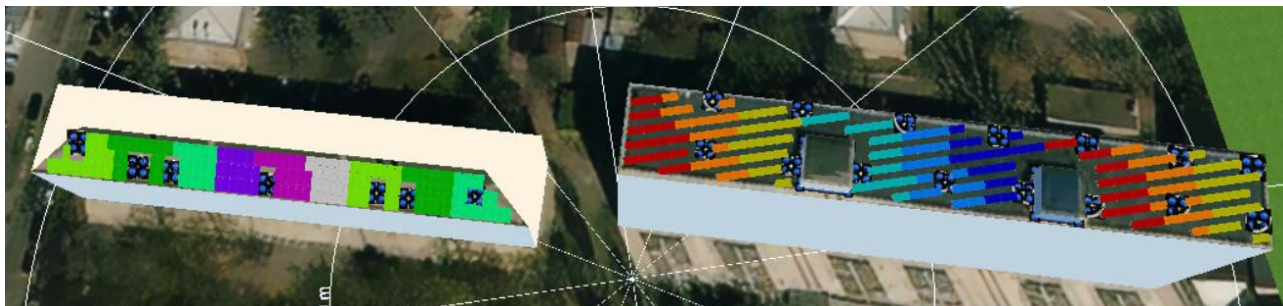


Рис. 7.27. Успішна конфігурації системи

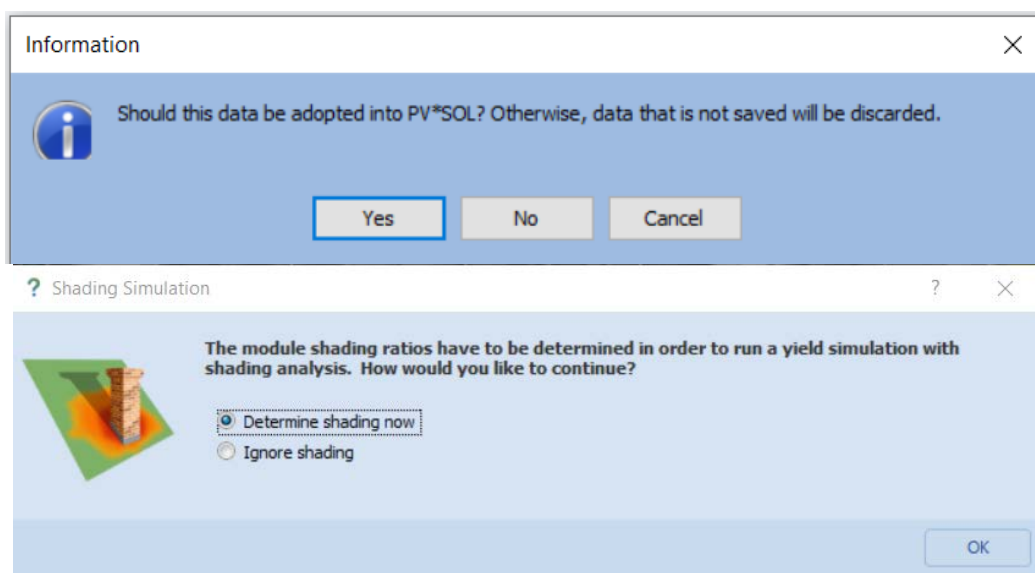


Рис. 7.28. Прийняття даних щодо візуалізації та розрахунок затінення

В 3D дизайні також задається погіршення роботи модулів («Degradation of Module») (рис. 7.29), так як з часом вони втрачають свою продуктивність. Для сучасних панелей очікувана продуктивність після 25 років експлуатації може складати 80-85%.

### 3D Design

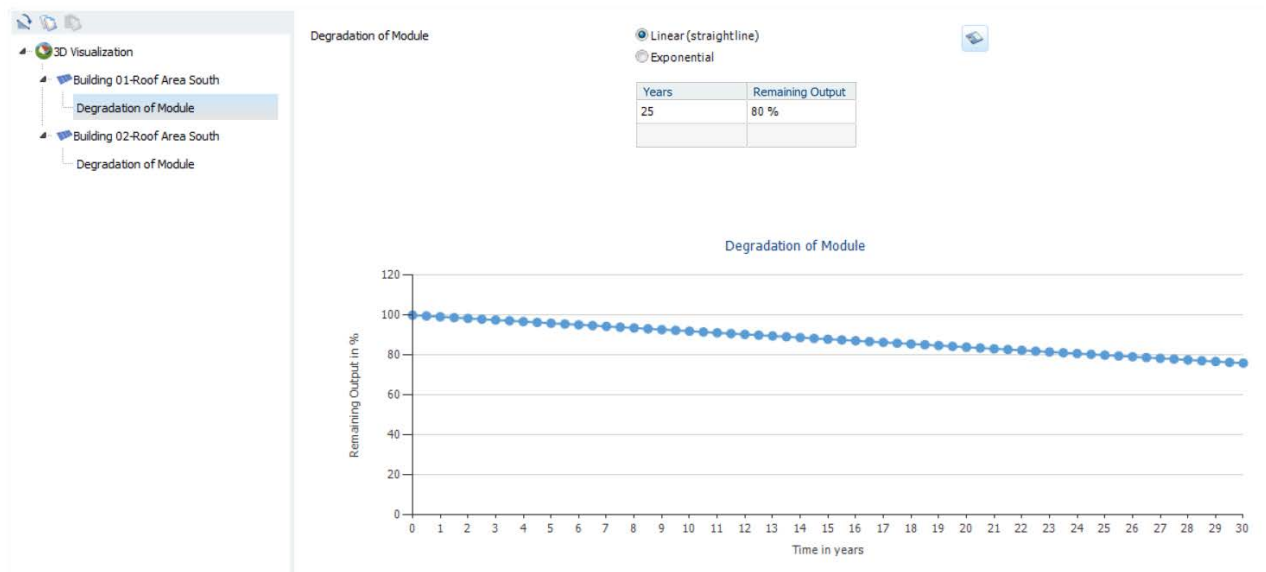


Рис. 7.29. Погіршення роботи модулів

## 8. ВТРАТИ В КАБЕЛЯХ

Для моделювання втрат електроенергії в кабелях в програмі існує дві опції:

- In detail / Деталізований розрахунок – передбачає введення даних щодо довжин та перерізів кабелів;
- Total loss / Загальні втрати – передбачає введення загальних втрат електричної енергії у відсотках (рис. 8.1).

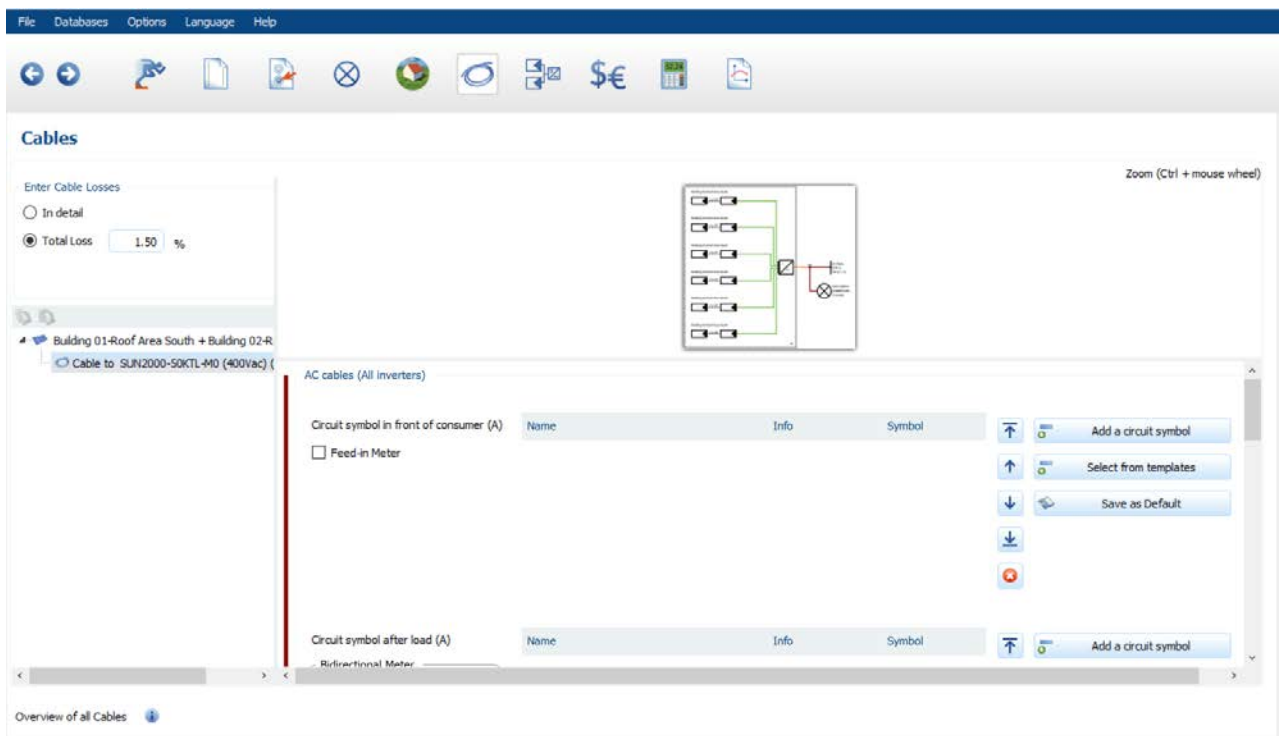


Рис. 8.1. Втрати електроенергії в кабелях

В даному випадку (рис. 8.1) задавалися загальні втрати на рівні 1,5%.

## 9. ПЛАНИ ТА СПИСОК ОБЛАДНАННЯ

В даному вікні можна згенерувати наступні плани та список обладнання:

- Circuit Diagram / Принципова схема
- Overview Plan / Оглядовий план
- Dimensioning Plan / План з позначенням розмірів
- String Plan / План розподілу на стрінги
- Parts lists / Список обладнання.

Приклади деяких з них представлені на рисунках нижче (рис. 9.1, 9.2).

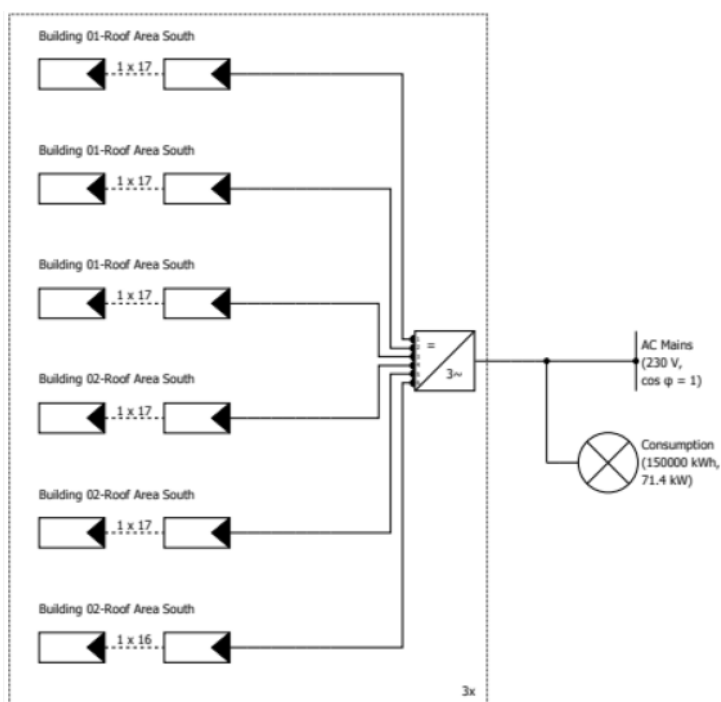


Рис. 9.1. Принципова схема

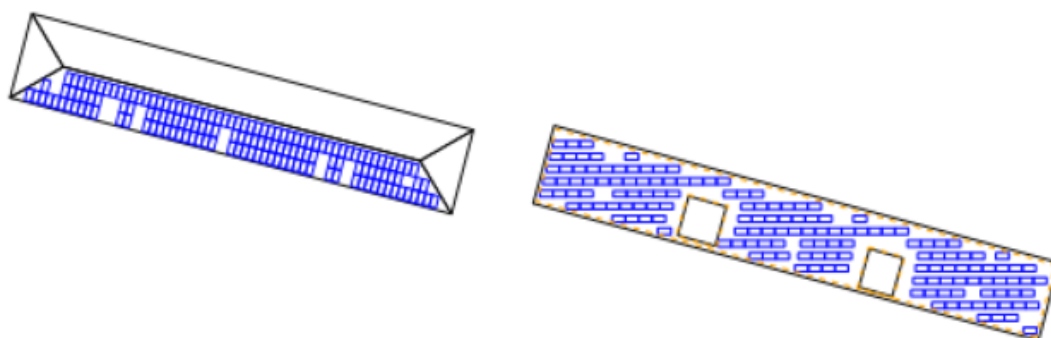


Рис. 9.2. Оглядовий план

## 10. РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ

Результати моделювання можна переглянути на двох сторінках програми: Results/Результати та Presentation/Презентація. Програма дозволяє також проводити фінансовий аналіз, який розглядається в наступному розділі.

Основними результатами моделювання є такі дані:

- PV Generator Output, kWp / Потужність сонячного масиву, кВт.
- Specific annual yield, kWh/kWp / Питома генерація енергії, кВт·год/кВт.
- Performance ratio, % / Коефіцієнт продуктивності, %.
- Yield reduction due to shading, %/year / Зниження генерації, спричинене затіненням, %/рік.
- PV generator energy, kWh / Генерація енергії від PV, кВт·год.
- Own consumption (Direct own use), kWh (%) / Енергія від сонячної електростанції, що споживається об'єктом, кВт·год (%).
- Grid feed-in, kWh / Генерація енергії в мережу, кВт·год.
- CO<sub>2</sub> emissions avoided, kg/year / Зниження викидів CO<sub>2</sub>, кг/рік.
- Appliances, kWh / Енергоспоживання приладів в будівлі, кВт·год.
- Standby consumption (inverter), kWh / Споживання енергії інвертором, кВт·год.
- Total consumption, including covered by PV power and grid, kWh / Загальне електроспоживання, в тому числі частина, яка «покривається» сонячною електростанцією та від мережі, кВт·год.
- Solar fraction / Level of self-sufficiency, % / Частка від сонячної електростанції / Рівень самозабезпечення, %.

Нижче наведені приклади звітів, таблиць та графіків, які генерує програма (рис. 10.1-10.5).

PV System	
PV Generator Output	166.65 kWp
Spec. Annual Yield	1,119.00 kWh/kWp
Performance Ratio (PR)	87.46 %
Yield Reduction due to Shading	2.7 %/Year
PV Generator Energy (AC grid)	186,547 kWh/Year
Own Consumption	84,472 kWh/Year
Down-regulation at Feed-in Point	0 kWh/Year
Grid Feed-in	102,075 kWh/Year
Own Power Consumption	45.3 %
CO <sub>2</sub> Emissions avoided	87,646 kg / year

PV Generator Energy (AC grid)

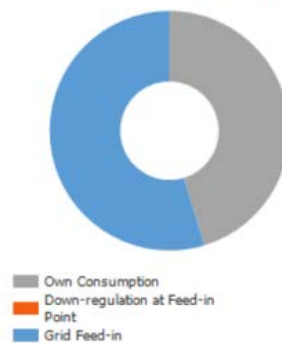
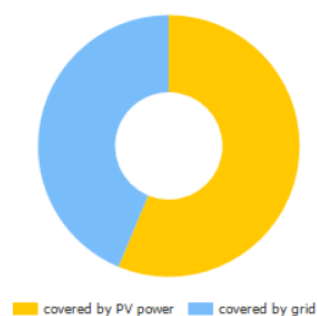


Рис. 10.1. Результати моделювання: генерація енергії

Appliances	
Appliances	150,000 kWh/Year
Standby Consumption (Inverter)	66 kWh/Year
Total Consumption	150,066 kWh/Year
covered by PV power	84,472 kWh/Year
covered by grid	65,594 kWh/Year
Solar Fraction	56.3 %

Total Consumption



Level of Self-sufficiency	
Total Consumption	150,066 kWh/Year
covered by grid	65,594 kWh/Year
Level of Self-sufficiency	56.3 %

Рис. 10.2. Результати моделювання: електроспоживання

Дані щодо генерації енергії сонячною електростанцією та її використання, а також електроспоживання та частки від сонячної електростанції та мережі можна розглянути в помісячному розрізі (рис. 10.3, 10.4). У графічному вигляді також представлено схему потоків енергії (рис. 10.5)

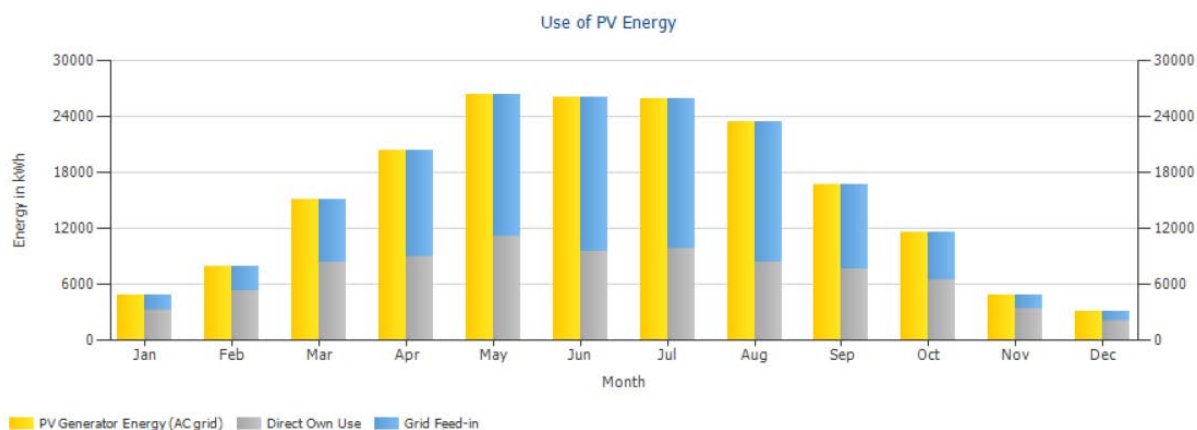


Рис. 10.3. Результати моделювання: помісячна генерація та використання енергії

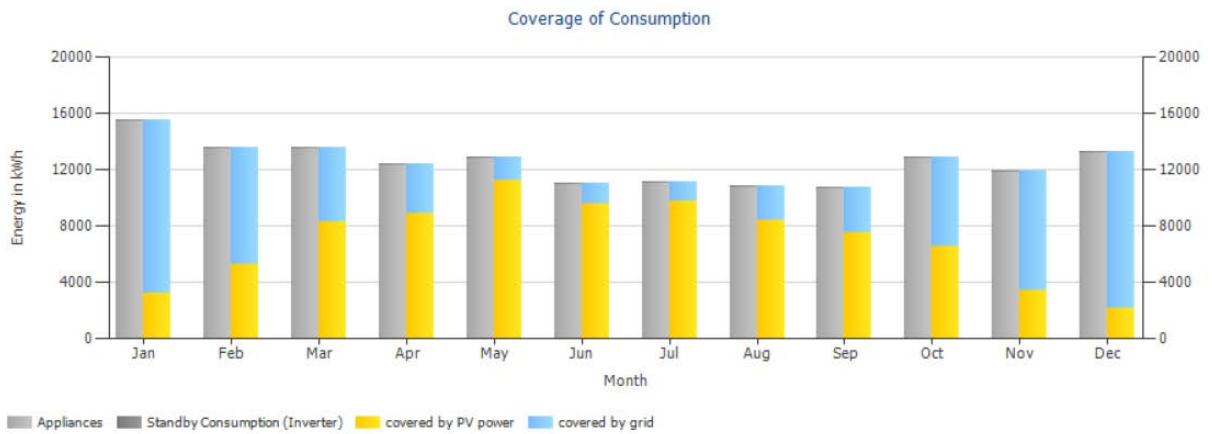


Рис. 10.4. Результати моделювання: помісячне електроспоживання

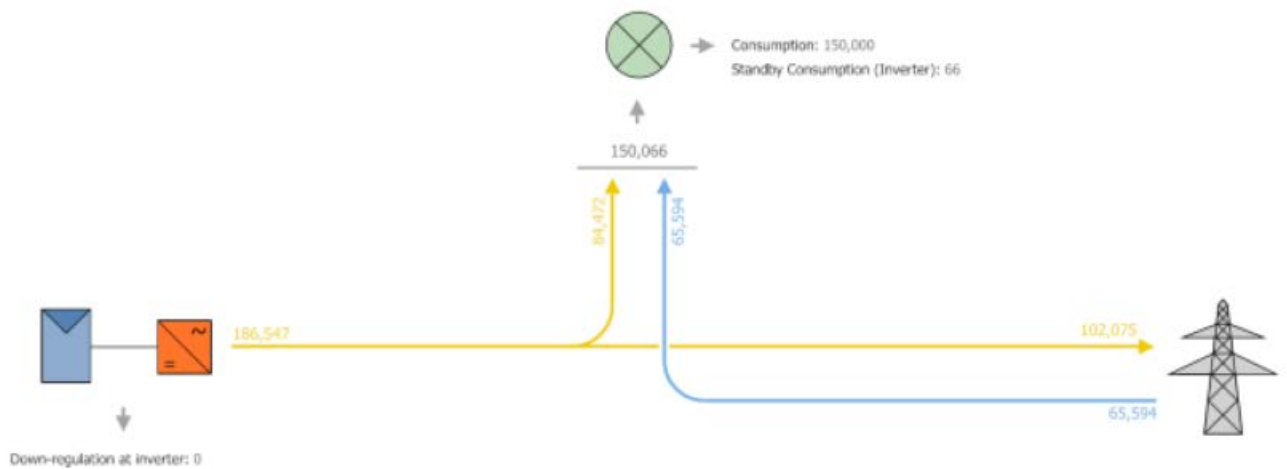


Рис. 10.5. Результати моделювання: схема потоків енергії

Програма також генерує детальні розрахунки стосовно енергетичного балансу системи (PV System Energy Balance). Такі розрахунки показують в натуральних одиницях та у відсотках основні втрати енергії в системі.

В залежності від завдань системи та за неможливості генерації енергії в мережу можна застосовувати зниження генерації енергії (down-regulation at feed-in) та оптимізацію потужності сонячного масиву для мінімізації втрат енергії при регулюванні.

При аналізі результатів особливу увагу необхідно звертати на питому генерацію та показник продуктивності. Зниження цих величин може вказувати на неоптимальну орієнтацію/кут нахилу панелей або значне затінення від виступаючих елементів або сусідніх будівель та споруд.

В розділі Презентації можна генерувати звіти та презентації з результатами моделювання та вивантажувати погодинні результати в форматі .csv (comma-separated values), які можна аналізувати за допомогою Excel.

## 11. ФІНАНСОВИЙ АНАЛІЗ

Для проведення фінансового аналізу необхідно натиснути на сторінку програми «Financial analysis / Фінансовий аналіз» (рис. 11.1). Цей модуль складається з наступних блоків:

- Economic Parameters / Економічні параметри (рис. 11.1, поз. 1), включаючи параметри фінансової моделі та концепт щодо енергетичного балансу або оплати генерації в мережу (Energy balance/Feed-in Concept);
- Feed-in tariffs / Тарифи на генерацію енергії в мережу (рис. 11.1, поз. 2);
- From-grid tariff / Тариф на споживання енергії з мережі (рис. 11.1, поз. 3).

The screenshot displays the 'Financial Analysis' interface with three distinct sections highlighted by red boxes and numbered 1, 2, and 3.

**Section 1: Economic Parameters**  
This section includes 'Financial Analysis Parameters' with an 'Edit' button, 'Assessment Period: 20 Years, Interest on Capital: 2,5 %, Investment Costs: 25200 €', 'Energy Balance/Feed-in Concept' set to 'Surplus Feed-in', and 'Price of Electricity sold to Third Party' set to '0,0000 €/kWh'.

**Section 2: Feed-in Tariff**  
This section includes 'Applied Feed-in Tariffs' with a table of tariffs, 'Validity of the Feed-in Tariff = Start of Operation' checkbox, and 'Inflation Rate for Feed-in / Export Tariff' set to '0,0 %/Year'.

Info	Tariff Name	Valid from	Valid to	
	Ukraine Feed-in Tariff for Households 2030 - Building System	01.01.2020	31.12.2029	
	Ukraine Feed-in Tariff for Households after 2030 - Building System	01.01.2030	31.12.2049	

**Section 3: From-grid Tariff**  
This section includes 'From-grid Tariff' with a 'Select' button and 'Inflation Rate for Energy Price' set to '2,0 %/Year'.

Рис. 11.1. Модуль фінансового аналізу програми

На цій сторінці перш за все необхідно відредагувати параметри фінансової моделі (Financial Analysis Parameters → Edit).

У вкладці «General Parameters / Загальні параметри» задаються наступні параметри (рис. 11.2):

- Assessment period / Період розрахунку;
- Annual average return on capital employed / Середня річна прибутковість на використаний капітал;
- Values added sales taxes → All entries are net / Податки з продажу → Всі величини вносяться за вирахуванням податків.

► **General Parameters**

Assessment Period  Complete Years

Annual Average return on capital employed  %

Value Added Sales Tax

All entries are gross

All entries are net

Рис. 11.2. Загальні параметри фінансової моделі

Загальний вигляд вкладки «Income and expenditure / Доходи та витрати» можна побачити на рис. 11.3.

► **Income and expenditure**

Tax deductible Outgoing cost of system setup parts and labour	<input type="text" value="700,00"/>	€/kWp	<input type="checkbox"/> Detailed Entry
Non-tax deductible Outgoing cost of system setup parts and labour	<input type="text" value="0,00"/>	€	<input type="checkbox"/> Detailed Entry
Incoming subsidies	<input type="text" value="0,00"/>	€	<input type="checkbox"/> Detailed Entry
Outgoing annual Operating Costs	<input type="text" value="2,00"/>	% of Investment/a	Inflation <input type="text" value="0,00"/> [%] <input type="checkbox"/> Detailed Entry
Annual Consumption Costs	<input type="text" value="0,00"/>	€/a	Inflation <input type="text" value="0,00"/> [%] <input type="checkbox"/> Detailed Entry
Outgoing other annual costs	<input type="text" value="0,00"/>	€/a	Inflation <input type="text" value="0,00"/> [%] <input type="checkbox"/> Detailed Entry
Incoming other annual income/savings	<input type="text" value="0,00"/>	€/a	Inflation <input type="text" value="0,00"/> [%] <input type="checkbox"/> Detailed Entry

Рис. 11.3. Доходи та витрати для фінансової моделі

У даній вкладці задаються наступні параметри:

- Tax deductible Outgoing cost if system setup parts and labour, €/kWp or €/ Витрати на обладнання для системи та монтажні роботи, які віднімаються із суми оподаткованого доходу, €/кВт або €
- Non-tax deductible Outgoing cost if system setup parts and labour, €/kWp or €/ Витрати на обладнання для системи та монтажні роботи, які не віднімаються із суми оподаткованого доходу, €/кВт або €
- Incoming subsidies, €/ Вхідні субсидії/дотації, €
- Outgoing annual operating costs, €/a or % of Investments/a / Вихідні річні операційні витрати, €рік або % від інвестицій/рік;
- Annual consumption costs, €/a / Річні витрати на споживання, €рік;
- Outgoing other annual costs, €/a / Інші вихідні річні витрати, €рік;

- Incoming other annual income/savings, €a / Вхідні інші річні доходи/заощадження, €рік.

Для фінансування (Financing) проєкту можна залучати кредитні кошти. Можна обирати кількість кредитів (Number of Loans): No Loan / Кредити відсутні (рис. 11.4), 1/2/3 Loans / 1/2/3 Кредитів. На рис. 11.5 наведений приклад задання параметрів для отримання кредиту.



Рис. 11.4. Параметри фінансування без кредитних коштів

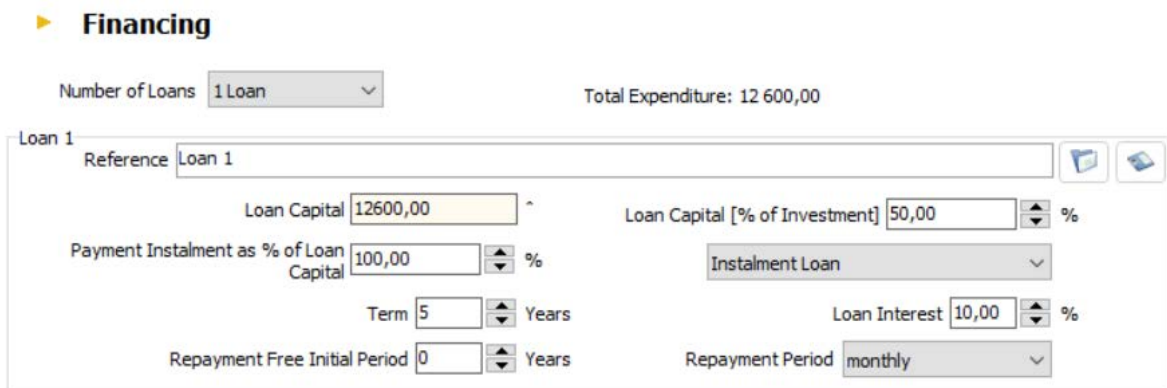


Рис. 11.5. Параметри фінансування з залученням кредитних коштів

В даній вкладці (рис. 11.5) можна задавати наступні параметри:

- Loan Capital (% of Investments) / Кредитний капітал (% від інвестицій);
- Payment Instalment as % of Loan Capital / Розстрочка платежу як % кредитного капіталу;
- Term / Термін кредитування;
- Repayment Free Initial Period / Початковий період без погашення;
- Loan Interest / Відсоток по кредиту;
- Repayment period / Період погашення.

Також в програмі можна врахувати податки на прибуток підприємств (рис. 11.6). При виконанні комп'ютерного практикуму будуть аналізуватися приватні домогосподарства або об'єкти для компенсації власного споживання. Для домогосподарств інформацію по стимулюючому тарифу можна вносити

одразу за вирахуванням податків. Також для даного типу споживача оплата здійснюється за величину генерації в мережу за вирахуванням власного споживання з мережі. Для об'єктів з компенсацією власного споживання впровадження системи зменшує витрати на електричну енергію для підприємств / будівель, тому прибутку від продажу згенерованої енергії в мережу не буде. Існують ініціативи на введення підходу «чистий облік або чистий розрахунок» / «net metering» або «net billing». На даний момент ці ініціативи ще не впроваджені в Україні.

► **Tax**

Allow for Tax

Marginal Tax Rate for Income/Corporation Tax [%]  Panel4

Allow for Change in Marginal Tax Rate

Change Tax Rate after  Years  New Tax Rate [%]

Depreciation

Depreciation Period [Years]

Type of Depreciation

Linear (straight line)

Degressive (reducing balance)

Рис. 11.6. Параметри оподаткування

Для завдання параметрів тарифу для енергії, що генерується в мережу, необхідно натиснути кнопку «Add» (рис. 11.1, поз. 2). В Україні «зелений» тариф для домогосподарств на даний момент діє до 31.12.2029 року. Тому є необхідність створити два тарифи, які діють в різні періоди часу. Розуміння, на якому рівні може бути тариф для енергії, що генерується в мережу, починаючи з 2030 року поки що немає. Тому в даному випадку використовувалися певні припущення.

Для тарифу на енергію, що генерується в мережу, необхідно задати наступні параметри:

- Feed-in / Export Tariff / Тариф на генерацію енергії в мережу /експорт;
- Valid from / Чинний від відповідної дати;
- Payout duration / Період виплат.

Country: Ukraine

City:

Name: Ukraine Feed-in Tariff for Households

Available

1

Created at: 01.04.2022 8:40:58

User ID: USER

Type of Installation: Building System

Valid from: 01.01.2020

Payout Duration: 10 Years

Tariff limits:  Tariff Zones  Tariff Bands

Feed-in / Export Tariff

From (Power in kWp)	(€/kWh)	Remunerated electricity share (%)
0	0,131	100

Own Consumption

Remuneration  Fee

Generation Tariff

From (Power in kWp)	(€/kWh)	Remunerated electricity share (%)

Рис. 11.7. Параметри тарифу на енергію, яка віддається в мережу

Для тарифу для енергії, що споживається з мережі, необхідно задати наступні параметри (рис. 11.1, поз. 3, рис. 11.8):

- Energy Price / Вартість енергії;
- Minimum quantity / Мінімальна кількість;
- Base price / Базова вартість.

Country: Ukraine

City:

Energy: Example

Name: Residential electricity price

Available

Version: 1

Created at: 01.04.2022 8:42:40

User ID: USER

Consumption Type:  Residential  Corporation

Minimum quantity: 0 €/Year

Base Price: 0,0000 €/Month

Number of chronologically different tariff periods: 1

Tariff period 1 (1)

From (energy in kWh/year)	Energy Price in €/kWh
0,00	0,05600

At a consumption-dependent energy price  Zone tariff  Sliding-scale tariff

Рис. 11.8. Параметри тарифу на енергію, яка споживається з мережі

В якості результатів моделювання програма надає економічні параметри та грошові потоки від впровадження сонячної електростанції.

На рис. 11.9 можна побачити фрагмент таблиці з грошовими потоками проекту, включаючи необхідні інвестиції (Investments), операційні витрати (Operating costs), плату по «зеленому» тарифу (Feed-in / Export Tariff), економію

на оплату спожитої електричної енергії (Electricity Savings), річний та накопичений грошовий потоки (Annual Cash Flow / Accrued Cash Flow).

	Year 1	Year 2	Year 3	Year 4	Year 5
Investments	-25 200,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Operating costs	-491,71 €	-479,71 €	-468,01 €	-456,60 €	-445,46 €
Feed-in / Export Tariff	5 347,46 €	5 175,15 €	5 008,06 €	4 846,05 €	4 688,96 €
Electricity Savings	99,40 €	98,12 €	96,85 €	95,59 €	94,34 €
<b>Annual Cash Flow</b>	<b>-20 244,85 €</b>	<b>4 793,55 €</b>	<b>4 636,90 €</b>	<b>4 485,04 €</b>	<b>4 337,84 €</b>
Accrued Cash Flow (Cash Balance)	-20 244,85 €	-15 451,29 €	-10 814,40 €	-6 329,36 €	-1 991,52 €

	Year 6	Year 7	Year 8	Year 9	Year 10
Investments	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Operating costs	-434,60 €	-424,00 €	-413,66 €	-403,57 €	-393,72 €
Feed-in / Export Tariff	4 536,65 €	4 388,98 €	3 795,80 €	1 567,56 €	1 516,21 €
Electricity Savings	93,10 €	91,87 €	90,65 €	89,44 €	88,24 €
<b>Annual Cash Flow</b>	<b>4 195,15 €</b>	<b>4 056,85 €</b>	<b>3 472,80 €</b>	<b>1 253,44 €</b>	<b>1 210,73 €</b>
Accrued Cash Flow (Cash Balance)	2 203,63 €	6 260,48 €	9 733,29 €	10 986,73 €	12 197,46 €

	Year 11	Year 12	Year 13	Year 14	Year 15
Investments	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Operating costs	-384,12 €	-374,75 €	-365,61 €	-356,69 €	-347,99 €
Feed-in / Export Tariff	1 466,43 €	1 418,17 €	1 371,40 €	1 326,06 €	1 282,12 €
Electricity Savings	87,05 €	85,87 €	84,70 €	83,54 €	82,38 €
<b>Annual Cash Flow</b>	<b>1 169,36 €</b>	<b>1 129,29 €</b>	<b>1 090,49 €</b>	<b>1 052,91 €</b>	<b>1 016,51 €</b>
Accrued Cash Flow (Cash Balance)	13 366,82 €	14 496,11 €	15 586,60 €	16 639,50 €	17 656,02 €

Рис. 11.9. Фрагмент таблиці з грошовими потоками проекту

З використанням цих даних можна розрахувати термін окупності проекту від впровадження системи. Також накопичений грошовий потік можна аналізувати в графічному вигляді (рис. 11.10).

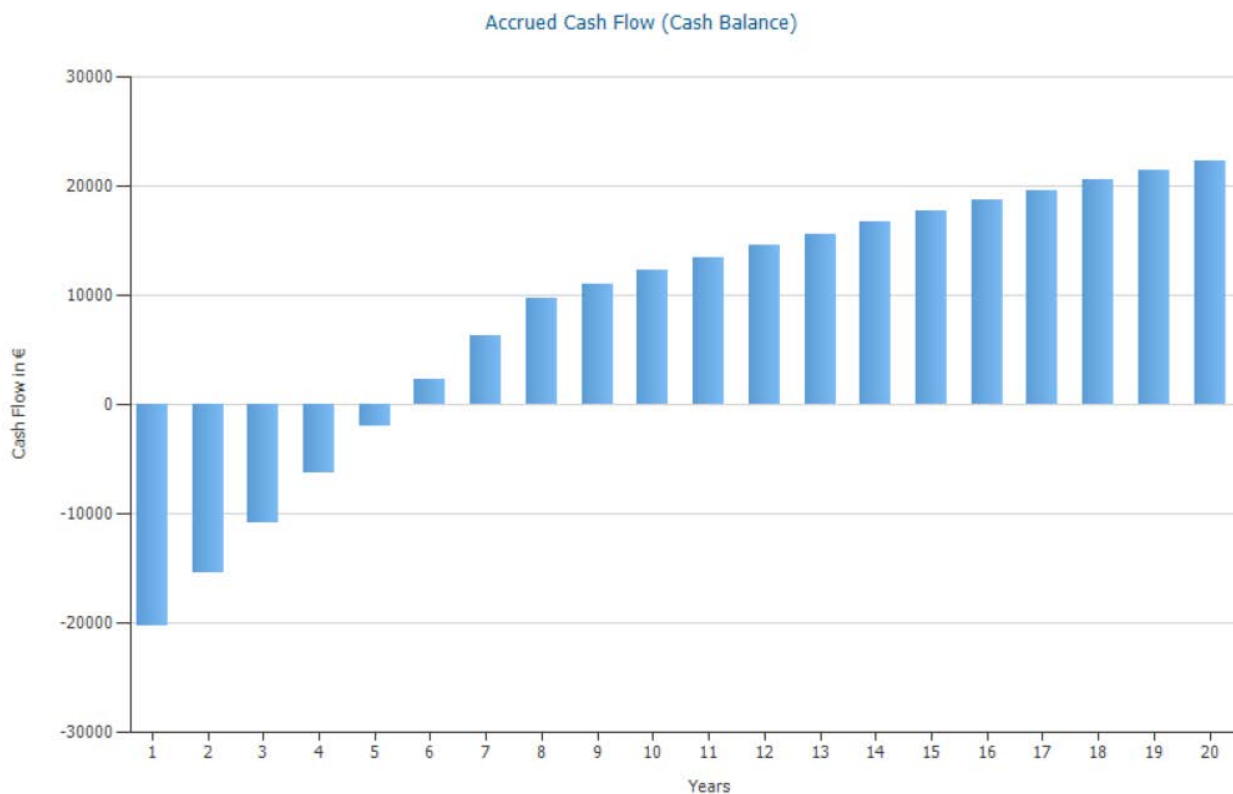


Рис. 11.10. Графічне зображення накопиченого грошового потоку

Сумарні показники вихідних даних та результатів фінансового аналізу можна побачити в табличному вигляді на рис. 11.11.

<b>System Data</b>	
Grid Feed-in in the first year (incl. module degradation)	41 841 kWh/Year
PV Generator Output	36 kWp
Start of Operation of the System	01.04.2022
Assessment Period	20 Years
Interest on Capital	2,5 %
<b>Economic Parameters</b>	
Internal Rate of Return (IRR)	14,53 %
Accrued Cash Flow (Cash Balance)	23 052,94 €
Amortization Period	5,5 Years
Electricity Production Costs	0,047 €/kWh
<b>Payment Overview</b>	
Specific Investment Costs	700,00 €/kWp
Investment Costs	25 200,00 €
One-off Payments	0,00 €
Incoming Subsidies	0,00 €
Annual Costs	504,00 €/Year
Other Revenue or Savings	0,00 €/Year
<b>Remuneration and Savings</b>	
Total Payment from Utility in First Year	5 481,14 €/Year
First year savings	101,89 €/Year
Ukraine Feed-in Tarrif for Households 2030 - Building System	
Validity	01.01.2020 - 31.12.2029
Specific feed-in / export Remuneration	0,131 €/kWh
Feed-in / Export Tariff	5481,144 €/Year
Ukraine Feed-in Tarrif for Households after 2030 - Building System	
Validity	01.01.2030 - 31.12.2049
Specific feed-in / export Remuneration	0,05 €/kWh
Feed-in / Export Tariff	1960,5637 €/Year
Residential electricity price (Example)	
Energy Price	0,056 €/kWh
Inflation Rate for Energy Price	2 %/Year

Рис. 11.11. Результати фінансового аналізу впровадження системи

## **12. 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;
- розміри будівлі та тип покрівлі;
- дані щодо річного/помісячного електроспоживання;
- обмеження генерації енергії в мережу;
- вартість обладнання та встановлення системи;
- інформація щодо тарифу на енергію, яка віддається в мережу;
- інформація щодо тарифу на енергію, яка споживається з мережі.

Після виконання практикуму необхідно зробити висновки щодо технічних та фінансових показників проєкту та доцільності впровадження сонячної електростанції.

### 13. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які типи систем можна моделювати в програмі PV\*SOL premium?
2. Які вихідні дані необхідні для моделювання сонячної електростанції для забезпечення енергопостачання будівлі?
3. Які кліматичні дані використовує PV\*SOL premium?
4. Які є способи внесення даних щодо електроспоживання будівлі?
5. Які типи покрівель можна моделювати в програмі PV\*SOL premium?
6. Які типи кріплення сонячних панелей можна моделювати в програмі PV\*SOL premium?
7. Що таке деградація панелей та яким чином це враховується при моделюванні?
8. Яким чином можна задавати геометричні розміри будівлі з плоскою покрівлею?
9. Яким чином можна задавати геометричні розміри будівлі зі скатною покрівлею?
10. Яким чином програма PV\*SOL premium враховує затінення сонячних панелей?
11. Яким чином можна підібрати мінімальну відстань між рядами панелей?
12. Як правильно сконфігурувати систему та виконати перевірку для MPP-трекерів та інвертора?
13. Які дві опції врахування втрат в кабелях пропонує програма PV\*SOL premium?
14. Які енергетичні та екологічні показники дозволяє аналізувати PV\*SOL premium?
15. Які основні результати моделювання необхідно аналізувати для сонячної електростанції?
16. Яке орієнтовне значення може мати величина питомої генерації енергії?
17. Яке орієнтовне значення може мати величина коефіцієнту продуктивності?
18. Яка мета виконання роботи та основні її етапи?
19. 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 СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

В якості прикладу розрахунку системи обрана сонячна електростанція для домашнього домогосподарства з потужністю по сонячному масиву 36 кВт та потужністю інвертора 30 кВт (максимальна дозволена потужність для приватних будинків). Розташування панелей приймалося в один ряд, тому 3D модель не будувалася та затінення панелей не враховувалося. Для моделювання обирався наступний тип системи: Grid-connected PV System with Electrical Appliances. Моделювання проводилося з використанням кліматичних даних для м. Києва (Kiev, UKR (1996-2015), Meteonorm 8.1) та 1-хвилинного інтервалу розрахунку.

В якості даних щодо власного енергоспоживання використовувався наявний профіль у програмі: 2 person household with one child. Річне споживання електричної енергії складає 3929 кВт·год. Помісячні дані щодо електроспоживання можна побачити на рис. А.1.

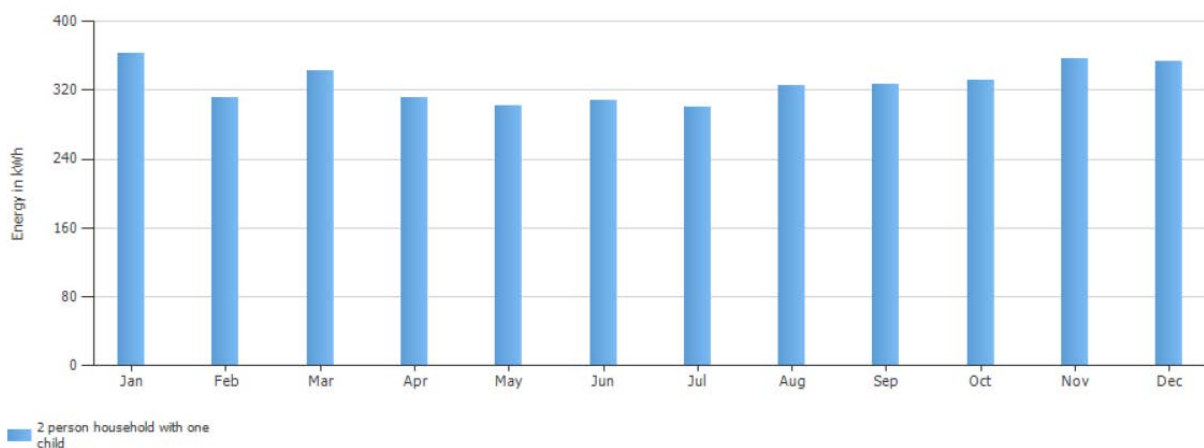


Рис. А.1. Профіль споживання електричної енергії

Для задання потужності 36 кВт було обрано 72 панелі потужністю 500 Вт кожна. Кут нахилу панелей – 30°, орієнтація – південь (рис. А.2).

Manufacturer: JA Solar Holdings Co., Ltd. PV Module: JAM6S30-500/MR

Number of PV Modules: 72 (36,00 kWp)

Installation Type: Mounted - Open Space

Tracking: None

Inclination: 30°

Orientation: 180°

Compass diagram showing Azimuth 0° pointing South.

Рис. А.2. Параметри PV модулей

Конфігурацію панелей з використанням інвертора потужністю 30 кВт представлено на рис. А.3.

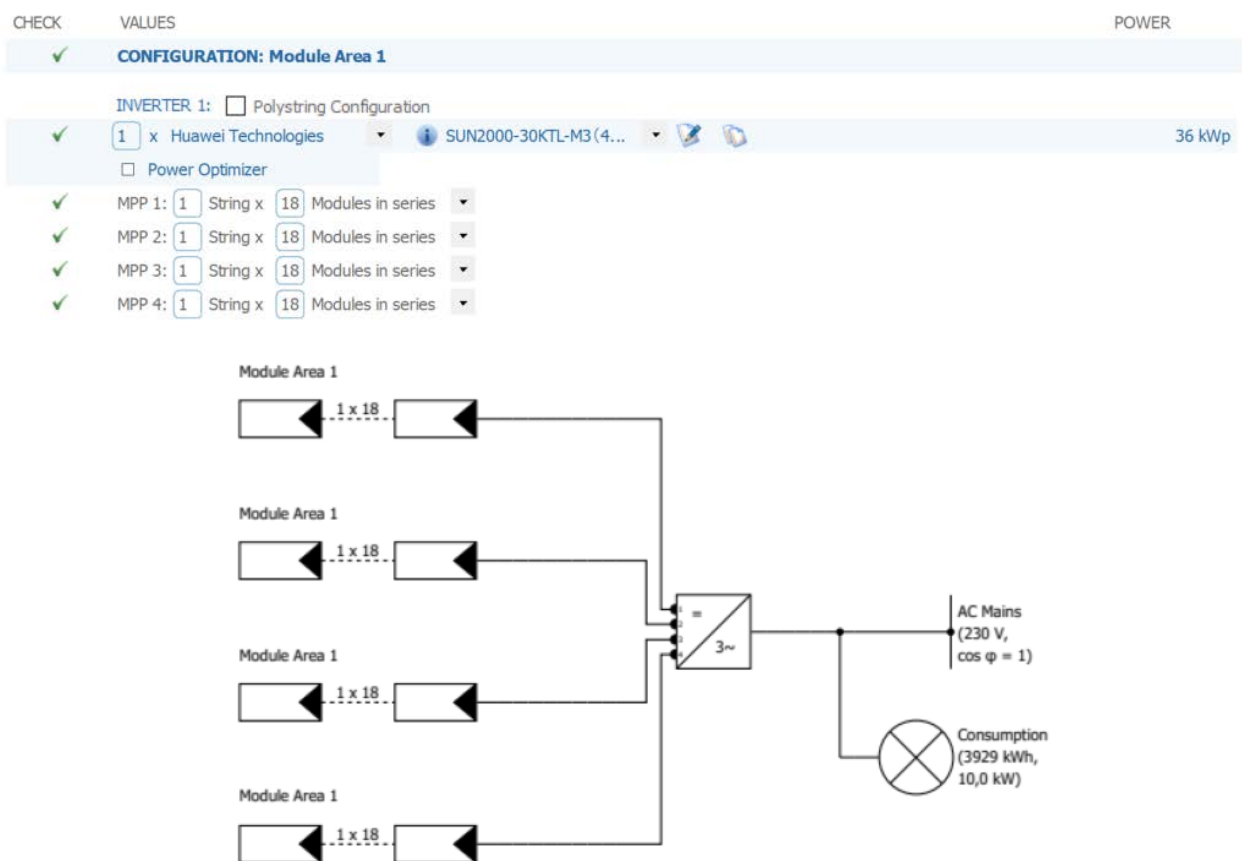


Рис. А.3. Параметри конфігурації системи та принципова схема

Параметри фінансової моделі задавалися відповідно до розділу 11. Узагальнені результати моделювання наведені на рис. А.4.

Financial Analysis		Tech. Quality of the PV System	
Internal Rate of Return (IRR)	14,53 %	PV Generator Energy (AC grid)	43 842 kWh/Year
Revenue or Savings	5583 €/Year	Spec. Annual Yield	1 217,13 kWh/kWp
Accrued Cash Flow (Cash)	23 052,94 €	Performance Ratio (PR)	89,8 %
System integration			
Energy from Grid	2 102 kWh/Year	Grid Feed-in	41 990 kWh/Year

Рис. А.4. Узагальнені результати моделювання

Встановлена система може генерувати 43 842 кВт·год на рік, маючи при цьому питому генерацію на рівні 1 217,13 кВт·год/кВт та коефіцієнт продуктивності 89,8%. З фінансової точки зору впровадження системи може забезпечити сумарний грошовий потік 23 052,94 € протягом розрахункового періоду та прибуток на рівні 5 583 €/рік.

Більш детальні результати моделювання включають технічні показники роботи сонячної електростанції (рис. А.5) та покриття споживання електричної енергії (рис. А.6).

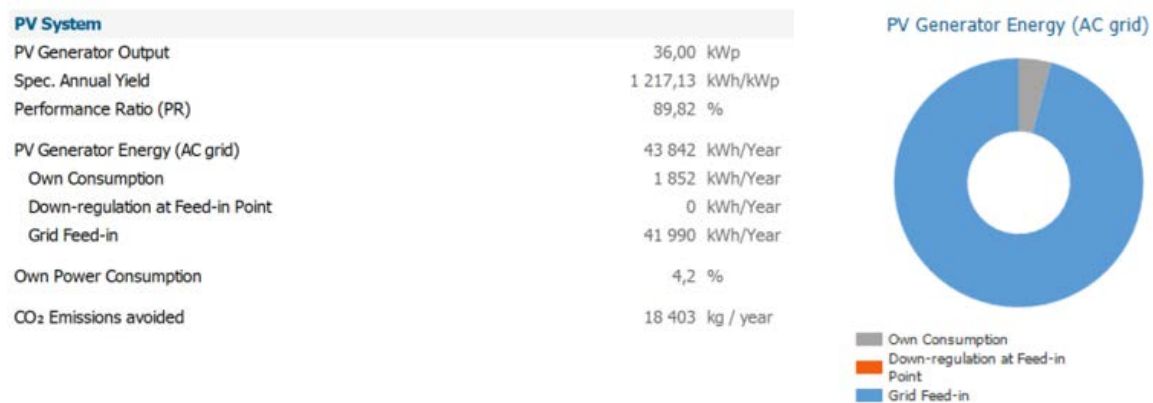


Рис. А.5. Технічні показники роботи сонячної електростанції у річному розрізі

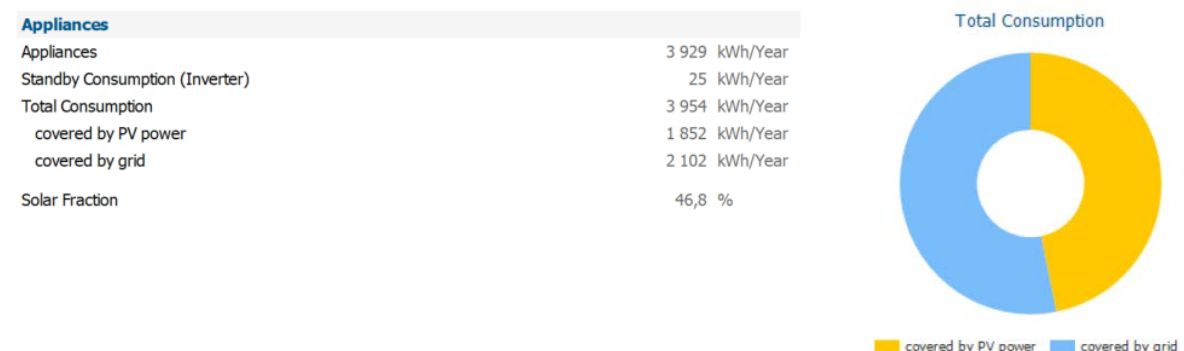


Рис. А.6. Покриття споживання електричної енергії у річному розрізі

При встановленій потужності 36 кВт сонячного масиву лише 4,2% або 1 852 кВт·год від згенерованої енергії буде споживатися на власні потреби, а решта (41 990 кВт·год) буде віддаватися в мережу по «зеленому» тарифу (рис. А.5). При цьому впровадження сонячної електростанції призведе до скорочення викидів CO<sub>2</sub> на рівні 18,4 т/рік. Аналіз покриття споживання електричної енергії показує, що 46,8% від загального електроспоживання (1 852 кВт·год) може покриватися за рахунок сонячної електростанції, а решту (2 102 кВт·год) необхідно «добирати» з мережі (рис. А.6).

Дуже зручно також аналізувати енергетичні потоки в системі за допомогою діаграми, наведеної на рис. А.7. На ній зображені наступні величини: згенерована енергія, використана на власне споживання, віддана в мережу, загальне споживання електричної енергії та з мережі.

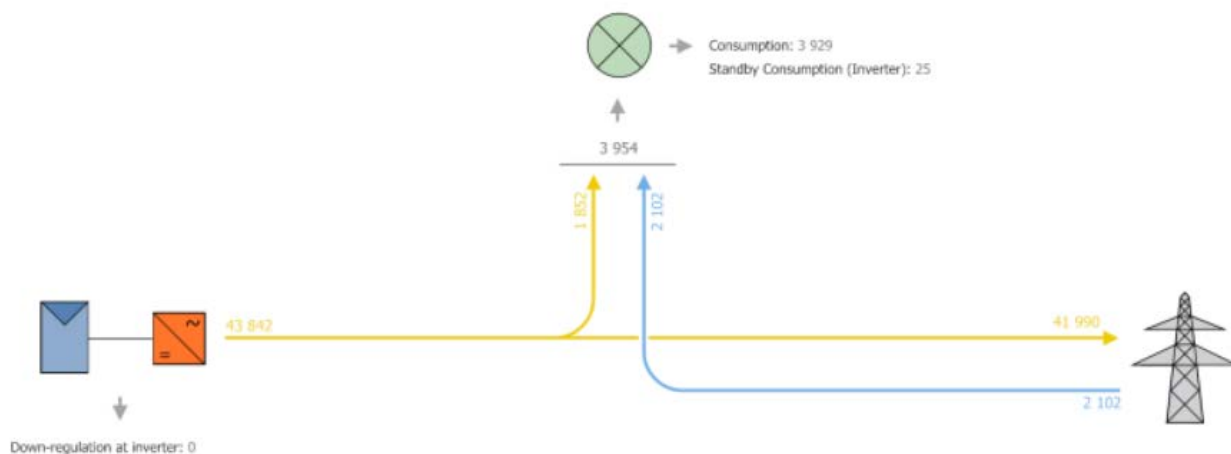


Рис. А.7. Діаграма потоків енергії

Ці показники також можна аналізувати у помісячному розрізі:

- Use of PV energy / Використання згенерованої енергії (рис. А.8);
- Coverage of consumption / Покриття споживання (рис. А.9).

На рис. А.8 представлена енергія, згенерована протягом кожного місяця (PV generator energy, AC grid), безпосереднє використання енергії на власне споживання (Direct own use) та генерація в мережу (Grid feed-in).

На рис. А.9 представлено помісячне споживання електроенергії електричними приладами (Appliances) та інвертором (Standby consumption, Inverter), а також частина, яка покривається сонячною електростанцією (covered by PV power) та мережею (covered by grid).

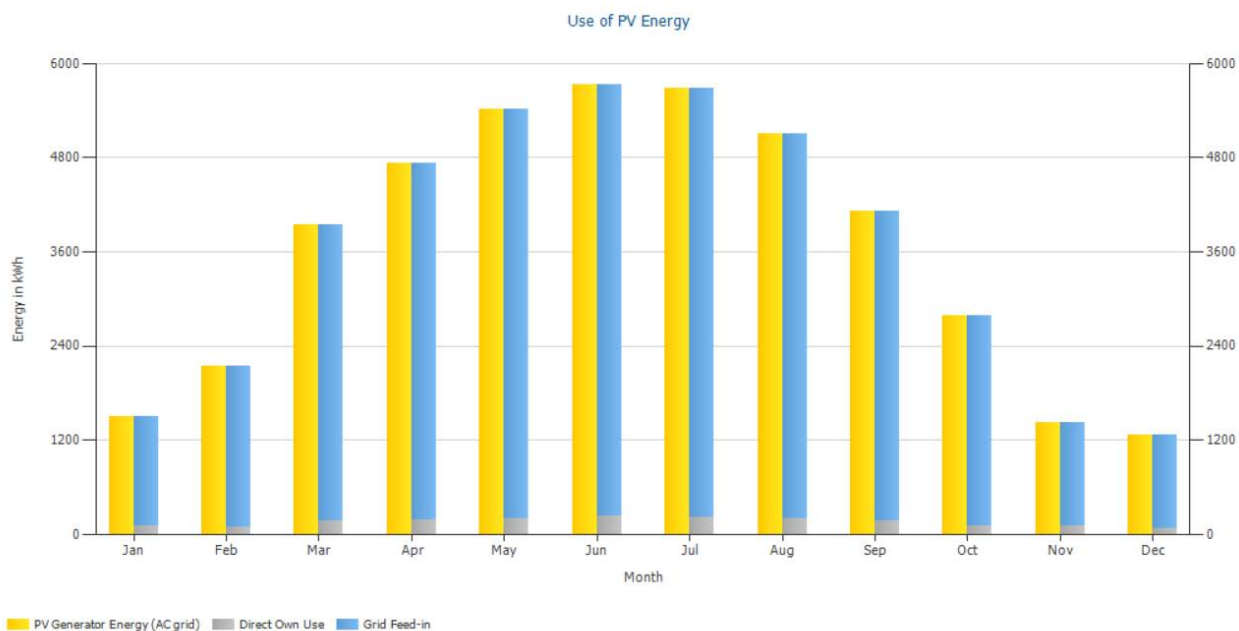


Рис. А.8. Використання згенерованої енергії у помісячному розрізі

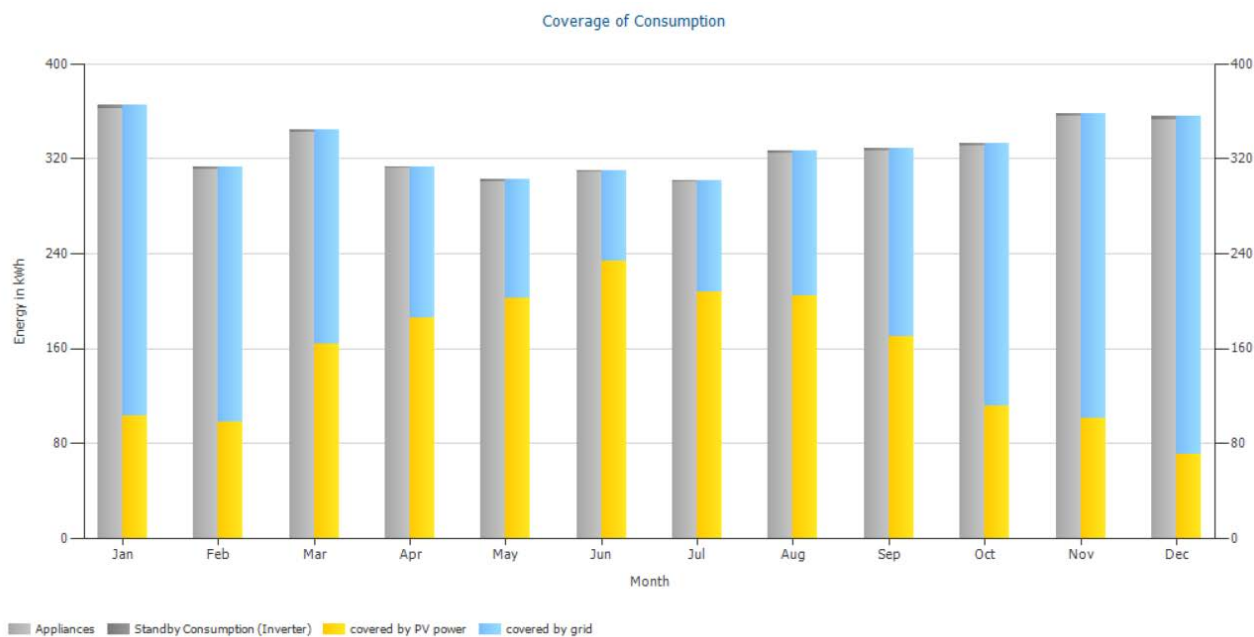


Рис. А.9. Покриття споживання електричної енергії у помісячному розрізі

При проведенні економічного аналізу програма розраховує генерацію енергії протягом розрахункового періоду з врахуванням деградації модулів (рис. А.10).

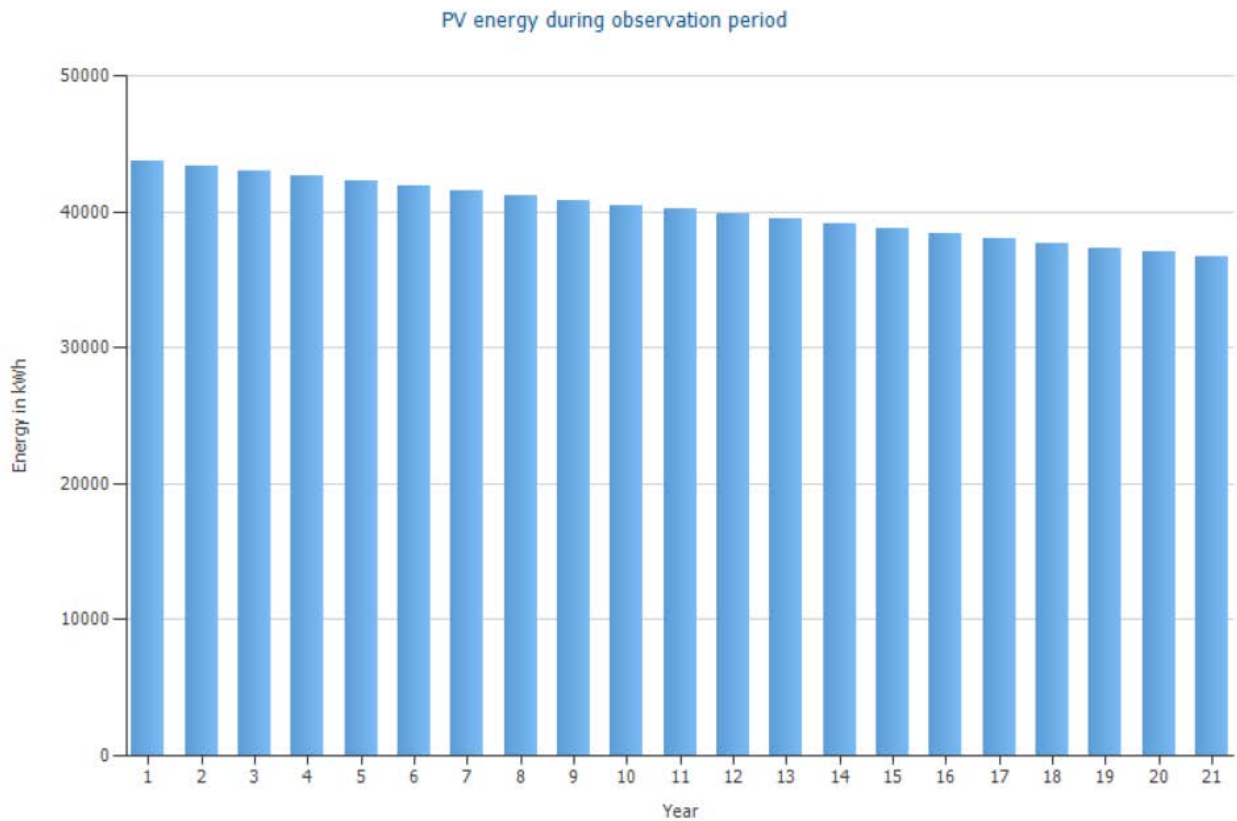


Рис. А.10. Генерація енергії з врахуванням деградації модулів

Програма також розраховує детальний енергетичний баланс сонячної електростанції (рис А.11), включаючи сонячну радіацію, яка надходить на горизонтальну поверхню (Global radiation - horizontal) та на поверхню PV модулів (Global Radiation at the Module), втрати енергії при перетворенні сонячної енергії в електричну (STC Conversion) та в інверторі при перетворенні постійного струму в змінний (DC/AC Conversion), в кабелях (Total cable losses), згенеровану енергію тощо.

<b>Global radiation - horizontal</b>	<b>1 182,64 kWh/m<sup>2</sup></b>	
Deviation from standard spectrum	-11,83 kWh/m <sup>2</sup>	-1,00 %
Ground Reflection (Albedo)	15,69 kWh/m <sup>2</sup>	1,34 %
Orientation and inclination of the module surface	168,39 kWh/m <sup>2</sup>	14,19 %
Shading	0,00 kWh/m <sup>2</sup>	0,00 %
Reflection on the Module Interface	-24,82 kWh/m <sup>2</sup>	-1,83 %
<b>Global Radiation at the Module</b>	<b>1 330,07 kWh/m<sup>2</sup></b>	
	1 330,07 kWh/m <sup>2</sup>	
	x 170,971 m <sup>2</sup>	
	= 227 403,37 kWh	
<b>Global PV Radiation</b>	<b>227 403,37 kWh</b>	
Soiling	0,00 kWh	0,00 %
STC Conversion (Rated Efficiency of Module 21,06 %)	-179 512,79 kWh	-78,94 %
<b>Rated PV Energy</b>	<b>47 890,58 kWh</b>	
Low-light performance	-121,22 kWh	-0,25 %
Deviation from the nominal module temperature	-388,62 kWh	-0,81 %
Diodes	-236,90 kWh	-0,50 %
Mismatch (Manufacturer Information)	-942,88 kWh	-2,00 %
Mismatch (Configuration/Shading)	0,00 kWh	0,00 %
<b>PV Energy (DC) without inverter down-regulation</b>	<b>46 200,96 kWh</b>	
Failing to reach the DC start output	0,00 kWh	0,00 %
Down-regulation on account of the MPP Voltage Range	0,00 kWh	0,00 %
Down-regulation on account of the max. DC Current	0,00 kWh	0,00 %
Down-regulation on account of the max. DC Power	0,00 kWh	0,00 %
Down-regulation on account of the max. AC Power/cos phi	-653,76 kWh	-1,42 %
MPP Matching	-5,34 kWh	-0,01 %
<b>PV energy (DC)</b>	<b>45 541,87 kWh</b>	
<b>Energy at the Inverter Input</b>	<b>45 541,87 kWh</b>	
Input voltage deviates from rated voltage	-54,24 kWh	-0,12 %
DC/AC Conversion	-978,19 kWh	-2,15 %
Standby Consumption (Inverter)	-24,96 kWh	-0,06 %
Total Cable Losses	-667,64 kWh	-1,50 %
<b>PV energy (AC) minus standby use</b>	<b>43 816,83 kWh</b>	
<b>PV Generator Energy (AC grid)</b>	<b>43 841,79 kWh</b>	

Рис. А.11. Детальний енергетичний баланс сонячної електростанції

Для проведення економічного аналізу використовувалися наступні вихідні дані:

- Період розрахунку – 20 років;
- Середня річна прибутковість на використаний капітал – 2,5%;
- Питомі капіталовкладення – 700 євро на кВт встановленої потужності модулів;
- Операційні витрати – 2% від капіталовкладень за рік;
- Тариф на генерацію енергії в мережу («зелений тариф») – 0,131 євро/кВт·год після оподаткування (чинний до кінця 2029

року); 0,05 євро/кВт·год після оподаткування (допущення щодо можливого тарифу на купівлю електричної енергії з початку 2030 року);

- Тариф на спожиту електричну енергію з мережі - 0,056 євро/кВт·год, збільшення тарифу на 2% в рік;
- Параметри для кредитування та оподаткування не задавалися.

Узагальнені параметри розрахунку та результати фінансового аналізу наведені на рис. А.12.

<b>System Data</b>	
Grid Feed-in in the first year (incl. module degradation)	41 841 kWh/Year
PV Generator Output	36 kWp
Start of Operation of the System	01.04.2022
Assessment Period	20 Years
Interest on Capital	2,5 %
<b>Economic Parameters</b>	
Internal Rate of Return (IRR)	14,53 %
Accrued Cash Flow (Cash Balance)	23 052,94 €
Amortization Period	5,5 Years
Electricity Production Costs	0,047 €/kWh
<b>Payment Overview</b>	
Specific Investment Costs	700,00 €/kWp
Investment Costs	25 200,00 €
One-off Payments	0,00 €
Incoming Subsidies	0,00 €
Annual Costs	504,00 €/Year
Other Revenue or Savings	0,00 €/Year
<b>Remuneration and Savings</b>	
Total Payment from Utility in First Year	5 481,14 €/Year
First year savings	101,89 €/Year
Ukraine Feed-in Tarrif for Households 2030 - Building System	
Validity	01.01.2020 - 31.12.2029
Specific feed-in / export Remuneration	0,131 €/kWh
Feed-in / Export Tariff	5481,144 €/Year
Ukraine Feed-in Tarrif for Households after 2030 - Building System	
Validity	01.01.2030 - 31.12.2049
Specific feed-in / export Remuneration	0,05 €/kWh
Feed-in / Export Tariff	1960,5637 €/Year
Residential electricity price (Example)	
Energy Price	0,056 €/kWh
Inflation Rate for Energy Price	2 %/Year

Рис. А.12. Результати фінансового аналізу впровадження системи