Co-funded by the European Union

The Bridge BIM architecture engineering construction

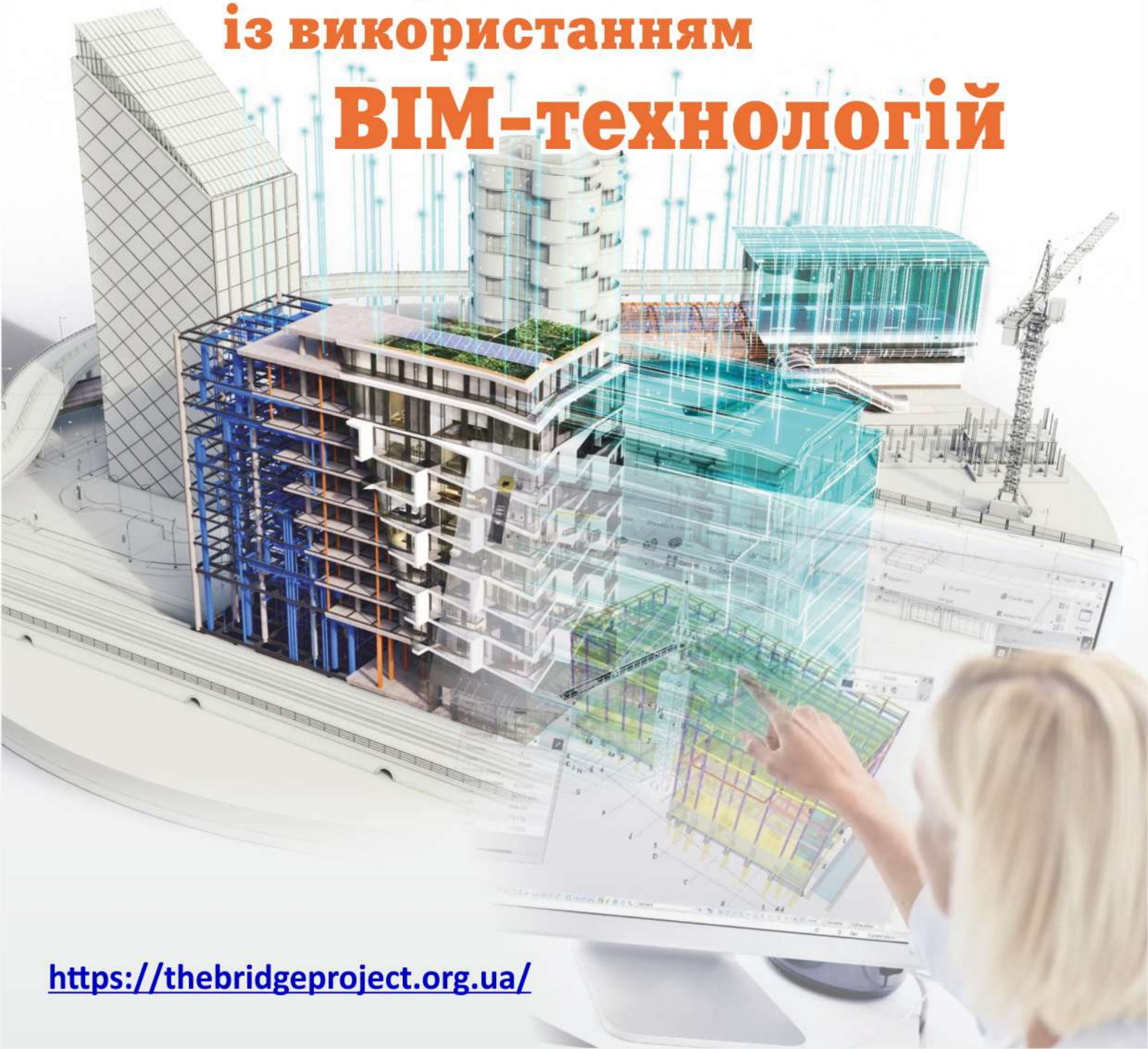
Практикум

СУЧАСНІ ПІДХОДИ

до проєктування, аналізу та оцінки будівельних систем

із використанням

BIM-технологій



https://thebridgeproject.org.ua/

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ПРОЄКТУВАННЯ, АНАЛІЗУ ТА ОЦІНКИ БУДІВЕЛЬНИХ СИСТЕМ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ BIM-ТЕХНОЛОГІЙ

Практикум

За ред. Ю. В. Булгакової та Н. С. Чернової

Проєкт співфінансується Європейським Союзом, проте висловлені погляди та думки належать лише авторам цього проєкту і не обов'язково відображають погляди Європейського Союзу чи Європейського виконавчого агентства з питань освіти та культури. Ні Європейський Союз, ні грантодавець не можуть нести за них відповідальність.

Дніпро

2025

УДК 624.01:004.942(075.8)
С 91

Практикум рекомендовано до друку рішенням Вченої ради Українського державного університету науки і технологій МОН України, протокол № 1 від 24.09.2025 р.

Авторський колектив: М. Г. Болотов, Т. Р. Ганєєв, І. І. Давидов, В. А. Загільський, В. В. Ковба, Д. В. Левківський, В. В. Малахов, А. С. Москвітіна, О. Р. Позняк, Н. В. Пущіна, С. Г. Рибачов, М. М. Руденко, В. Л. Сєдін, М. М. Сорока, М. Г. Сур'янінов, Р. Ю. Титаренко, Р. Є. Хміль, В. П. Чабан, В. І. Шеховцов.

За ред. Ю. В. Булгакової, Н. С. Чернової.

Наукові редактори:
Ю. В. Булгакова, кандидат технічних наук, доцент кафедри управління комерційною діяльністю залізниць, Національний транспортний університет (м. Київ);
Н. С. Чернова, кандидат економічних наук, доцент кафедри економіки і менеджменту, Український державний університет науки і технологій (м. Дніпро).

Рецензенти:
І. І. Назаренко, Президент Академії будівництва України, доктор технічних наук, професор, машин і обладнання технологічних процесів Київський національний університет будівництва і архітектури, заслужений діяч науки і техніки України (м. Київ);
М. М. Бабенко, кандидат технічних наук, доцентка кафедри інженерії та фізики матеріалів, Словацький технічний університет у Братиславі (м. Братислава).

Сучасні підходи до проєктування, аналізу та оцінки будівельних систем із використанням BIM-технологій : практикум / М. Г. Болотов, Т. Р. Ганєєв, І. І. Давидов та ін.; за ред. Ю. В. Булгакової та Н. С. Чернової ; Укр. держ. ун-т науки і технологій. – Електрон. вид. – Дніпро : УДУНТ, 2025. – 228 с.

ISBN 978-617-8314-79-8 (PDF)

У практикумі представлено матеріали науково-практичних досліджень, виконаних у межах реалізації міжнародного проєкту програми Європейського Союзу Erasmus+ «The BRIDGE – Bridging Innovations, Knowledge and Skills for Integrating Digitalization in the Ukrainian Construction Sector».

Розглянуто сучасні підходи до проєктування, аналізу та оцінки будівельних систем із використанням BIM-технологій, а також інноваційні рішення для забезпечення енергоефективності, точності розрахунків і взаємодії між програмними середовищами. Матеріали охоплюють питання термоефективності екоорієнтованих модульних будинків, моделювання історичних будівель на основі хмари точок, використання BIM у конструктивному проєктуванні, розрахунку металевих і залізобетонних конструкцій, аналізу взаємодії фундаментів із ґрунтовим середовищем, а також розробки моделей мікроклімату громадських будівель.

Видання призначене для науково-педагогічних працівників, аспірантів, здобувачів вищої освіти, а також фахівців у галузі будівництва, архітектури, енергетики та цифрового моделювання, які цікавляться практичним застосуванням BIM-технологій у навчальному процесі та професійній діяльності.

УДК 624.01:004.942(075.8)

Цей твір ліцензовано на умовах Ліцензії Creative Commons «Attribution-NonCommercial-ShareAlike» 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) («Із зазначенням авторства – Некомерційна – Поширення на тих самих умовах» 4.0 Міжнародна)

ISBN 978-617-8314-79-8 (PDF)

© Болотов М. Г., Ганєєв Т. Р. та ін., 2025
© Укр. держ.ун-т науки і технологій, 2025

АВТОРСЬКИЙ КОЛЕКТИВ

М. Г. Болотов, кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій зварювання та будівництва, Національний університет «Чернігівська політехніка»

Т. Р. Ганєєв, кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій зварювання та будівництва, Національний університет «Чернігівська політехніка»

І. І. Давидов, кандидат технічних наук, доцент кафедри металевих, дерев'яних і пластмасових конструкцій, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»

В. А. Загільський, кандидат технічних наук, доцент кафедри інженерної геології і геотехніки, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»

В. В. Ковба, кандидат технічних наук, доцент кафедри інженерної геології і геотехніки, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»

Д. В. Левківський, кандидат технічних наук, доцент кафедри опору матеріалів, Київський національний університет будівництва і архітектури

В. В. Малахов, кандидат технічних наук, доцент кафедри залізобетонних конструкцій та транспортних споруд, Одеська державна академія будівництва та архітектури

А. С. Москвітіна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри теплогазопостачання і вентиляції, Київський національний університет будівництва і архітектури

О. Р. Позняк, кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельного виробництва Інституту будівництва та інженерних систем Національного університету «Львівська політехніка».

Н. В. Пущіна, асистент кафедри інформаційних технологій та прикладної математики, Одеська державна академія будівництва та архітектури

С. Г. Рибачов, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри теплогазопостачання і вентиляції, Київський національний університет будівництва і архітектури

М. М. Руденко, старший викладач кафедри технологій зварювання та будівництва, Національний університет «Чернігівська політехніка»

В. Л. Сєдін, доктор технічних наук, професор кафедри інженерної геології і геотехніки, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»

М. М. Сорока, кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельної механіки, Одеська державна академія будівництва та архітектури

М. Г. Сур'янінов, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри будівельної механіки, Одеська державна академія будівництва та архітектури

Р. Ю. Титаренко, кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельних конструкцій та мостів Інституту будівництва, інфраструктури та безпеки життєдіяльності Національного університету «Львівська політехніка»

Р. Є. Хміль, доктор технічних наук, доцент, завідувач кафедри будівельних конструкцій та мостів Інституту будівництва та інженерних систем Національного університету «Львівська політехніка»

В. П. Чабан, кандидат технічних наук, доцент кафедри металевих, дерев'яних і пластмасових конструкцій, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»

В. І. Шеховцов, кандидат технічних наук, доцент кафедри залізобетонних конструкцій та транспортних споруд, Одеська державна академія будівництва та архітектури

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА

1. ТЕМАТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ: МОДЕЛЮВАННЯ ІСТОРИЧНИХ БУДІВЕЛЬ З ВИКОРИСТАННЯМ BIM ТЕХНОЛОГІЙ НА ОСНОВІ ХМАРИ ТОЧОК

Ганєєв Т.Р.

2. ОЦІНКА ТЕРМОЕФЕКТИВНОСТІ ЕКО-ОРЄНТОВАНИХ МОДУЛЬНИХ БУДИНКІВ

Болотов М.Г., Руденко М.М.

3. ВІДКРИТЕ BIM-ОРІЄНТОВАНЕ КО-МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ ТА ОЦІНКИ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ (LCA): ДВА БУДИНКИ У ВЕЛИКІЙ БРИТАНІЇ ТА ЛЮКСЕМБУРЗІ

Титаренко Р. Ю., Хміль Р. Є., Позняк О. Р.

4. РОЗРОБКА 3D-МОДЕЛІ СИСТЕМ ФОРМУВАННЯ МІКРОКЛІМАТУ ГРОМАДСЬКИХ БУДІВЕЛЬ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ LINEAR

Рибачов С.Г., Москвітіна А.С.

5. ПОРІВНЯЛЬНИЙ РОЗРАХУНОК ЗАЛІЗОБЕТОННОЇ БАЛКИ ЗА УКРАЇНСЬКИМИ (ДБН) ТА ЄВРОПЕЙСЬКИМИ (EN 1992-1-1) НОРМАМИ

Шеховцов В. І., Малахов В. В.

6. РОЗРАХУНОК НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ РАМ З ВИКОРИСТАННЯМ ПК ЛІРА-САПР

Сур'янінов М. Г., Сорока М. М., Пущіна Н. В.

7. РОЗРАХУНКИ ТА ПРОЄКТУВАННЯ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ У TEKLA STRUCTURES

Давидов І. І., Чабан В.П.

8. ОСНОВИ РОЗРАХУНКУ ТА ПРОЕКТУВАННЯ БУДІВЕЛЬ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ LIRA-FEM

Левківський Д.В.

9. МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ ФУНДАМЕНТІВ З ҐРУНТОВИМ СЕРЕДОВИЩЕМ З ВИКОРИСТАННЯМ ПК PLAXIS 3D

Ковба В.В., Загільський В.А., Сєдін В.Л.

10. ЗАСТОСУВАННЯ BIM У КОНСТРУКТИВНОМУ ПРОЄКТУВАННІ: КЕЙС-СТАДІ З АНАЛІЗУ ІНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТІ, ДЕТАЛЮВАННЯ АРМУВАННЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ОБСЯГІВ РОБІТ

Титаренко Р. Ю., Хміль Р. Є., Позняк О. Р.

ПЕРЕДМОВА

Сучасний етап розвитку України визначається складними викликами, пов’язаними з післявоєнним відновленням інфраструктури, модернізацією економіки та переходом до сталого розвитку. У цих умовах особливої ваги набувають інноваційні освітні ініціативи, здатні поєднати науку, освіту, технології та бізнес, формуючи нову генерацію фахівців, які мислять стратегічно, діють екологічно та володіють сучасними цифровими навичками.

Одним із таких проєктів є Erasmus+ CBHE «The BRIDGE – Bridging University and Industry through a Master Programme Supporting the Development of Green Jobs and Digital Skills in the Ukrainian Construction Sector» 101127884–ERASMUS-EDU-2023-CBHE), спрямований на створення магістерських програм нового покоління, розвиток «зелених» компетентностей і цифрових технологій у будівельному секторі України.

Розвиток будівельної галузі та підготовка інженерів нового типу мають ключове значення для післявоєнного відновлення країни, адже саме від рівня професійної підготовки, інноваційності та здатності інтегрувати європейські практики залежить успіх модернізації інфраструктури та перехід до енергоефективної економіки. Саме тому проєкт The BRIDGE став важливою платформою, що об’єднала університети, підприємства, наукові установи та державні інституції навколо спільної мети — побудови стійкої, сучасної та цифрової освітньої екосистеми.

Практикум, який пропонується читачеві, створено в межах реалізації цього проєкту. Він відображає ідеї, принципи та практичні підходи, що лежать в основі модернізації вищої освіти України в контексті інтеграції до Європейського освітнього простору.

Проєкт покликаний підтримати післявоєнне відновлення України, розвиток зелених технологій, цифрових компетентностей і поглиблення співпраці між університетами та промисловістю у будівельному секторі.

The BRIDGE реалізується консорціумом університетів і організацій із шести країн — України, Польщі, Італії, Німеччини, Словаччини за участю Міністерства освіти і науки України. Його мета — створення сучасного освітнього середовища, яке забезпечить підготовку фахівців нового покоління, спроможних реалізовувати принципи сталого розвитку, енергоефективності та цифровізації у сфері будівництва.

Потреба в модернізації українського будівельного сектору стала особливо гострою в умовах післявоєнної відбудови. Понад 60% будівель в Україні потребують реконструкції, а їхня енергоефективність залишається низькою. Одночасно держава задекларувала курс на кліматичну нейтральність і впровадження принципів Європейської Зеленої угоди.

Будівельна галузь стає ключовим рушієм «зеленого переходу», і саме тому виникає потреба у фахівцях із сучасними знаннями у сферах BIM-технологій

(Building Information Modelling), енергоефективного проєктування, цифрового менеджменту та стійкого розвитку.

Проєкт The BRIDGE інтегрує найкращі практики ЄС у систему підготовки українських інженерів, архітекторів і будівельників нового покоління.

Головною метою проєкту є подолання розриву між університетом і промисловістю через створення нової міждисциплінарної магістерської програми, спрямованої на розвиток цифрових і «зелених» компетентностей у сфері будівництва.

Для досягнення мети визначено основні завдання:

– Розробка та акредитація магістерських програм у п’яти українських університетах.

– Оновлення BIM-центрів і створення навчально-методичних матеріалів.

– Підвищення кваліфікації викладачів у провідних європейських університетах.

– Посилення співпраці між університетами та бізнесом для покращення працевлаштування випускників.

– Цифровізація навчальних модулів і створення інтерактивної платформи e-BRIDGE.

– Формування мережі BRIDGE Network, що об’єднає університети, промисловість та державні інституції.

Консорціум проєкту. Координатор проєкту — Український державний університет науки і технологій (УДУНТ, Дніпро).

Партнерами є: з України — Національний університет «Львівська політехніка», Київський національний університет будівництва і архітектури, Одеська державна академія будівництва та архітектури, Національний університет «Чернігівська політехніка», громадська організація «Академія будівництва України», Інститут професійних кваліфікацій, Міністерство освіти і науки України; з країн ЄС: Варшавська політехніка (Польща), Університет Санніо (Італія), Рейнсько-Вестфальський технічний університет Аахена (Німеччина), Словацький технічний університет у Братиславі (Словаччина) та Словацька палата інженерів-будівельників. Таке партнерство забезпечує міжнародний обмін досвідом, трансфер інновацій та уніфікацію освітніх стандартів у сфері сталого будівництва та цифровізації.

У межах реалізації проєкту The BRIDGE передбачено низку ключових результатів, спрямованих на підвищення якості освіти, розвиток цифрових технологій і зміцнення співпраці між університетами та промисловістю. Зокрема, розроблено сучасні магістерські програми, адаптовані до потреб ринку праці, створено BIM-лабораторії та навчальні хаби, які забезпечують практичну підготовку студентів на основі реальних кейсів будівельної галузі. Особлива увага приділена підготовці викладачів і тренерів у сфері сталого будівництва та цифрового моделювання, що дає змогу інтегрувати європейські підходи в український освітній простір. Важливим етапом стало створення інтерактивної платформи e-BRIDGE, яка

слугує інструментом міжнародного обміну знаннями, навчальними матеріалами та досвідом між учасниками проєкту. Паралельно розвивається партнерська мережа «університет–промисловість», покликана інтегрувати освітній процес із реальними потребами економіки, сприяючи працевлаштуванню випускників. Також розроблено стратегію поширення та сталості результатів (Dissemination & Sustainability Plan), що забезпечить довготривалий вплив проєкту на систему вищої освіти України.

Реалізація The BRIDGE має значний вплив на всі рівні освітньої екосистеми. Для студентів це можливість здобути сучасні компетентності у сфері BIM-технологій, енергоефективності та сталого розвитку. Для викладачів — шлях до професійного зростання, доступу до передових європейських методик і розширення академічної мобільності. Для університетів — це модернізація освітнього процесу, підвищення міжнародної видимості та зміцнення позицій у світових рейтингах. Для будівельної галузі — підготовка нового покоління фахівців, здатних працювати в умовах «зеленої» економіки та цифрової трансформації. Для суспільства — створення передумов для сталого відновлення міст, підвищення якості життя населення та енергетичної незалежності країни.

Таким чином, проєкт The BRIDGE є невід'ємною частиною стратегії Європейського Союзу з підтримки України в період післявоєнного відновлення. Його реалізація сприяє формуванню нової культури інженерної освіти, заснованої на принципах сталого розвитку, інноваційності та партнерства між академічним середовищем і бізнесом. The BRIDGE — це не лише освітня ініціатива, а інвестиція у людський капітал, технології та майбутнє України, що поєднує європейські цінності з прагненням до модернізації, відродження та інтеграції нашої держави до єдиного європейського простору.

Юлія Булгакова, координаторка проєкту
Наталія Чернова, менеджерка проєкту

1. ТЕМАТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ: МОДЕЛЮВАННЯ ІСТОРИЧНИХ БУДІВЕЛЬ З ВИКОРИСТАННЯМ BIM ТЕХНОЛОГІЙ НА ОСНОВІ ХМАРИ ТОЧОК

Ганєєв Т.Р.

ВСТУП

Прототипіювання історичних будівель — це процес створення цифрової моделі архітектурного об'єкта, яка відтворює його форму, структуру та іноді функціональні особливості на основі доступних даних. Такий прототип може бути як максимально точним (на основі лідарних сканів), так і реконструктивним (на основі архівних джерел, описів, фотографій).

Прототипи можуть використовуються з метою збереження культурної спадщини, віртуальної реконструкції втрачених або пошкоджених об'єктів, наукових досліджень, створення інтерактивних освітніх та музейних експозицій, підготовки реставраційних робіт (Рисунок 1).



Рис. 1.1. Прототип Вознесенської церкви в селі Лукашівка Чернігівської області

Значення цифрового прототипу полягає в створенні можливостей візуалізації об'єкту спадщини у його історичному контексті, порівнянні етапів перебудови будівлі, створенні інтерактивної моделі для VR/AR середовищ, та проведенні аналізу конструктивних особливостей без фізичного втручання.

У сучасній практиці цифрової реконструкції історичних будівель 3D-сканування та BIM (Building Information Modeling) тісно пов’язані між собою. Разом вони формують потужний інструментарій для документування стану об’єкта, створення точних цифрових моделей, планування реставраційних або консерваційних робіт та інтеграції об’єкта в сучасне міське середовище.

3D-сканування — це процес збору просторових даних про об’єкт за допомогою однієї з трьох найпоширеніших технологій: лідарного сканування (LiDAR), фотограмметрії, або сканування за допомогою структурованого світла.

Перевагами сканування перед інструментальними вимірюваннями є висока точність, можливість фіксації складних форм і декору, можливість роботи на об’єктах, що перебувають у аварійному стані.

Результатом 3D-сканування є хмара точок — набір координат, що описують поверхню

об’єкта, яка в подальшому перетворюються в mesh-модель або BIM-об’єкт.

BIM у контексті історичних будівель дозволяє інтегрувати архівні джерела (плани, креслення, фото), сприяє координації між архітекторами, реставраторами, інженерами, може містити версії об’єкта в різні історичні періоди та підтримує цифрову документацію змін (реставрацій, втрат, реконструкцій).

МЕТА І ЗАВДАННЯ РОБОТИ

Мета роботи є вдосконалення професійних навичок здобувачів у вирішенні багатоаспектних історико-культурних та будівельно-реставраційних питань, зв’язаних з цифровізацією історичного надбання.

Основним завданням роботи є створення цифрового тривимірного прототипу історичної будівлі на основі лідарних даних, доступних архівних джерел та сучасних методів 3D-моделювання з подальшим аналізом її архітектурних особливостей, історичних трансформацій та стану збереження.

Конкретизовані цілі роботи:

1. опанування методів роботи з хмарами точок, отриманими в результаті лідарного сканування;
2. інтеграція архівних матеріалів (фотографій, креслень, описів) у процес моделювання;
3. побудова 3D-моделі об’єкта з урахуванням історичної достовірності.
4. використання програмного забезпечення для обробки геоданих та створення BIM- або mesh-моделей;
5. аналіз змін у структурі та вигляді об’єкта в різні історичні періоди;
6. підготовка графічних матеріалів та звіту, що відображають результати дослідження;
7. поглиблення навичок роботи в команді, та прийняття колективних рішень.

Після створення цифрового прототипу історичної будівлі важливо не лише візуалізувати об’єкт, а й проаналізувати його з точки зору точності, історичної достовірності, конструктивних особливостей та змін у часі (Рисунок 2).

Отримання достовірних лідарних даних забезпечується використанням сканера типу FJD Trion P1 LiDAR — це потужний, портативний інструмент для 3D-сканування, який ідеально підходить для документування історичних будівель завдяки своїм технічним характеристикам і простоті використання:

- **точність**: до 2 см при скануванні на відстані до 40 м;
- **поле огляду**: 360°×59°;
- **швидкість сканування:** 200000 точок/сек;
- **портативність**: вага близько 1 кг.

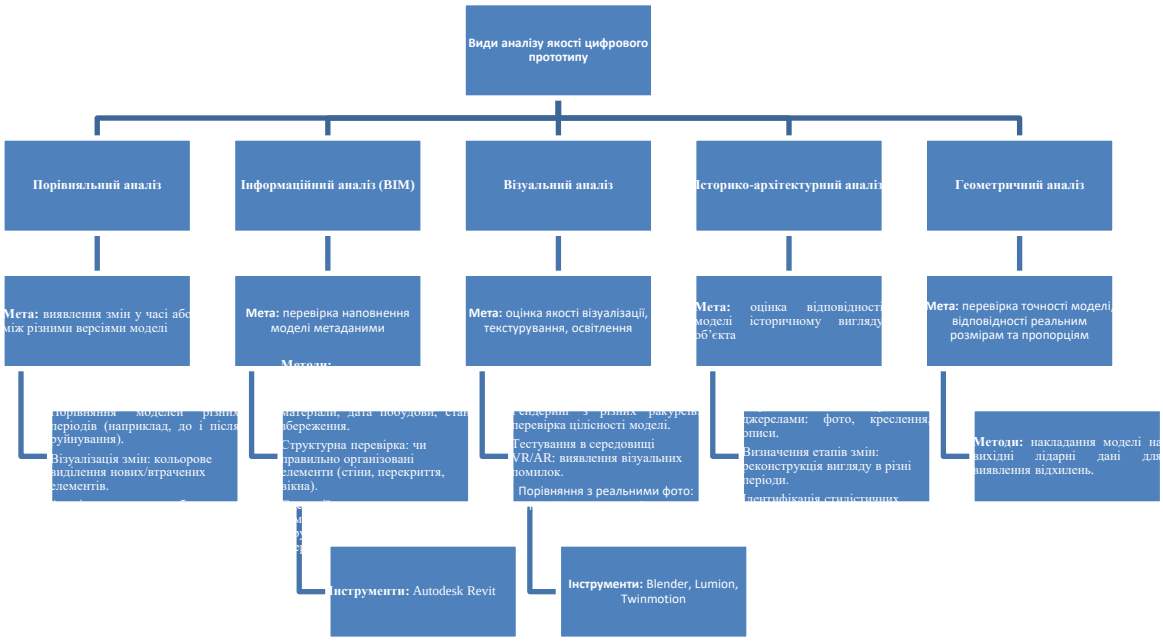


Рис. 1.2. Види аналізу якості цифрового прототипу

За технічної необхідності можуть використовуватися сканери інших виробників та технологій обробка результатів.

МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ СКАНУВАННЯ
Основні характеристики сканера

SLAM-сканер FJD Trion P1 (рис. 3) – це портативний лазерний 3D-сканер із підтримкою SLAM-технології (Simultaneous Localization and Mapping), що дозволяє виконувати сканування в реальному часі без використання мішеней або штатива. Він орієнтований на мобільність та швидкість, з автоматичним поєднанням фреймів, тож і логіка обробки даних тут відрізняється від традиційних стаціонарних LiDAR-рішень.



Рисунок 1.3 – Сканер FJD Trion P1. Загальний вигляд

Сканер керується за допомогою застосунку на смартфоні, всі операції під час сканування та візуальний контроль відбуваються саме через інтерфейс мобільного застосунку, після отримання та збереження даних файли вивантажуються на ПК/ноутбук та виконується подальше опрацювання отриманих даних.

Зазначений сканер використовує технологію сканування LiDAR + IMU (Inertial Measurement Unit). Дальність захоплення об’єктів 120м, але це з врахуванням, звісно, ідеальних умов сканування з 0% відбиття поверхні та відсутністю перешкод на шляху до об’єкту, з досвіду максимальна оптимальна відстань захоплення даних точок 50-60м. Після проведення сканування, у подальшому для обробки хмари точок, доступні формати (.las, .ply, .xyz, .pcd, .e57) про які детально буде зазначено далі.

Підготовка до сканування

Перед початком роботи зі сканером необхідно пересвідчитись у наступному:

- достатній відсоток заряду акумулятора;
- надійне закріплення акумулятора до блоку сканера;
- надійне закріплення камери до блоку сканера;
- чистота камери LiDAR;
- стабільне підключення до керуючого смартфону.

Запуск пристрою (рис. 4):

1. покладіть P1 на рівну поверхню;
2. натисніть і утримуйте кнопку живлення протягом 1-2 секунд, щоб увімкнути P1. Індикатор стану повільно блиматиме зеленим;
3. зачекайте приблизно 15 секунд, поки індикатор стану не почне постійно світитися зеленим. Ініціалізація завершена, і P1 перейде в режим очікування.

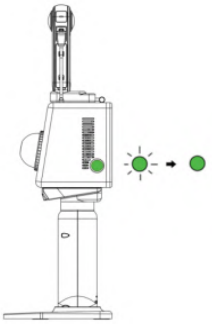


Рисунок 1.4 –FJD Trion P1. Візуальний супровід

Підключення до Wi-Fi:

1. Вимкніть послугу стільникового зв'язку на телефоні, увімкніть Wi-Fi, а потім знайдіть мережу Wi-Fi з назвою серійного номера пристрою, яку можна знайти на задній панелі P1.
2. Введіть пароль "********" для підключення до мережі.
3. Відкрийте браузер на телефоні та введіть ****** в адресний рядок, щоб отримати доступ до Trio Scan (рис. 5).



Рисунок 1.5 – Головне вікно застосунку FJD Trion Scan

Збір даних: 1. Натисніть «Сканувати» в Trion Scan, введіть назву проекту, а потім натисніть «ОК». Розпочнеться ініціалізація сканування, а індикатор стану кнопки живлення блиматиме синім кольором. P1 має залишатися нерухомим під час процесу (рис. 6).

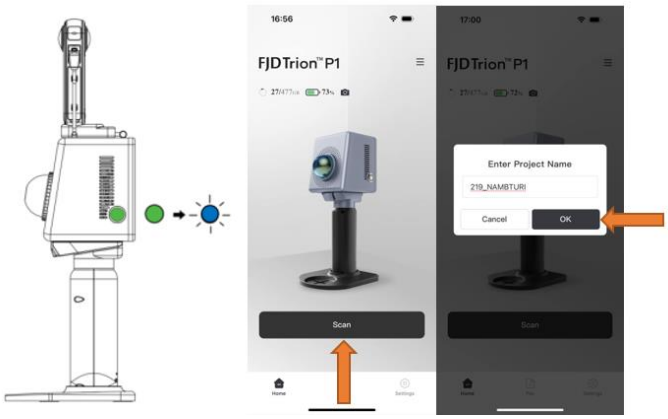


Рисунок 1.6 – Початок сканування FJD Trion Scan

Зачекайте приблизно 15 секунд, поки індикатор стану кнопки живлення не почне блимати червоним. P1 готовий до сканування, і ви можете розпочати сканування та переглядати дані хмари точок у Trion Scan (рис. 7).

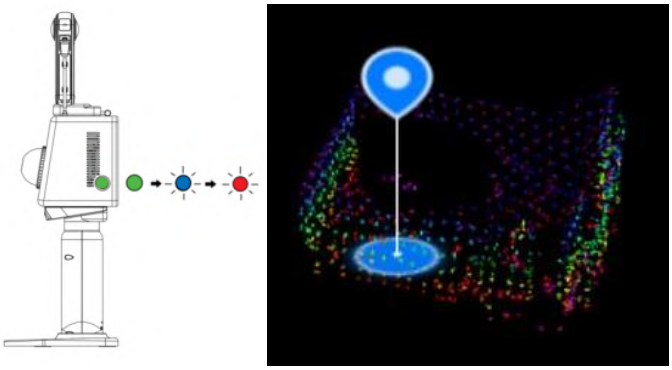


Рисунок 1.7 – Процес сканування FJD Trion Scan

Натисніть «Завершити», а потім «ОК», щоб зберегти дані. Індикатор стану кнопки живлення блимає синім двічі.

Проведення сканування

Маршрут повинен передбачати захоплення усіх мертвих зон об’єкту, кількість проходів вздовж однієї і тієї ж ділянки можна не враховувати адже це ніяким чином негативно не вплине на якість сканування. Для більшої кількості захоплення точок даних об’єкту маршрут рекомендується прокласти як кільця навколо об’єкту з поступовою віддаленістю по закінченню кожного кільця. Маршрут не повинен мати різкі перепади за висотою , бажано мінімізувати знаходження людей у зоні сканування.

Швидкість переміщення під час сканування повинна бути не швидше звичайного прогулянкового кроку. Чим довше сканер перебуває у точці маршруту тим більше інформації він зафіксує (зупинятися для збільшення кучності точок не потрібно).

Під час сканування потрібно слідкувати за інтенсивністю побудови хмари точок через інтерфейс додатку та за наявності накладень, втрати орієнтації у просторі, відключення сканеру від інтерфейсу та інших причин некоректної роботи сканеру потрібно завершити процес сканування та почати все спочатку.

Завершення та експорт сканування

При наближенні кінця маршруту сканування, потрібно зробити замикання шляху, тобто повторити маршрут на 5-10 м для покращення накладання кінців хмари точок однин на одного. Після завершення сканування сканер розбираємо та ховаємо у кейс.

Для вивантаження файлів з хмарою точок підключаємо сканер через WiFi до ПК/ноутбуку з попередньо встановленим програмним забезпеченням «FJD Trion model».

Для завантаження даних натисніть «Дані» внизу, натисніть «Завантажити» для потрібних даних, виберіть формат у спливаючому вікні, а потім натисніть «Завантажити» (рис. 8). Вивантажуємо файли розширення .fjdslam для опрацювання хмари у «FJD Trion model», .las для опрацювання хмари у «Avtodesk ReCap», та файли .insv для накладання кольору на текстури (відео файл з камери).

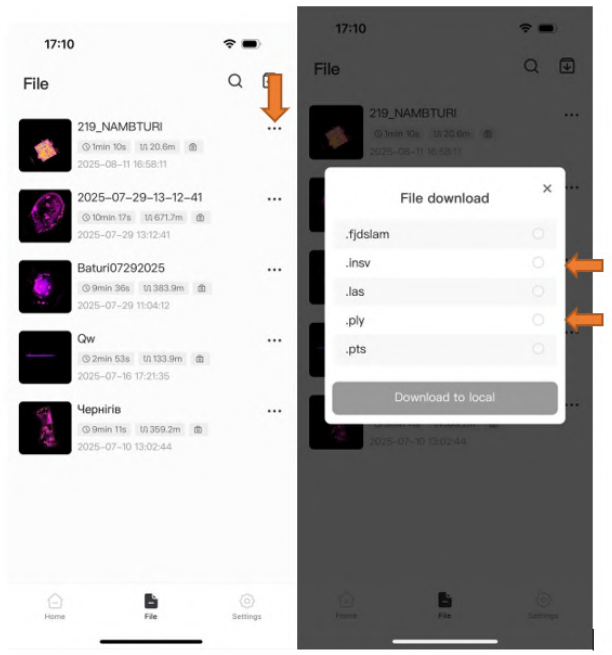


Рисунок 1.8 – Завантаження файлів з застосунку

Після завершення процесу реєстрації хмари точок у FJD Trion Model отримуємо попередню структуру хмари точок сканованого об’єкту з вибудованої геометрією та накладеними текстурами (рис. 9).

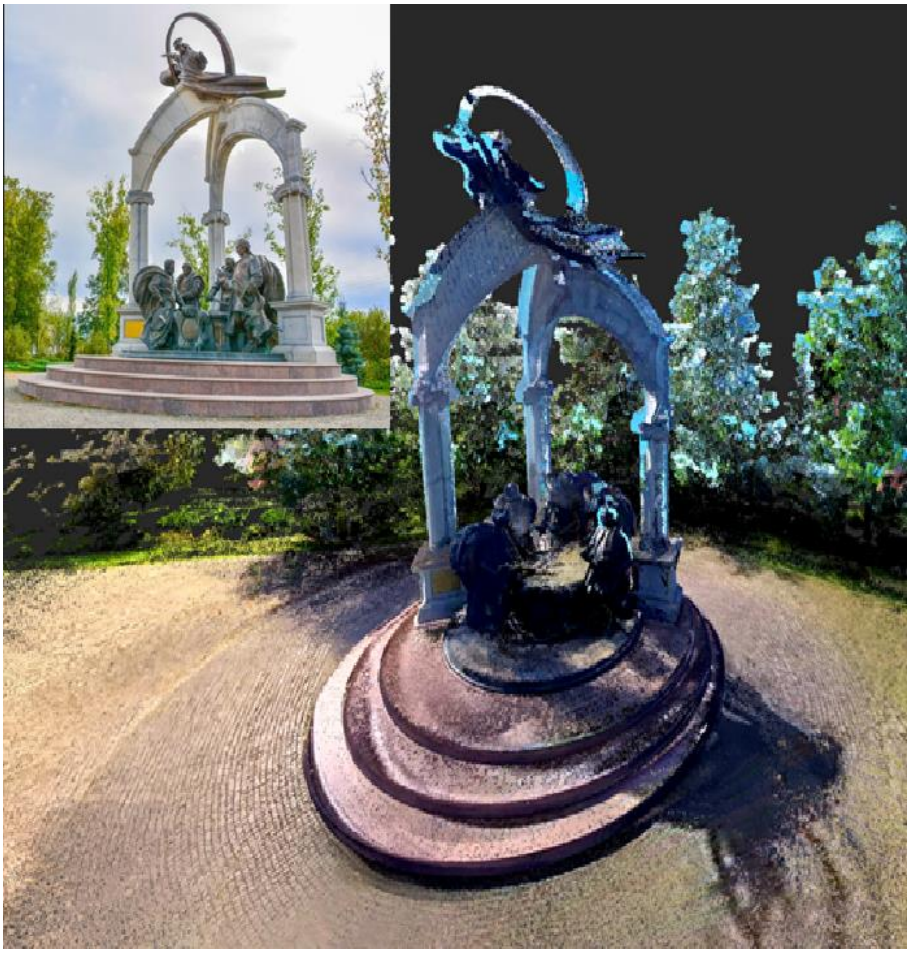


Рисунок 1.9 – Результати обробки файлу сканування у FJD Trion Model

Після завершення процесу реєстрації хмари точок у FJD Trion Model експортуємо файл з програми у формат .e57 для подальшої обробки файлу у ПЗ «Autodesk ReCap».

Додавання хмари точок в BIM проект Revit

Для обробки хмари точок у Revit, спочатку прив'яжіть файл хмари точок до вашого проекту за допомогою вкладки "Insert" → "Link" → «Point Cloud» (рис. 10).

Формат файлу .rcp є файлом проекту, де групується одночасно кілька файлів сканування .rcs. Результатом індексації файлу вихідного формату є файл .rcp та один або декілька файлів .rcs.

У полі "Ім'я файлу" виберіть файл або вкажіть ім'я файлу.

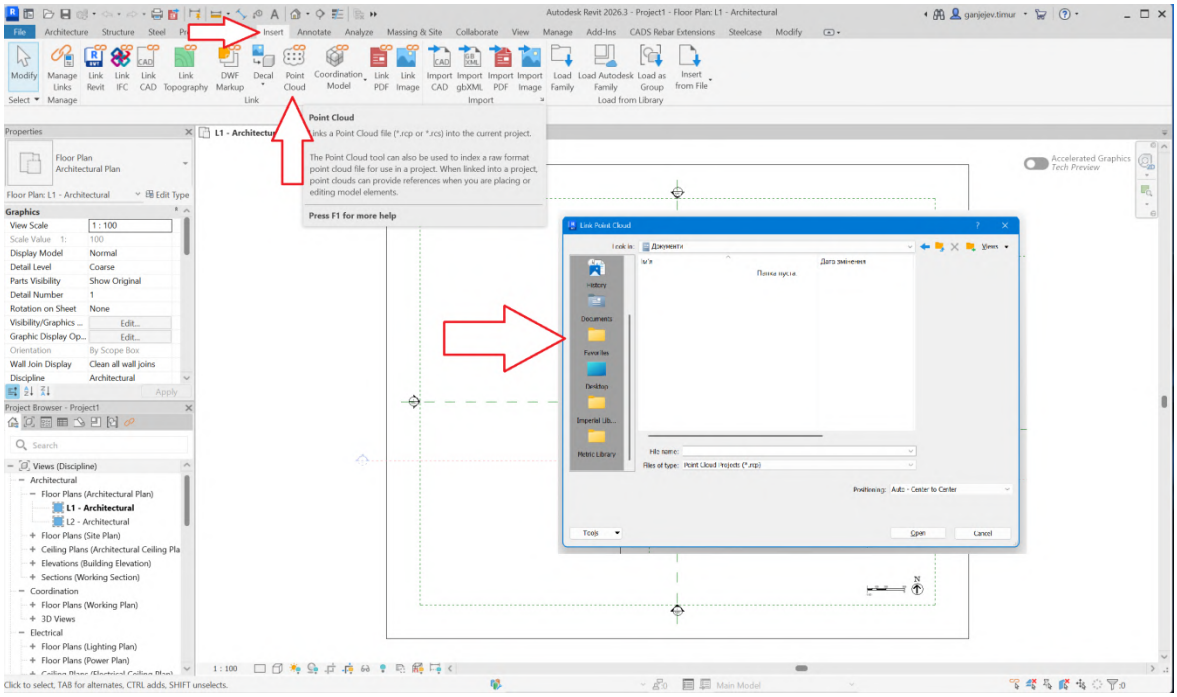


Рисунок 1.10 – Додавання хмари точок в BIM проект Revit

Для параметра "Positioning" виберіть (рис. 11):

- Авто - поєднання центрів. Програма Revit розміщує центр обмежуючої рамки хмари точок у центрі обмежуючої рамки моделі. Якщо модель не вміщується в графічній області, її центр може не відображатися на поточному вигляді. В цьому випадку слід зумувати модель до розмірів вікна. При цьому модель Revit відцентрована у вікні.
- Авто - поєднання початкових точок. Revit розміщує початок хмари точок, наприклад точку (0,0,0) на початку проекту Revit, яку можна розглядати як базову точку проекту на плані майданчика. При обертанні "Умовної півночі" Revit обертає хмару точок таким чином, щоб напрям на північ хмари точок (0,1,0) відповідав поточній "Умовній півночі". Доцільно використовувати цей параметр, якщо хмара точок вибрано з урахуванням відомої точки та відомого напрямку у моделі, або на майданчику. Зверніть увагу на те, що при використанні параметра "Поєднання початків" для вставки хмари точок, що зберігається з урахуванням географічної/геодезичної системи координат, велика ймовірність того, що хмара буде відображатися надто далеко від решти моделі.
- Авто - за загальними координатами. Revit передбачає, що координати у файлі хмари точок вказані у загальній системі координат, що у моделі. В результаті початок хмари точок розміщуватиметься в точці відліку загальних координат, до якої можна отримати доступ за допомогою базової точки зйомки. Хмара точок буде орієнтована так, щоб напрямок на північ у файлі хмари (0,1,0) відповідало справжній півночі моделі Revit.
- Авто - поєднання початку з останнім розміщеним. Revit поєднує наступну імпортовану хмару точок із хмарою точок, імпортованою раніше. Цей параметр стає активним після вставки однієї хмари точок. Можна перемістити першу хмару, наприклад, щоб вирівняти її з елементами моделі. Якщо є додаткові хмари точок, створені на одному майданчику та в одній системі з першою хмарою, рекомендується використовувати цей параметр для вставки додаткових хмар точок. Нові хмари точок будуть коректно розміщуватись по відношенню до першої.

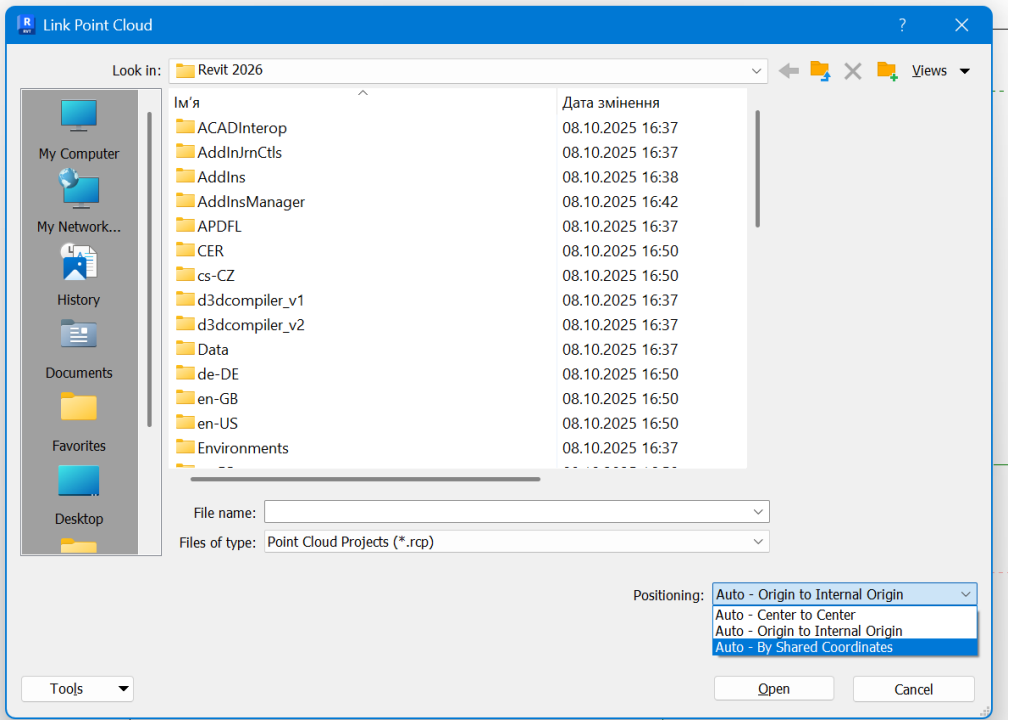


Рисунок 1.11 – Варіанти позиціювання хмари точок

Після прив'язки ви можете управляти видимістю хмари точок через діалогове вікно «Visibility/Graphics Overrides», а також створювати геометрію, використовуючи функцію прив'язки до площин або безпосередньо до точок хмари.

У цьому діалоговому вікні ви можете вмикати або вимикати видимість хмари точок для конкретного виду, а також змінювати кольоровий режим відображення точок.

Створення геометрії на основі хмари точок

Використовуйте інструменти Revit для створення геометрії (наприклад, Wall, Line, Grid).

Функція привязки дозволяє спрощувати створення моделі, спираючись на дані хмари точок.

В деяких випадках варто використовувати автоматичне виявлення неявних плоских поверхонь в хмарі точок і дозволяти прив'язуватися до них.

Якщо вам потрібно прив'язатися безпосередньо до точки в хмарі, натискайте клавішу Tab, щоб перебирати варіанти прив'язки, якщо спочатку активується прив'язка до площини.

Порядок опису результатів дослідження

Об'єкт дослідження обирається студентом самостійно на основі дослідження літературних джерел і затверджується викладачем. Дослідження можуть проводитися групами по 2-3 студенти.

Перед початком сканування проводиться ретельна фото-фіксація стану збереження об'єкту, потім вимірювання основних елементів фасадів.

Звіт з проведеної роботи (Додаток 1) повинен містити коротку історичну довідку, опис сучасного стану з фотографіями та аналіз результатів з точки зору точності, історичної достовірності, конструктивних особливостей та змін у часі.

Креслення об'єкту сканування повинні містити:

1. фасади сформовані на основі хмари точок в програмі Revit (зразок наповнення в Додатку 2), формат А4 1-2 аркуши.
2. аксонометрія та характерні фрагменти оздоблення фасадів, вікон, дверей і так далі, формат А4 1 аркуш (Додаток 3).
3. за наявності відомостей про попередні дослідження, що мають плани та розрізи відмінні від існуючого стану об'єкту дослідження, вони можуть бути зібрані на додатковому кресленні з зазначенням авторів та року дослідження (Додаток 4).

ДОДАТКИ

Додаток 1.1.

Опис

Комплекс Михайлівської церкви є прикладом архітектури зрілого класицизму в Україні кінця XVIII століття. Комплекс включає Михайлівський храм, оточений кам'яною огорожею із дзвінницею та вежами. Зберігся у споконвічному вигляді, крім огорожі, яка є тільки з двох (західної та південної) сторін, у розі розташовується вежа.

Споруджена в період 1782—1796 роки над річкою Трубіж.

Цегляна, оштукатурена, хрестоподібна у плані церква з невеликою апсидою та кутовими камерами на всю висоту, одноголова. Храм вінчає напівсферичний купол на круглому барабані, чотири малі декоративні главки над кутовими камерами. Фасади по центру мають невеликі ризаліти зі складними (чотири спарені колони підтримують арку) доричного ордера портиками з трикутними фронтонами. До одного з портиків примикає напівкругла з напівколонна апсида (ніша), де розміщується вівтар.

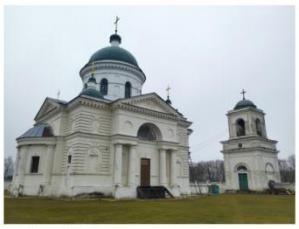


Рисунок 14 – Михайлівська церква та дзвіниця

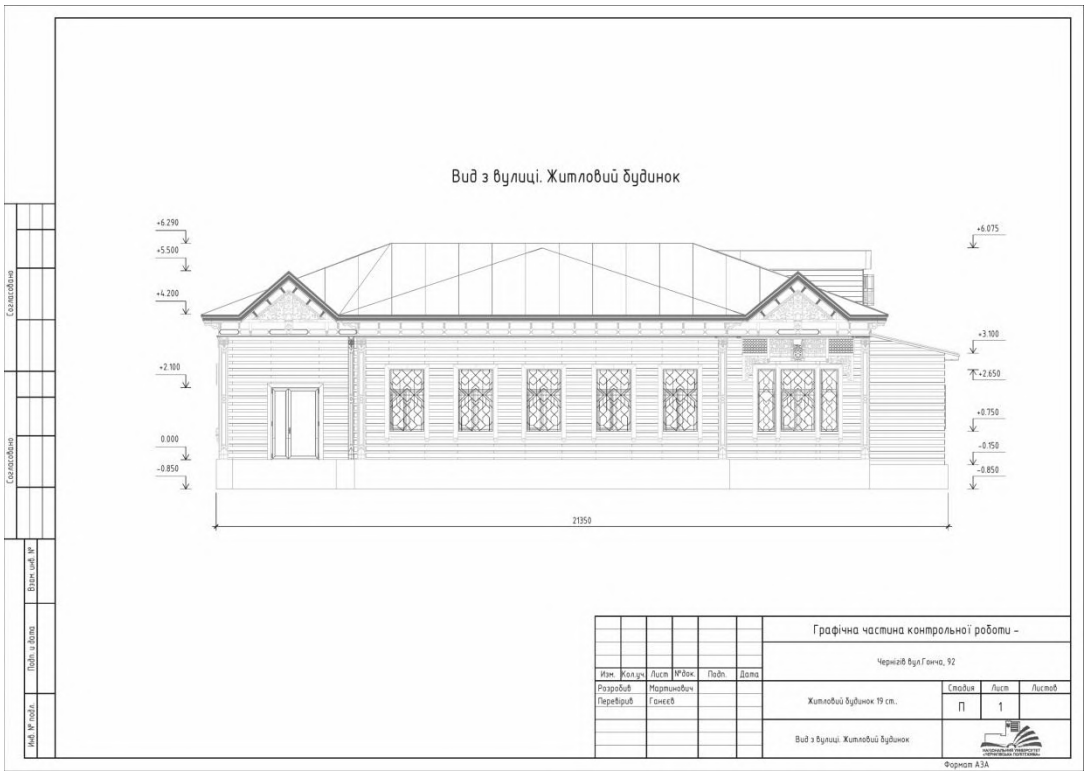


Рисунок 4 – Фотофіксація фасадів

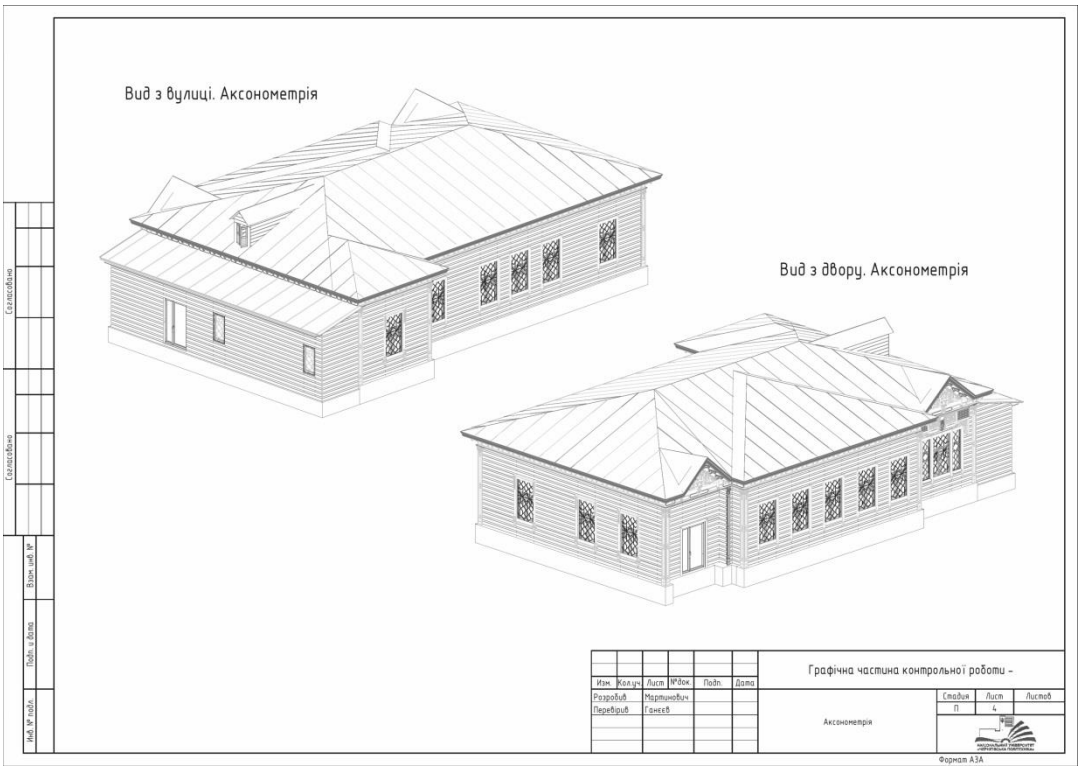
1 – Фото А.1.1;	6 – Фото А.1.18;	10 – Фото А.1.25;
2 – Фото А.1.6;	7 – Фото А.1.19;	11 – Фото А.1.30;
3 – Фото А.1.9;	8 – Фото А.1.23;	12 – Фото А.1.31;
4 – Фото А.1.11;	9 – Фото А.1.24;	13 – Фото А.1.32.
5 – Фото А.1.17;		

Фото дивись додаток А.

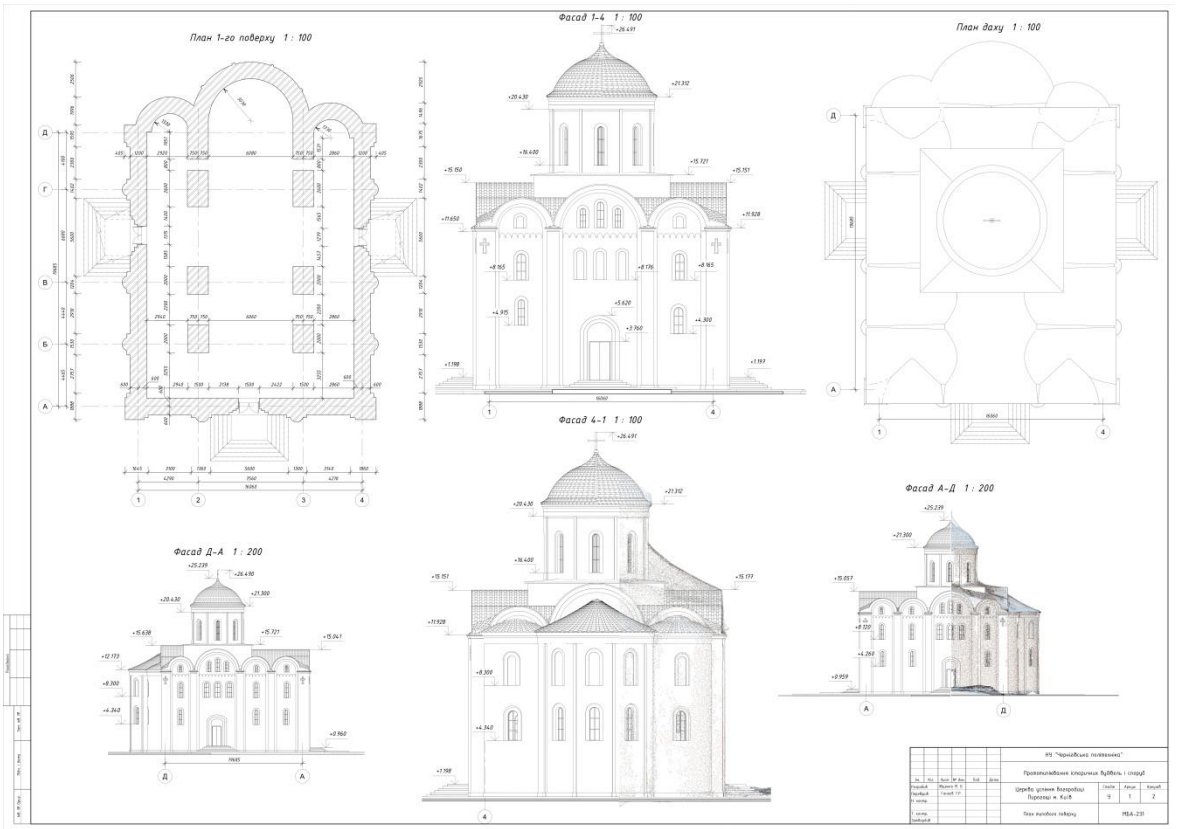
Додаток 1.2.



Додаток 1.3.



Додаток 1.4.



РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Using Point Cloud Files in a Project. Autodesk Revit 2014. URL: https://help.autodesk.com/view/RVT/2014/RUS/?guid=GUID-D179BB6C-5528-498F-9413-00237092C2FA (date of access: 16.05.2025).
2. КОРЗАЧЕНКО, М., ГАНЄЄВ, Т., & ПЕТРЕНКО, І. (2025). Цифрові технології при виконанні реставраційних робіт підземних комплексів. Основи та Фундаменти / Bases and Foundations, (50), 113–122.
3. PETRENKO, I., et al. Photogrammetry in the preservation of cultural and historical heritage. Methodology and perspectives. 2024.
4. ПЕТРЕНКО, І. О.; ГАНЄЄВ, Т. Р. Визначення похибки оптичного сканеру. 2021.
5. DANESHMAND, Morteza, et al. 3d scanning: A comprehensive survey. arXiv preprint arXiv:1801.08863, 2018.
6. HELLE, Robin H.; LEMU, Hirpa G. A case study on use of 3D scanning for reverse engineering and quality control. Materials Today: Proceedings, 2021, 45: 5255-5262.
7. JEDLIŃSKI, Maciej, et al. 3D scanners in orthodontics—Current knowledge and future perspectives—A systematic review. International journal of environmental research and public health, 2021, 18.3: 1121.
8. PIEKARCZUK, Artur, et al. A Case Study of 3D Scanning Techniques in Civil Engineering Using the Terrestrial Laser Scanning Technique. Buildings, 2024, 14.12: 3703.
9. RIBEIRO, Nuno Ferrete; SANTOS, Cristina P. Inertial measurement units: A brief state of the art on gait analysis. In: 2017 IEEE 5th Portuguese Meeting on Bioengineering (ENBENG). IEEE, 2017. p. 1-4.
10. SAMATAS, Gerasimos G.; PACHIDIS, Theodore P. Inertial measurement units (imus) in mobile robots over the last five years: A review. Designs, 2022, 6.1: 17.
11. VADUVESCU, Vlad Aurelian; NEGREA, Petre. Inertial Measurement Unit–A Short Overview of the Evolving Trend for Miniaturization and Hardware Structures. In: 2021 International Conference on Applied and Theoretical Electricity (ICATE). IEEE, 2021. p. 1-5.
12. BAKER, Wayman E., et al. Lidar-measured wind profiles: The missing link in the global observing system. Bulletin of the American Meteorological Society, 2014, 95.4: 543-564.
13. WULDER, Michael A., et al. Lidar sampling for large-area forest characterization: A review. Remote sensing of environment, 2012, 121: 196-209.
14. BEHROOZPOUR, Behnam, et al. Lidar system architectures and circuits. IEEE Communications Magazine, 2017, 55.10: 135-142.
15. ALTUNTAS, Cihan. Review of scanning and pixel array-based lidar point-cloud measurement techniques to capture 3D shape or motion. Applied sciences, 2023, 13.11: 6488.
16. TRIGLAV-ČEKADA, Mihaela; CROSILLA, Fabio; KOSMATIN-FRAS, Mojca. A simplified analytical model for a-priori LiDAR point-positioning error estimation and a review of LiDAR error sources. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 2009, 75.12: 1425-1439.
17. AULINAS, Josep, et al. The SLAM problem: a survey. Artificial Intelligence Research and Development, 2008, 363-371.
18. MACARIO BARROS, Andréa, et al. A comprehensive survey of visual slam algorithms. Robotics, 2022, 11.1: 24.

2. ОЦІНКА ТЕРМОЕФЕКТИВНОСТІ ЕКО-ОРЄНТОВАНИХ МОДУЛЬНИХ БУДИНКІВ

М.Г. Болотов
М.М. Руденко

АНОТАЦІЯ

Основною метою цього дослідження було забезпечити глибше розуміння теплотехнічних характеристик еко-орієнтованого збірного модульного житла на основі реального прикладу каркасного модульного односімейного будинку «QHome-26», розташованого на околиці міста Чернігів.

За допомогою інфрачервоної термографії, як перший і корисний крок для якісного енергоаудиту, було проведено моніторинг наявних «містків холоду» та основних тепловтрат у огороджувальних конструкціях будівлі. Для глибшого розуміння енергоефективності огороджувальних конструкцій будівлі було виконано ретельний теплотехнічний розрахунок.

Наступним етапом стало запропонування можливих варіантів перепланування конструктивної та енергетичної системи, що сприяють підвищенню енергетичного класу будівлі.

Ключові слова: сталість, модульні будівлі, екобудівництво, теплова ефективність.

ВСТУП

Актуальність екоорієнтованого модульного будівництва постійно зростає через загострення житлових та екологічних проблем, пов’язаних із воєнними діями на території України. Модульне будівництво або збірні модульні конструкції передбачають виготовлення всього будинку або його окремих елементів за межами будівельного майданчика – у контрольованих заводських умовах із подальшим транспортуванням і монтажем на місці спорудження [2].

Прагнення до екологізації та мінімізації споживання природних ресурсів вимагає переходу від традиційних методів будівництва до більш сталих та енергоефективних практик [1]. У цьому контексті модульність у будівництві стає одним із провідних сучасних трендів. Це пояснюється насамперед тим, що модульне будівництво безпосередньо орієнтоване на екологічні та енергозберігаючі підходи, які дозволяють зменшити шкідливий вплив на довкілля, скоротити споживання ресурсів і енергії, а також обсяг будівельних відходів.

2 Виклад основного матеріалу

Об’єктом дослідження є односімейний модульний будинок «QHome-26» [3], який був виготовлений поза межами будівельного майданчика у 2023 році українською компанією «QHome» за підтримки Агентства ООН у справах біженців (UNHCR) та встановлений поблизу міста Чернігів, у селі Новоселівка.

Як фундамент будівлі використано фундаментні блоки типу ФБС. На рисунках 1-4 наведено зовнішній вигляд будинку, процес його монтажу, 3D-модель дерев’яного каркаса, а також план приміщень із поясненнями.



Рисунок 2.1 – Зовнішній вигляд модульного будинку



Рисунок 2.2 – Процес встановлення модульного будинку



Рисунок 2.3 – 3D модель каркасу

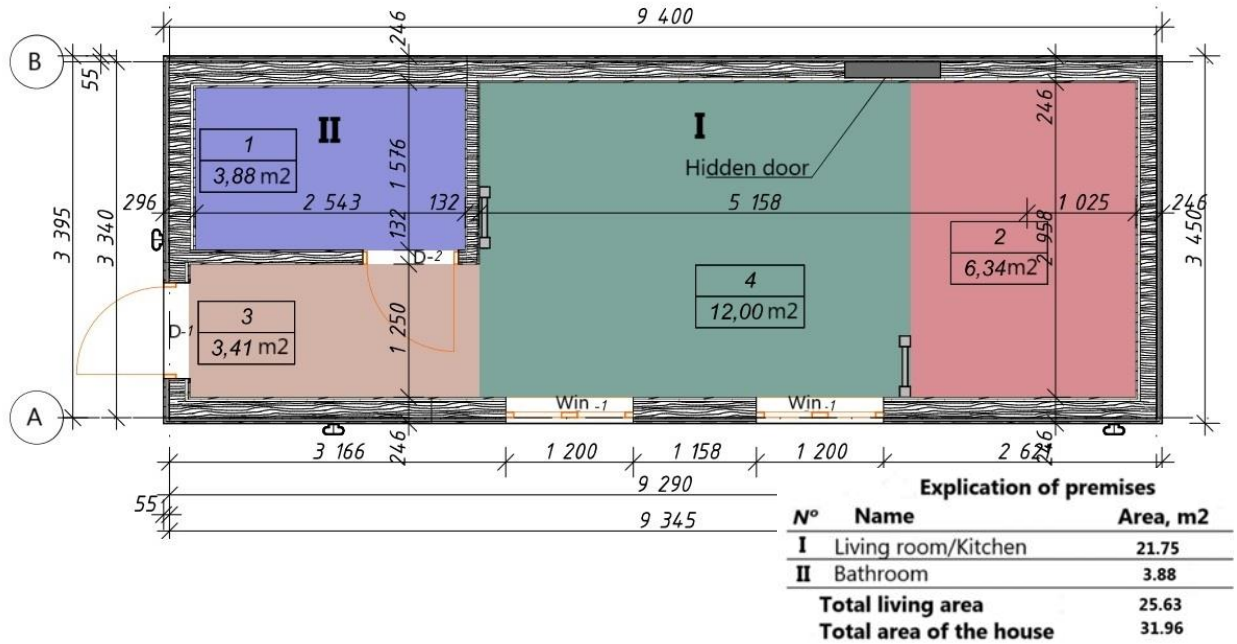


Рисунок 2.4 – План приміщень

Основою будинку є дерев'яний каркас з розмірами в плані 9400×3450 мм та товщиною стін, даху та підлоги до 300 мм. Будівля складається з двох приміщень: поєднаної вітальні з кухнею площею 21,75 м² та санвузла площею 3,88 м². Таким чином, житлова площа становить 25,63 м², а загальна площа будівлі — 31,96 м².

Як відомо, огороджувальні конструкції відіграють вирішальну роль у забезпеченні теплотехнічних характеристик будівель, особливо у випадку модульних споруд. У цьому контексті основою енергоефективності та сталості будинку є теплоізоляційні властивості огороджувальних елементів.

У досліджуваному прикладі як утеплювач використано екологічно чисту базальтову вату, яка забезпечує високий рівень теплоефективності завдяки низькому коефіцієнту теплопровідності – близько 0,038 Вт/м·К. Окрім цього, базальтова вата відома своєю негорючістю, паропроникністю та звукоізоляційними властивостями.

Огороджувальні конструкції виконані у вигляді «сендвіч-панелей», до складу яких входять: дерев'яний каркас, гідроізоляційна мембрана, OSB-плити, утеплювач, пароізоляційна плівка та внутрішнє декоративне оздоблення з деревини.

Покрівля складається з двох шарів руберойду, OSB-плит, дерев'яних обрешіток, гідроізоляційної мембрани, утеплених дерев'яних крокв, пароізоляції, додаткової обрешітки та внутрішнього дерев'яного оздоблення.

Підлога піднята над рівнем ґрунту на 250 мм і складається з дерев'яних обрешіток, двох шарів руберойду, OSB-плит, дерев'яних балок, шару утеплювача, OSB-плити та внутрішнього ПВХ-покриття.

Посилений дерев'яний каркас будівлі виготовлений із сухої каліброваної деревини з використанням OSB-3 плит, бітумного праймера, паро- та гідроізоляційних матеріалів, а також покрівельного матеріалу типу руберойд ЕПП 2.5 і ЕПП 4.0.

Конструктивні рішення огороджувальних елементів (стін, підлоги та покрівлі) наведено на рисунку 5. Слід зазначити, що товщина стін і покрівлі становить 250 мм, а товщина підлоги – 300 мм.

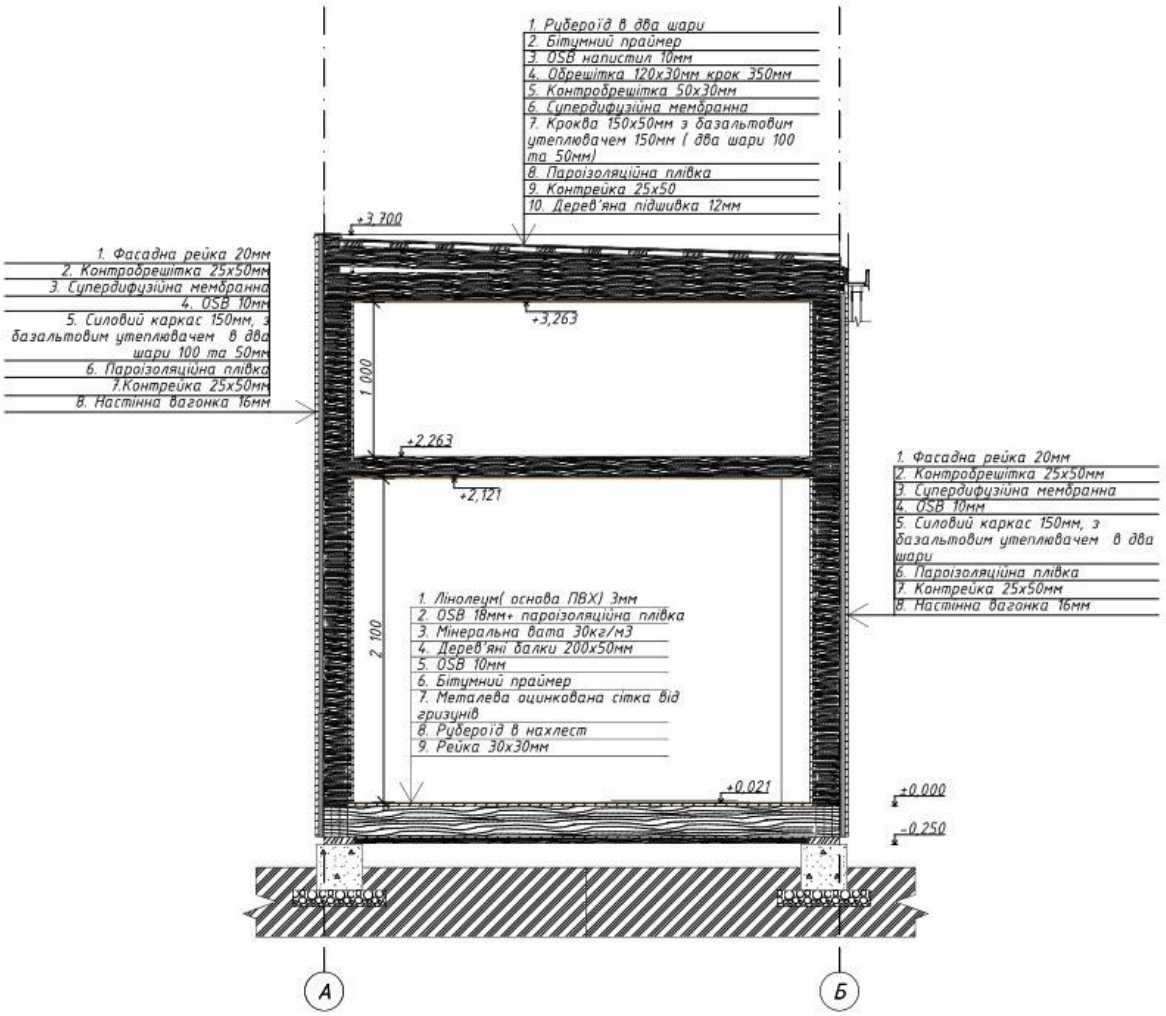


Рисунок 2.5 – Деталізована структура компонентів модульного будинку

На південному фасаді встановлено два вікна розмірами 1,2×1,2м з потрійним склопакетом типу 4-10-4-10-4 у профільній системі з трьома камерами, заповненими повітрям.

Опалення будинку здійснюється твердопаливним котлом потужністю 7 кВт, що легко дозволяє обігрівати будівлю загальною площею до 100 м².

Перед оцінюванням теплоефективності досліджуваної будівлі було проведено інфрачервону термографічну інспекцію з метою отримання інформації про наявні теплові мости та основні втрати тепла через огороджувальні конструкції будівлі.

3 Інфрачервоне термографічне обстеження

Обстеження було проведено 12 лютого 2025 року приблизно з 10:00 до 11:00 год, коли погода була похмура, температура навколишнього середовища становила близько -16 °C, швидкість вітру не перевищувала 3 м/с, а рівень вологості становив 60 %. Ймовірність опадів була близько 10 %.

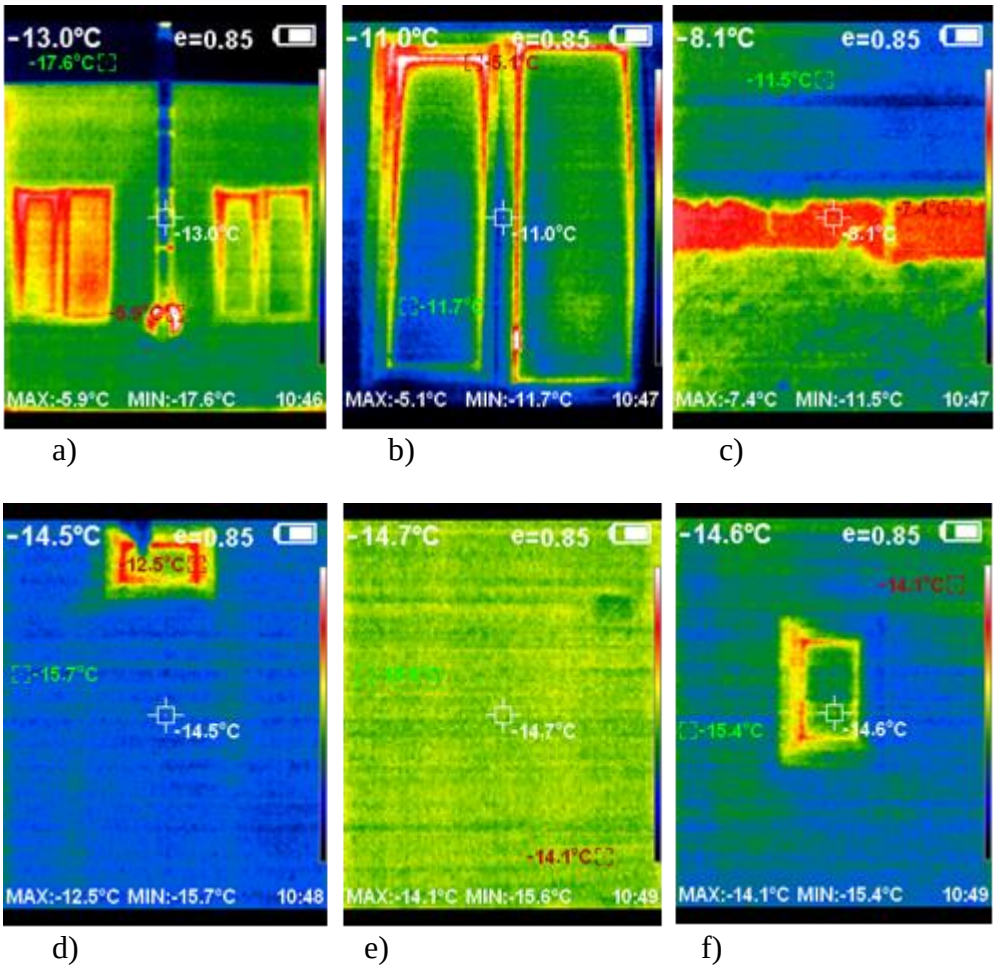
Слід зазначити, що температура всередині приміщення на момент обстеження підтримувалася на рівні 21 °C протягом понад 12 годин.

Обстеження теплових мостів проводилося за допомогою тепловізійної камери HTi.

Методологія обстеження включала такі етапи:

1. Перевірка загальних тепловтрат через стіни, вікна та дах.
2. Пошук ділянок із підвищеними тепловтратами у типових проблемних зонах.
3. Аналіз тепловіддачі через щілини у віконних стулках і дверних прорізах.
4. Оцінювання втрат тепла через системи вентиляції та кондиціонування (якщо вони наявні).

Результати інфрачервоної термографії наведено на рис. 6.



a) b) c)

d) e) f)

Рисунок 2.6 – Термографія південного фасаду (a), вікна (b), фундаменту (c), східного фасаду (d), західного фасаду (e) та північного фасаду (f) модульного будинку

Під час аналізу отриманих інфрачервоних термозображень досліджуваної будівлі можна помітити, що основними слабкими місцями, які негативно впливають на теплозахисні властивості огороджувальних конструкцій, є вікна.

Теплові мости зосереджені безпосередньо вздовж контуру віконної рами, що може свідчити як про низьку якість монтажу, так і про недостатню якість виготовлення самої рами або склопакету.

Видно, що на поверхні одного з вікон температура змінюється від –11 до –5 °С залежно від точки вимірювання, що вказує на неоднорідність теплового потоку, який проходить через вікно, а також на неоднорідність термічного опору його складових елементів.

З іншого боку, як уже зазначалося, заводське виготовлення конструкцій виключає виробничі помилки завдяки ретельному контролю якості на всіх етапах виробництва.

Іншим суттєвим чинником тепловтрат, який знижує енергоефективність досліджуваної будівлі, є фундамент.

Нагадаємо, що в даному випадку фундамент виконаний із блоків ФБС без зовнішнього теплоізоляційного шару.

Крім того, жодних витоків тепла через теплообмінник або систему кондиціонування типу “split” виявлено не було.

4 Розрахунок теплових параметрів

Розрахунок проведено з метою визначення відповідності фактичного стану теплоізоляції огороджувальних конструкцій нормативним вимогам. Зазвичай він починається з визначення теплотехнічних характеристик огороджувальних елементів будівлі.

Властивості матеріалів стін, підлоги та покрівлі наведено у зведеній таблиці 1.

Таблиця 2.1 – Теплофізичні властивості матеріалів

№ шару	Матеріал	Товщина δ, м	Теплопровідність λ, Вт/(м·К)	Посилання	Тепловий опір $м^2·К/Вт$
		Характеристики стіни			
1	Настінна вагонка	0.016	0.18	[4]	0.089
2	Повітряний прошарок	0.025	–	[4]	0.155
3	Пароізоляційна плівка	0,002	0,3	[4]	0.0066
4	Базальтова вата	0.15	0.038	[4]	3.947
5	OSB	0.01	0.13	[4]	0.077
6	Супердифузійна мембрана	0.002	0.23	[4]	0.0087
7	Повітряний прошарок	0.025	–	[4]	0.155
8	Фасадна рейка	0.02	0.18	[4]	0.111
		Характеристики підлоги			
1	Лінолеум (основа ПВХ)	0.003	0.33	[4]	0.009
2	OSB	0.010	0.13	[4]	0.077
3	Повітряний прошарок	0.03	–	[4]	0.155
4	Пароізоляційна плівка	0,002	0,3	[4]	0.006
5	Мінеральна вата	0.2	0.044	[4]	4.762
6	OSB	0.01	0.13	[4]	0.077
7	Повітряний прошарок	0.02	–	[4]	0.155
8	Дерев’яна рейка	0.03	0.18	[4]	0.167
9	Руберoїд	0.005	0.17	[4]	0.029

Таблиця 2.1 – Теплофізичні властивості матеріалів

№ шару	Матеріал	Товщина δ, м	Теплопровідність λ, Вт/(м·К)	Посилання	Тепловий опір м²·К/Вт
		Характеристики покрівлі			
1	Timber lining (pine)	0.012	0.18	[4]	0.067
2	Повітряний прошарок	0.02	–	[4]	0.155
3	Пароізоляційна плівка	0,001	0,3	[4]	0,003
4	Базальтова вата	0.15	0.038	[4]	3.947
5	Дифузійна мембрана	0.002	0.23	[4]	0,0086
6	Дерев'яна обрешітка	0.03	0.18	[4]	0.167
7	Повітряний прошарок	0.02	–	[4]	0.155
8	OSB	0.01	0.13	[4]	0.077
9	Руберoїд	0.005	0.17	[4]	0.029

Розрахунок огороджувальних конструкцій було виконано відповідно до моделей, наведених на рис. 7.

Термічний опір кожного окремого шару огороджувальних конструкцій, наведених у таблиці 1, визначався за такою формулою: [5]:

$$R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_i}; \quad (1)$$

де R_i – термічний опір i-го шару огороджувальної конструкції, (м²·К/Вт); δ_i – товщина i-го шару; λ_i – коефіцієнт теплопровідності i-го шару.

Термічний опір багатошарової огороджувальної конструкції (R_0) може бути визначений за формулою [5]:

$$R_0 = R_{\text{int}} + \sum_{i=1}^{n} R_i + R_{ext} = R_{\text{int}} + \sum_{i=1}^{n} \frac{\partial_i}{\lambda_i} + R_{ext}; \quad (2)$$

де R_{int} та R_{ext} – є опором теплопередачі на внутрішній та зовнішній поверхнях огороджувальної конструкції (м²·К)/Вт; ΣR_i – є сумою термічних опорів окремих шарів, (м²·К)/Вт.

Величину R_{int} та R_{ext} визначають за формулами [8]:

$$R_{\text{int}} = \frac{1}{\alpha_{\text{int}}}; R_{ext} = \frac{1}{\alpha_{ext}}; \quad (3)$$

де α_{int}, α_{ext} – коефіцієнти теплообміну біля внутрішньої та зовнішньої поверхонь огороджувальної конструкції.

Відповідно до [6], α_{int},= 8.7 та α_{ext} = 23.

Підставивши значення, отримані під час розрахунків за формулами (1) та (3) у формулу (2), можна отримати фактичні значення опору теплопередачі огороджувальних конструкцій, наведені в таблиці 2.

Нормативні значення опору теплопередачі для існуючих типів огороджувальних конструкцій визначаються відповідно до [6].

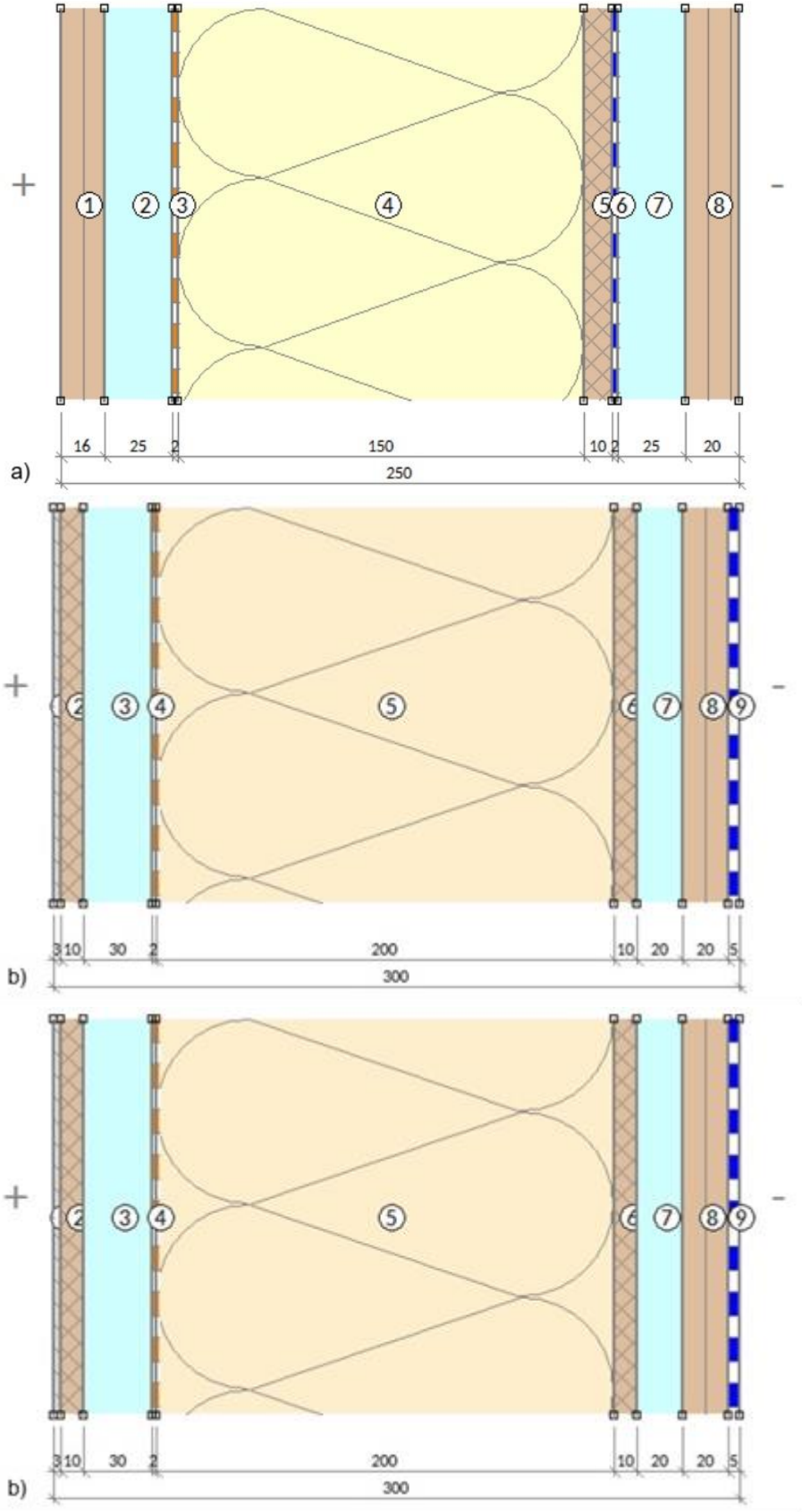


Рисунок 2.7 – Розрахункові моделі огороджуючих конструкцій: a) стіни; b) підлога; c) дах

Таблиця 2.2 – Порівняльна таблиця стандартних та фактичних значень термічного опору

Тип конструкції	Тепловий опір, м²·К/Вт	
	Фактичне значення	Стандартне значення
Зовнішні стіни	4.817	≥ 4
Підлога	5.596	≥5
Вікна	0.48	≥ 0.9
Суміщена огороджувальна конструкція, що межує із зовнішнім повітрям	4.76	≥7

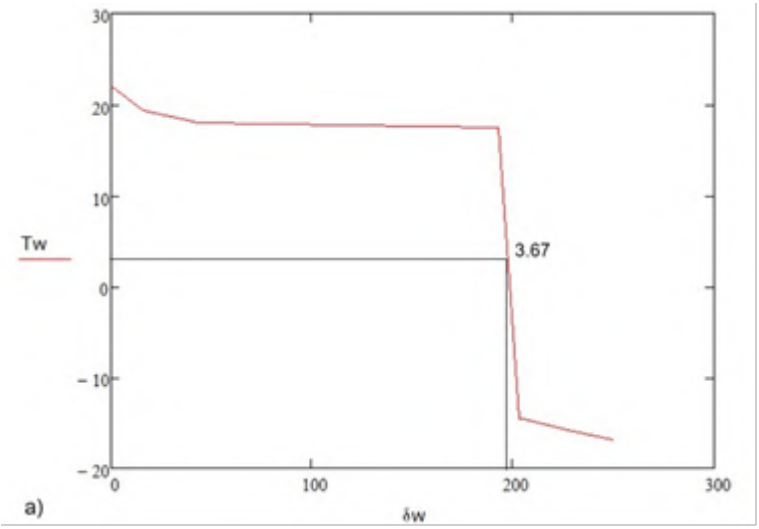
Аналізуючи отримані дані, можна зробити висновок, що вікна типу 4-10-4-10-4 не відповідають нормативним вимогам. Це також підтверджується результатами інфрачервоної термографії. Для підвищення енергоефективності вікон відповідно до нормативних значень слід встановити вікна типу 4i-10Ar-4-14Ar-4i з профільною системою, що має п’ять повітряних камер, або кращі аналоги. Згідно з проведеними розрахунками, така віконна система забезпечує термічний опір на рівні 0,95 (м²·К)/Вт при втратах енергії близько 0,178 кВт. Крім того, товщина теплоізоляції покрівлі 150 мм є недостатньою. Проведені розрахунки показали, що для досягнення нормативного значення товщину покрівельного утеплювача слід збільшити до 250 мм.

Розподіл температури через шари огороджувальних конструкцій розраховувався за такою формулою [7]:

$$\tau_n = t_{in} - \left(\frac{t_{in} - t_{ext}}{R_0} \right) \cdot \left(\frac{1}{\alpha_{\text{int}}} + R_1 + R_2 + R_3 + \ldots + R_n \right); \qquad (4)$$

де t_{in} – температура внутрішнього повітря, t_{int} = 22 °С; t_{ext} – розрахункова температура зовнішнього повітря, (відповідно до [6], t_{ext} = -23 °С); R_0 – загальний термічний опір огороджувальної конструкції; R_1, R_2, R_3, R_n – термічний опір *1го*, *2го*, *3ого* та *n* шару огороджувальної конструкції відповідно.

Розрахунковий розподіл температур серед шарів огороджувальних конструкцій наведено на рисунку 8.



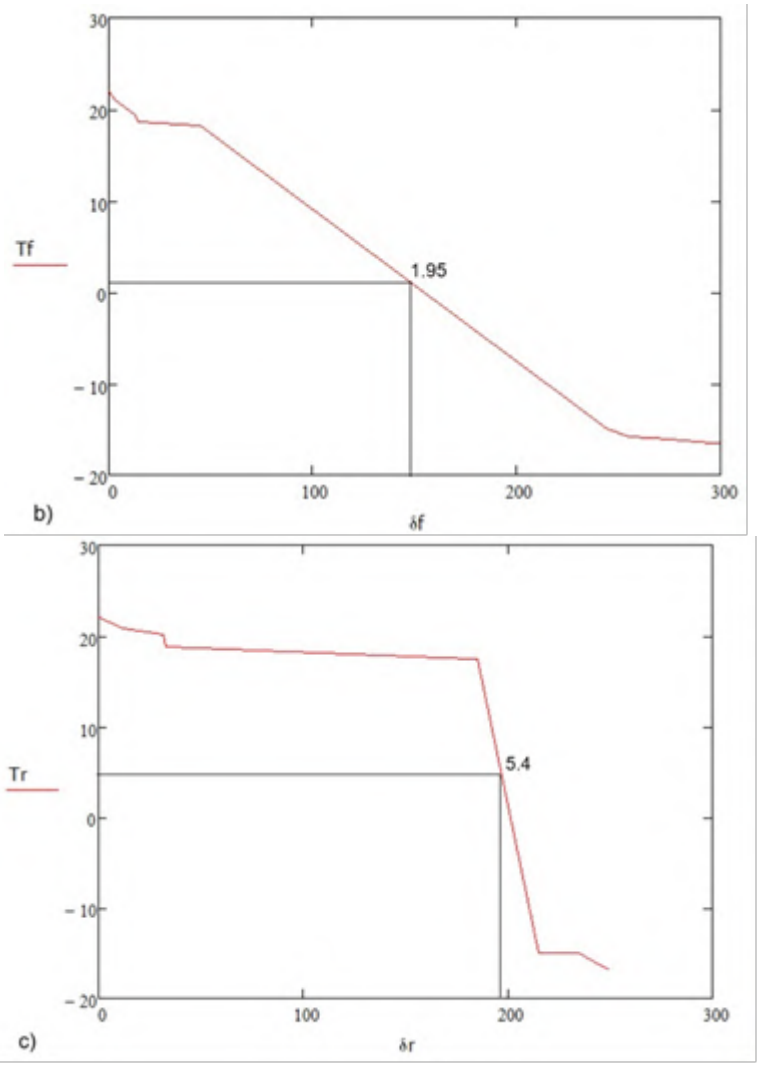


Рисунок 2.8 – Розрахований розподіл температури в огороджувальних елементах конструкції: a) стіни; b) підлога; c) дах

Аналізуючи отримані результати, слід зазначити, що розподіл температури між стінами та шарами даху має схожі характеристики, головним чином, через подібність їхньої конструкції. Середні температури огороджувальних конструкцій будівлі в період найхолоднішого місяця року коливаються біля позитивних значень, зокрема +3,67 °C для стін, +1,95 °C для підлоги та +5,4 °C для даху. Таким чином, огороджувальні конструкції будівлі забезпечують позитивні температури всередині огороджувальних конструкцій без суттєвих відхилень, навіть незважаючи на значні добові та сезонні коливання температури зовнішнього повітря. Теоретично це повинно виключати ймовірність утворення конденсату та, як наслідок, можливість розвитку теплових містків у майбутньому.

Втрати тепла через огороджувальні конструкції визначалися наступним чином [7]:

$$Q_{en} = \frac{F}{R_0}\left(t_{in} - t_{ext}\right)\cdot n\cdot\left(1+\sum\beta\right); \qquad (4)$$

де F – розрахункова площа огороджувальної конструкції, м^2; R_0 – тепловий опір огороджувальної конструкції, (м^2·К)/Вт; t_{in}, t_{ext} – внутрішня та зовнішня температури, °С; n – коефіцієнт, що враховує залежність положення зовнішньої поверхні огорожі відносно зовнішнього повітря, (n = *1*) [7]; $\Sigma\beta$ – сума додаткових втрат тепла як частка основних втрат, ($\Sigma\beta$ = *1*) [7].

Площа зовнішніх стін, а також їх просторова орієнтація наведені в таблиці 3.

Таблиця 2.3 – Площа зовнішніх стін

Type	Area by side orientation, m²								Total
	South	South-West	West	North-West	North	North-East	East	South-East	
Walls	31.18	–	12.76	–	34.78	–	12.6	–	91.32

Теплові втрати на нагрів повітря при вентиляції визначаються за формулою [8]:

$$Q_{va} = 0.28 \cdot L \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{in} - t_{ext}); \quad (5)$$

де L – об'єм повітрообміну, м^3/год. (для житлових будівель питома нормалізована витрата може бути прийнята як 3 м^3/год для 1 м^2 житлової площі); ρ – щільність повітря в будинку, кг/м^3; c – питома теплоємність повітря в приміщенні, с = 1.005 кДж/(кг ·°С) [8].

$$\rho = \frac{353}{273 \cdot t_{in}}; \quad (6)$$

Результати розрахунків за (4) та (5) наведені в таблиці 4.

Таблиця 2.4 – Розрахунок теплових втрат через огороджувальні конструкції та для підігріву вентиляційного повітря

Тип огородження	Характеристика огороджувальної конструкціцї				Теплові втрати, кВт	%, від загальних втрат
	Орієнтація	Розміри a, м	Розміри b, м	Площа F, м^2		
Стіни	Південь	8.62	3.7	31.9	0.582	13
	Захід	3.45	3.7	12.76	0.238	5
	Північ	9.4	3.7	34.78	0.649	14.6
	Схід	3.45	3.65	12.6	0.235	5.3
	Разом:	24.92	14.75	91.32	1.3	31.9
Підлога	–	8.99	3.04	27.3	0.404	9.9
Дах	–	8.99	3.04	27.3	0.515	12.6
Вікна	Ліве	1.2	1.2	1.44	0.343	7.245
	Праве	1.2	1.2	1.44	0.343	7.245
	Разом:	1.44	1.44	2.88	0.686	16.8
Загальні втрати через огородження:				148.8	2.9	71.3
Теплові втрати для підігріву вентиляційного повітря:					1.165	26.3
Загальні втрати теплоти:					**4.43**	

ВИСНОВКИ

Можна зробити висновок, що стіни є основним джерелом тепловтрат, на які припадає загальний баланс 31,9% від загальних тепловтрат будівлі. Збільшення товщини утеплення стіни до 200 мм призводить до зменшення відсотка тепловтрат до 27% від загальної кількості.

Втрати тепла на нагрівання вентиляційного повітря є другим джерелом тепловтрат будівлі, що становить 28,6% від загальних тепловтрат.

За існуючих характеристик світлопрозорих конструкцій з термічним опором у межах 0,48–0,52 ((м^2·К)/Вт), втрати тепла через вікна становлять 16,8%. Слід зазначити, що вікна типу 4-10-4-10-4 не відповідають нормативним вимогам і повинні бути замінені на більш енергоефективні. Отже, щоб відповідати нормативним вимогам щодо теплоізоляційних властивостей, вікна повинні мати конструкцію щонайменше 4i-10Ar-4-10Ar-4i, тобто вони повинні мати м'яке селективне покриття на зовнішньому та внутрішньому склі, а повітряні зазори повинні бути заповнені інертним газом, зокрема аргоном. Доведення теплового опору вікон до стандартних значень 0,95 ((м^2·К)/Вт) зменшує втрати тепла через вікна до 4,39%.

Підлога та стеля мають майже однакові коефіцієнти втрат тепла – 9,9% та 12,6% відповідно.

Посилання

1. Болотов, М., Болотов, Г., Прибитько, І., Корзаченко, М. (2024). Сталий розвиток виробництва бетону. Технічні науки та технології, (2(36)), 15-30. DOI: 10.25140/2411-5363-2024-2(36)-15-30
2. Blismas, N., C. Pasquire, and A. Gibb, Benefit evaluation for off-site production in construction. Construction Management and Economics, 2006. 24(2): p. 121-130.
3. QHome. QHome-26. URL: https://qhome.ua/project/qhome-26/ (дата звернення 07.03.2025)
4. Designing Buildings. Thermal conductivity. URL: https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Thermal_conductivity (дата звернення 28.04.2025)
5. International Organization for Standardization. Building Components and Building Elements – Thermal Resistance and Thermal – Calculation Methods, International Organization for Standardization; ISO 6946; International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland, 2017
6. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. Київ. 2022
7. Гайдук, О.В., Герлянд, Т.М., Кулалаєва, Н. В., Півторацька, Н. В., Пятничук, Т. В. (2021). Технологія утеплення фасадів будівель: підручник. Житомир: Полісся, 362. doi: 10.32835/978-617-8117-00-9/2021
8. Paraschiv, L., Paraschiv, S., Ion, V. (2017). Increasing the energy efficiency of buildings by thermal insulation. *Energy Procedia*. doi:10.1016/j.egypro.

3. ВІДКРИТЕ BIM-ОРІЄНТОВАНЕ КО-МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ ТА ОЦІНКИ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ (LCA): ДВА БУДИНКИ У ВЕЛИКІЙ БРИТАНІЇ ТА ЛЮКСЕМБУРЗІ

Р.Ю. Титаренко
Р.Є. Хміль
О.Р. Позняк

АНОТАЦІЯ

З огляду на складність і взаємозв'язок факторів в оцінюванні будівель, основним викликом є інтеграція кількох предметних моделей (наприклад, теплового комфорту, якості внутрішнього середовища та комфорту користувачів) для кращого формування стратегій підвищення ефективності будівель. Лише одне попереднє дослідження намагалося поєднати енергетичне моделювання будівель із оцінкою життєвого циклу (LCA); жодне з них не здійснювалося динамічно.

Динамічна відкрита BIM-орієнтована архітектура ко-моделювання забезпечує тісну інтеграцію EnergyPlus та Brightway2 без використання евристичних або спрощених інструментів. Вона надає результати, диференційовані за часом, і повністю побудована на відкритих технологіях.

Архітектура була апробована на двох нежитлових будівлях у Великій Британії та Люксембурзі, що підтвердило її придатність для фаз будівництва та експлуатації життєвого циклу.

Динамічне ко-моделювання в енергетичній та життєво-цикловій доменах дозволяє проводити більш цілісний і детальний аналіз ефективності будівлі.

1. ВСТУП

Враховуючи складні взаємозалежності, що впливають на ефективність будівель, інтеграція кількох предметних моделей (наприклад, теплового комфорту, якості внутрішнього середовища, задоволеності користувачів, акустики, візуального комфорту, запобігання засліпленню, естетики) є необхідною для всебічного оцінювання. Ко-моделювання, яке поєднує взаємопов'язані симуляції в єдину модель, пропонує перспективний підхід. Хоча оцінка життєвого циклу (LCA) дедалі частіше застосовується для оцінювання високоефективних будівель, більшість попередніх робіт розглядають енергетичне моделювання будівель (BES) та LCA окремо, не забезпечуючи інтегрованого підходу.

Відкрита BIM-орієнтована архітектура ко-моделювання забезпечує тісну інтеграцію BES та LCA, підтримуючи динамічні результати, диференційовані за часом. Було змодельовано дві нежитлові будівлі у Великій Британії та Люксембурзі протягом фаз будівництва та експлуатації, розглянувши по три сценарії для кожної. Такий підхід підвищує розуміння ефективності будівель, розв'язує проблеми взаємодії між інструментами BIM, BES і LCA та пропонує відтворювану методологію для фахівців.

Він оптимізує процес ко-моделювання, сприяє аналізу сценаріїв і підтримує досягнення екологічних цілей, залишаючись актуальним для проєктантів, менеджерів, дослідників і розробників політики в усьому світі.

2. ПЕРЕДУМОВИ

Нижче подано огляд основних понять, пов'язаних із BES, BIM-сумісністю та LCA.

Енергетичне моделювання будівель (BES) підтримує проєктувальників і забезпечує відповідність будівель нормативним вимогам, однак такі симуляції зазвичай виконуються поза межами BIM-середовища.

Інтеграція BES із BIM супроводжується численними проблемами сумісності (інтероперабельності).

У будівельній галузі оцінка життєвого циклу (LCA) застосовується для аналізу впливу на довкілля та споживання ресурсів.

Ці концепції є добре відомими та не включені до систематичного огляду, наведенного в наступному розділі [15].

2.1. Енергетичне моделювання будівель (BES)

Енергетичне моделювання будівель (BES), моделювання енергоспоживання будівель (BEM), теплове моделювання та моделювання ефективності будівель – усі ці підходи

передбачають створення цифрової моделі будівлі та її симулювання за допомогою енергетичного програмного забезпечення. Незважаючи на те, що BES використовується ще з 1960-х років, воно досі слабо інтегроване у ранні етапи проєктування, що часто обмежує впровадження енергоефективних стратегій.

Ручне введення даних про будівлю є трудомістким процесом, тому було розроблено підходи BIM-to-BEM, спрямовані на підвищення ефективності та покращення обміну даними.

Створення геометрії є найбільш затратним за часом етапом, після якого йдуть призначення конструкцій, внутрішніх теплових надходжень та графіків роботи. Інструменти BIM-to-BEM відрізняються рівнем автоматизації та збереженням цілісності даних, однак жоден з підходів поки не забезпечує повністю автоматизованого та безвтратного перетворення. Напівавтоматизовані інструменти, такі як ті, що розроблені O'Donnell та ін. [9], скорочують час і витрати, дозволяють швидко генерувати альтернативні проєктні рішення, підвищують точність симуляцій і створюють моделі з меншим енергоспоживанням. Ці переваги можна згрупувати у дві категорії: підвищення ефективності та технічні удосконалення.

Однак проблема інтероперабельності залишається суттєвим викликом. Дослідження Alsharif [1] та Elagiry [5] виокремлюють дві основні проблеми:

1) генерація геометрії IFC, яка часто потребує ручного виправлення;

2) збагачення даних, коли ключова інформація про ділянку, геометрію, матеріали, інженерні системи, внутрішні навантаження та експлуатацію будівлі є неповною, відсутньою або не може бути передана.

Ефективна BIM-орієнтована автоматизація BEM вважається критично важливою для подальшого розвитку практик проєктування та будівництва.

2.2. Інформаційне моделювання будівель (BIM)

Інформаційне моделювання будівель (BIM) представляє будівлі у вигляді 3D графічних моделей, що містять інформацію про геометрію, властивості, назви та функції компонентів. Будівельна галузь поступово переходить від традиційних 2D креслень до використання BIM. BIM широко застосовується як основа для підходів "BIM-to-BEM" та для оцінки життєвого циклу (LCA), при цьому IFC часто конвертують у gbXML для напівавтоматизованих робочих процесів.

Існує кілька затверджених інструментів для енергетичного моделювання, зокрема TAS, ApacheSim, EnergyPlus (E+) та SBEM. SBEM є спрощеним інструментом, тоді як інші – динамічні моделі симуляцій. Лише EnergyPlus є безкоштовним і відкритим програмним забезпеченням, що робить його найбільш привабливим для використання. E+ використовує формат файлів .idf, а стандартним графічним інтерфейсом є OpenStudio Application (OSA), яка працює з файлами .osm, що конвертуються у .idf під час симуляції.

2.3. Оцінка впливу на довкілля протягом життєвого циклу (LCA)

Оцінка впливу на довкілля протягом життєвого циклу (LCA) є широко застосовуваною методологією для оцінки екологічного впливу та використання ресурсів продуктів, послуг і процесів протягом усього їхнього життєвого циклу, керуючись стандартами ISO 14 000. Важливим аспектом є функціональна одиниця, яка дозволяє здійснювати змістовне порівняння між альтернативами, що виконують одну й ту саму функцію. LCA розглядає весь життєвий цикл, запобігаючи переміщенню навантаження та підтримуючи аналіз компромісів.

У будівельній галузі LCA є добре встановленою практикою і застосовується від окремих будівель до цілих районів. Вона може інформувати проєктні рішення на ранніх етапах і визначати стратегії експлуатації. Стандартними професійними інструментами для LCA є SimaPro, openLCA, GaBi та Umberto, а для просунутого програмування можливе використання Brightway2 (BW2). Високоякісні вихідні дані, зазвичай із баз даних на кшталт ecoinvent, є критично важливими.

Майбутні дослідження підкреслюють потенціал BIM та цифрових двійників для надання точних і детальних даних для LCA. У поєднанні з ко-моделюванням та даними з сенсорів це дозволяє точно моделювати взаємодію будівлі та її користувачів і інтегрувати результати у рамки LCA.

3. СУЧАСНІ ДОСЯГНЕННЯ У КО-МОДЕЛЮВАННІ ДЛЯ БУДІВЕЛЬНОЇ ГАЛУЗІ

Дослідження Yeung та ін. [15] представляє концепцію ко-моделювання. У ньому надано систематичний огляд сучасного стану досліджень у будівельній галузі, виділено існуючі підходи та їхній внесок. Огляд виконано відповідно до протоколу PRISMA [10], охоплюючи публікації з

березня 2017 до січня 2023 року. Журнальні та оглядові статті було отримано через Semantic Scholar за пошуковим запитом: (ALL=(co-simulation)) AND ALL=(buildings).

Початковий пошук повернув 392 записи. Після видалення нерецензованих статей, дублікатів та застосування критеріїв відбору, орієнтованих на дослідження, що поєднують різні предметні моделі будівель для опису взаємодій підсистем, до фінального огляду увійшло 21 дослідження. Використовувалося п’ять критеріїв виключення:

1) відсутність міждоменного поєднання;

2) відсутність підходу ко-моделювання;

3) відсутність розвитку сучасного стану досліджень;

4) дублікати або дуже схожі роботи;

5) дослідження, що лише порівнюють раніше розроблені підходи з традиційними методами.

Методологія систематичного огляду (згідно з [15], на основі PRISMA 2020 та діаграми потоку) наведена на рис. 3.1.

Ко-моделювання застосовується у багатьох галузях, таких як автомобільна, енергетична, HVAC, інтегральні схеми, морська та робототехніка [6], дозволяючи інтегрувати незалежно розроблені часткові рішення, які складно поєднати за допомогою монолітних інструментів [13]. Воно забезпечує одночасне моделювання підсистем через окремі симулятори, що працюють як «чорні скриньки». Переваги включають гнучкість інструментів, швидке тестування програмного забезпечення, розподілену командну роботу та багатомасштабний аналіз [14].

У будівельному моделюванні ко-моделювання поєднує підмоделі (теплову, повітряний потік, денне освітлення тощо) для відображення взаємодій під час роботи [13]. Стратегії поєднання можуть бути послідовними або двонаправленими, із слабким або сильним зворотним зв’язком, тоді як техніки включають зв’язки один-до-одного, middleware (наприклад, BCVTB, RabbitMQ) або стандартизовані інтерфейси, такі як FMI [2; 8]. Існує також поділ на внутрішнє та зовнішнє поєднання (наприклад, CFD всередині BES проти обміну даними між існуючими інструментами).

Будівлі отримують такі переваги, як моделювання поведінки користувачів, оцінка компромісів підсистем і симуляції оболонки в реальному часі за допомогою E+ або TRNSYS. Сучасні підходи також інтегрують машинне навчання для прогнозного управління [7; 12; 16].

Проте залишаються виклики: відсутність стандартизації та інтероперабельності між BES-інструментами, а також потреба у просунутому програмуванні та знаннях предметної області [13].

Деякі BES-інструменти підтримують інтеграцію з BIM через IFC, тоді як параметричні платформи, такі як Grasshopper і Ladybug Tools, дозволяють реалізувати слабо зв’язані ко-моделювання та проєктування, орієнтоване на ефективність [3]. Такі робочі процеси додатково можуть пов’язувати результати з витратами та викидами парникових газів протягом життєвого циклу будівлі [11].

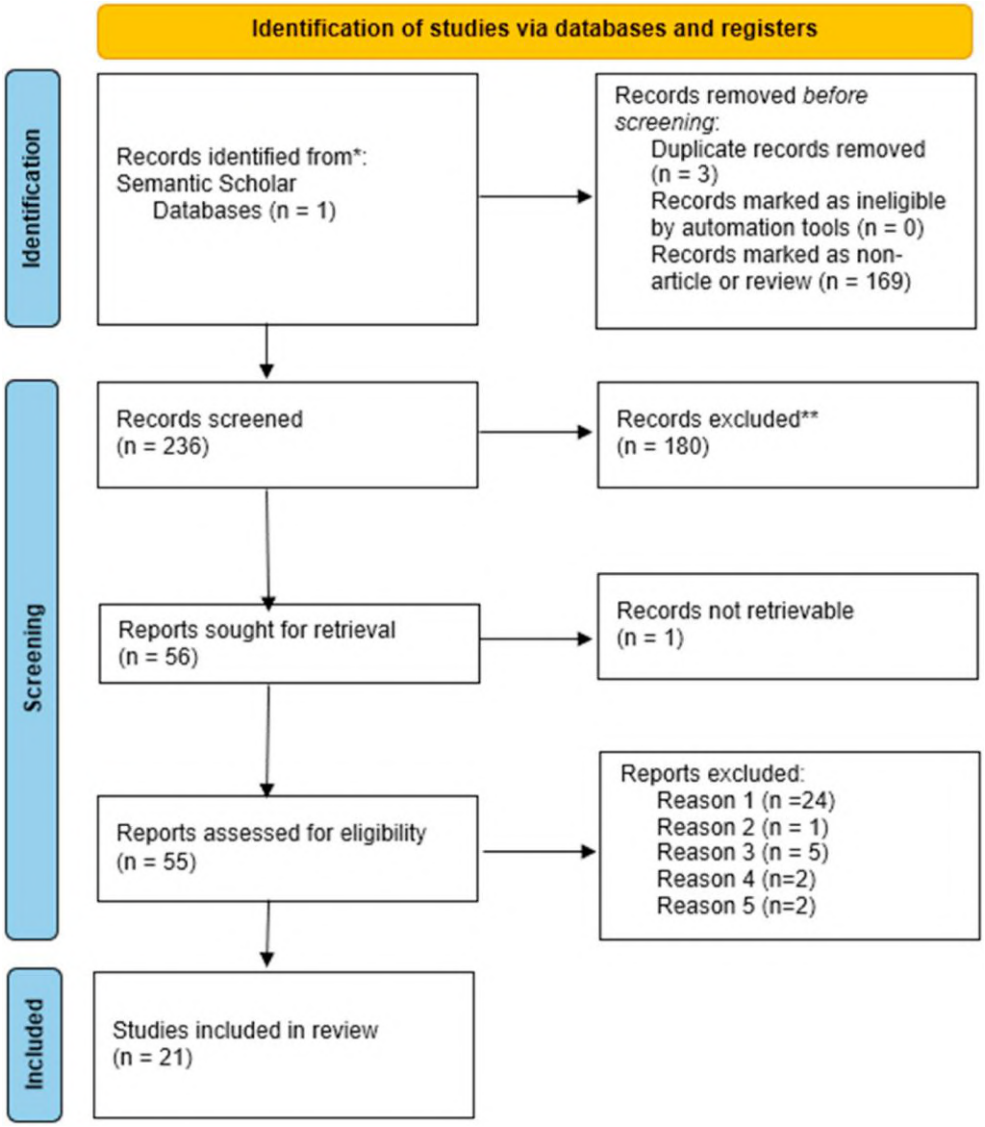


Рис. 3.1. Методологія систематичного огляду
(згідно з [15], на основі діаграми потоку PRISMA 2020)

Короткий огляд досліджень, згрупованих за типом поєднання доменів, наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1.

Енергія та клімат	З 2017 року дослідження поєднують моделі енергоспоживання будівель з доменами внутрішнього клімату, міського клімату та вентиляції, використовуючи TRNSYS, COMSOL, E+, ENVI-met, FLUENT та CONTAM. Застосування включає теплопередачу через стіни, зелені дахи та фасади, керування вентиляцією, аналіз реконструкції та денне освітлення. Результати показали переваги у зменшенні енергоспоживання, покращенні теплових умов та здоров'я користувачів.
Енергія та поведінка/здоров'я користувачів	Моделі на основі агентів, поєднані з E+ та Radiance, оцінювали вплив поведінки користувачів на енергоспоживання. Кілька досліджень були присвячені COVID-19, показавши, що оптимальне планування простору та стратегії вентиляції знижують ризик інфекцій і енергоспоживання.
Енергія та акустика	У 2021 році було інтегровано звукоізоляцію, енергоефективність та оптимізацію витрат для майже нульових енергетичних будинків.
Енергія та життєвий цикл	Cellura та ін. [4] розробили інструмент LCA, пов'язаний із TRNSYS, який було верифіковано на прикладі житлової будівлі в Італії. При цьому відзначалося відсутність повної інтеграції BES–LCA.
Поведінка користувачів та	У 2021 році BIM-орієнтоване ко-моделювання поєднало пожежну динаміку з моделлю поведінки користувачів на основі агентів.

пожежна безпека	Застосовано до школи в Монреалі для оцінки планів реконструкції з урахуванням часу евакуації, витрат та графіків.

Цей огляд підкреслює, що хоча інтеграція різних доменних моделей для відображення взаємодій між елементами будівлі є критичною для розвитку досліджень у будівельній галузі, бракує робіт, які б повністю поєднували BES та LCA, особливо з динамічними можливостями. Більшість існуючих досліджень розглядають ці підходи як окремі методології, і лише одне дослідження намагалося їх інтегрувати, проте жодне не реалізовувало це динамічно [4].

Своєю чергою, проаналізоване дослідження [15] представляє відкриту BIM-орієнтовану архітектуру ко-моделювання з можливістю отримання результатів, диференційованих за часом, для заповнення цієї прогалини. Це перша архітектура, яка забезпечує тісну інтеграцію E+ та Brightway2 без використання евристичних або спрощених інструментів. Крім того, це перший фреймворк BES–LCA для ко-моделювання, який надає динамічні результати LCA та реалізований повністю за допомогою відкритого програмного забезпечення (E+ та BW2).

4. ФРЕЙМВОРК КО-МОДЕЛЮВАННЯ

Нижче описано кожен компонент відкритої BIM-орієнтованої архітектури ко-моделювання, розробленої у дослідженні Yeung та ін. [15].

Рис. 3.2 демонструє діаграму варіанта використання, що показує, як проєктанти та менеджери можуть застосовувати цю архітектуру, тоді як рис. 3.3 ілюструє її загальну структуру.

У наступних розділах стрілки на рис. 3.3 позначаються як процеси.

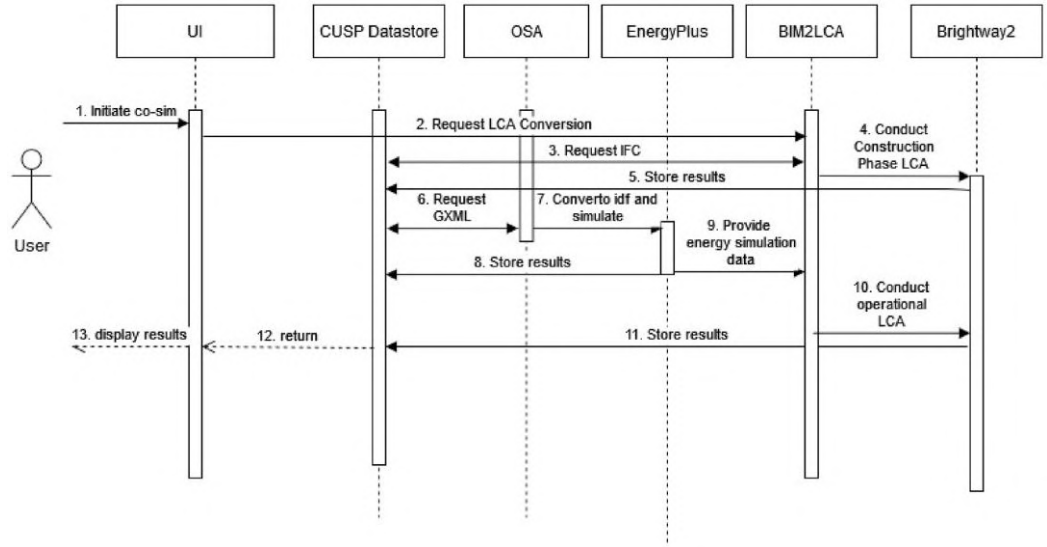


Рис. 3.2. Діаграма варіантів використання для ко-моделювання

4.1. Компонент 0: Інструменти створення BIM-моделей

Компонент 0 (див. рис. 3.3) охоплює перетворення у формат IFC та збагачення BIM-моделі (процес 0.1). Хоча це представлено як один процес, на схемі його подано у два етапи, щоб підкреслити сумісність із різними інструментами створення BIM-моделей (наприклад, Revit, ArchiCAD або будь-яким іншим програмним забезпеченням, що підтримує експорт у формат IFC*).

(*попередньою умовою є наявність будівельної моделі у форматі IFC).

Архітектура ко-моделювання встановлює специфічні вимоги до даних BIM. Оскільки BIM-моделі зазвичай створюються для цілей, відмінних від BES, потрібна додаткова деталізація:

1) усі приміщення повинні бути визначені як «простори» (spaces) із зазначенням їхніх типів (коридор, офіс, технічне приміщення, санвузол тощо);

2) необхідно задати теплові зони для окремих приміщень або груп;

3) потрібно визначити матеріали та конструкції.

Кроки 1 та 2 є типовими для добре розроблених BIM-моделей, тоді як крок 3 часто вимагає додаткового збагачення. Навіть якщо експорт IFC не повністю відображає геометрію, визначення просторів (spaces) вирішує цю проблему.

Автори розглядають ці вимоги як передумови, оскільки BIM-моделі зазвичай уже містять простори та властивості елементів перед початком моделювання BES, що дозволяє уникнути дублювання роботи на подальших етапах.

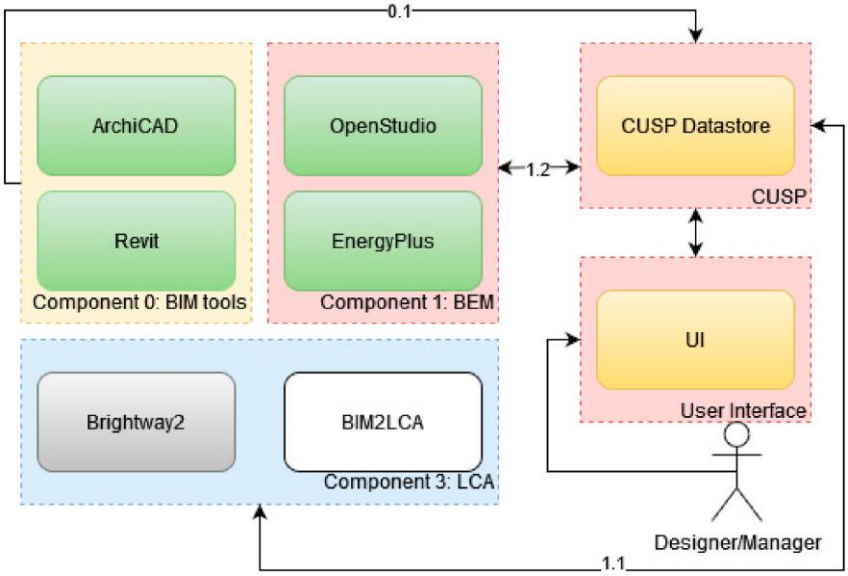


Рис. 3.3. Відкрита BIM-орієнтована архітектура ко-моделювання

4.2. Компонент 1: Обробка інтероперабельності

BIM до BEM. Збагачена BIM-модель у форматі IFC експортується у схему моделі, яка може бути імпортована в інструмент для енергетичного моделювання. Було розроблено автоматизований інструмент перекладу, який конвертує файл IFC у формат Green Building XML (gbXML) або HBjson (процес 1.2).

Збагачення BEM. Файл gbXML або HBjson імпортується (процес 1.2) у користувацький інтерфейс. Спершу з онлайн-сервісу отримується файл погоди і пов'язується з імпортованою моделлю gbXML/HBjson. На цьому етапі здійснюється збагачення BEM через користувацький інтерфейс, показаний на рис. 4.4, де вводяться інженерні системи будівлі та внутрішні навантаження.

4.3. Компонент 3: Оцінка життєвого циклу (LCA)

Збагачена BIM-модель у форматі IFC також використовується для розрахунків LCA (процес 1.1). Інструмент BIM2LCA аналізує файл IFC для вилучення даних про матеріали будівельних конструкцій та підтримує зв'язки між активностями (наприклад, замішування бетону) у проекті BW2 та назвами матеріалів. Матеріали отримуються з ecoinvent 3.8, а BIM2LCA включає стандартні методи з Environmental Footprint 3.0 – відомої рамки, підтримуваної Європейським спільним дослідницьким центром (JRC) з 2007 року (узагальнено в таблиці 4.2). Це забезпечує стандартний набір категорій впливу та індикаторів, хоча користувачі можуть налаштовувати методи та зв'язки.

BW2 виконує розрахунки LCA на основі вихідних даних BES (процес 2.2). Наприклад, CTUh оцінює вплив на токсичність для людини, а використання води виражається в «World eq. deprived» за методом AWARE, який враховує воду, доступну після потреб людини та екосистеми.

Користувачі взаємодіють із ко-моделюванням через інтерфейс, який надає доступ до результатів симуляції, дозволяє вносити зміни та запускати нові симуляції у E+ або виконувати LCA через BW2.

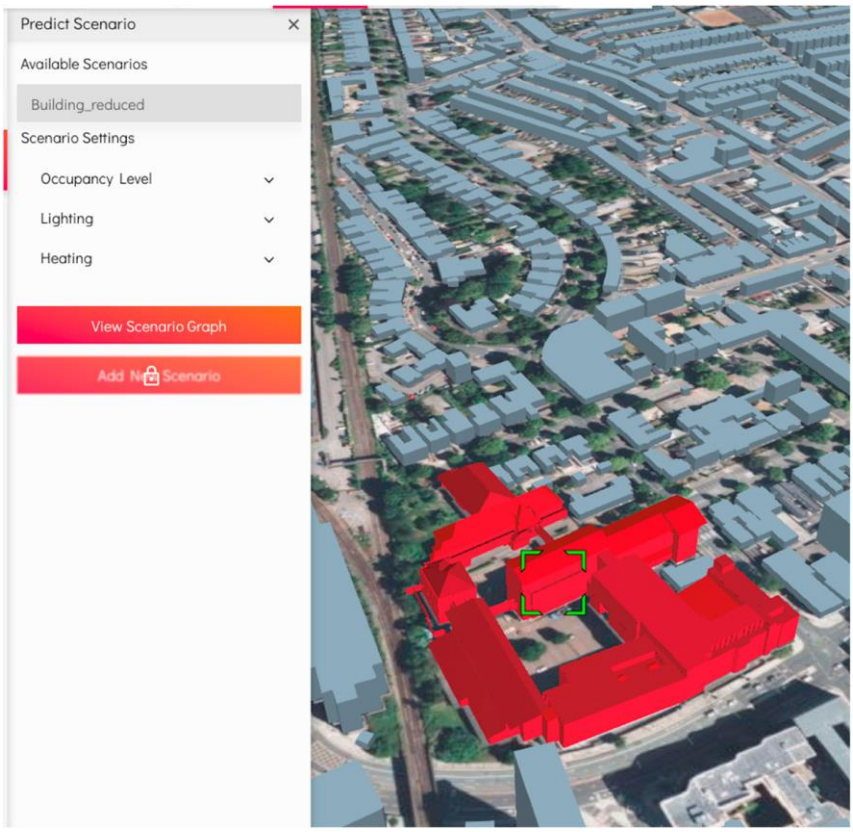


Рис. 3.4. Інтерфейс для взаємодії користувача

4.4. Виконання ко-моделювання та отримання результатів

Симуляція генерує файл .idf, який надсилається у семантичне сховище даних CUSP (процес 1.2) разом із даними про енергетичний мікс. Далі BIM2LCA виконує операційну LCA та зберігає результати ко-моделювання в CUSP. Ці результати для конструктивної та експлуатаційної фаз відображаються користувачу.

Інтегруючи BES всього будинку та LCA, ко-моделювання забезпечує диференційовані за часом дані про енергоспоживання, що дозволяє динамічно відображати експлуатаційну фазу будівлі. Наступні розділи демонструють валідацію кейс-досліджень, що ілюструє ці диференційовані за часом результати.

Таблиця 3.2.

Категорія впливу	**Індикатор**	**Одиниця**
Використання води	Потенціал обмеження води для користувача	$м^3$ world eq. deprived
Фотохімічне утворення окисників: здоров'я людини	Збільшення концентрації тропосферного озону	кг NMVOC eq
Утворення твердих частинок	Вплив на здоров'я людини через PM2.5	Випадки захворювань
Матеріальні ресурси: метали/мінерали	Вичерпання абіотичних ресурсів	кг Sb eq
Використання земель	Індекс якості ґрунту	Безрозмірний
Токсичність для людини: неканцерогенна	Порівняльна токсична одиниця для людини (CTUh)	CTUh
Токсичність для людини: канцерогенна	Порівняльна токсична одиниця для людини (CTUh)	CTUh
Евтрофікація: наземна	Кумулятивне перевищення (AE)	мол N eq
Евтрофікація: прісна вода	Кумулятивне перевищення (AE)	кг P eq
Енергетичні ресурси: невідновлювані	Вичерпання абіотичних ресурсів – викопне паливо (ADP-fossil)	МДж

Категорія впливу	Індикатор	Одиниця
Зміна клімату	Радіаційне форсування як глобальний потенціал потепління (GWP100)	кг CO_2 eq

5. ВАЛІДАЦІЯ ПРИКЛАДІВ

Фреймворк для ко-симуляції, описаний вище [15], був валідований на двох будівлях: університетській у Кардіффі, Великобританія (3 поверхи, 3 728 м²) та офісній у Люксембурзі (5 поверхів, 9 231 м²). Модель університету створювалася в Revit, офісу – в ArchiCAD, що підтверджує сумісність робочого процесу з обома форматами.

Рис. 6.1 і 6.2 показують IFC-моделі та відповідні імпортовані приміщення в OSA.

Для кожної будівлі було змодельовано три річні сценарії:

1) Building_Base – типова зайнятість та експлуатація;

2) Building_reduced – зайнятість та експлуатація на рівні 2020 року, вплив COVID-19;

3) Building_reduced 0 ht – як сценарій 2, але з зменшеним опаленням у невикористовуваних приміщеннях.

Ці сценарії дозволили порівняти переваги часово-диференційованої LCA зі статичними результатами, підкреслюючи вплив змін в експлуатації на екологічні показники. Споживання електроенергії та тепла моделювалося через інтерфейс CUSP з BW2, інтегруючи результати LCA у BES і повертаючи зміни назад у BIM, що забезпечує точніше відображення експлуатаційного впливу на довкілля.

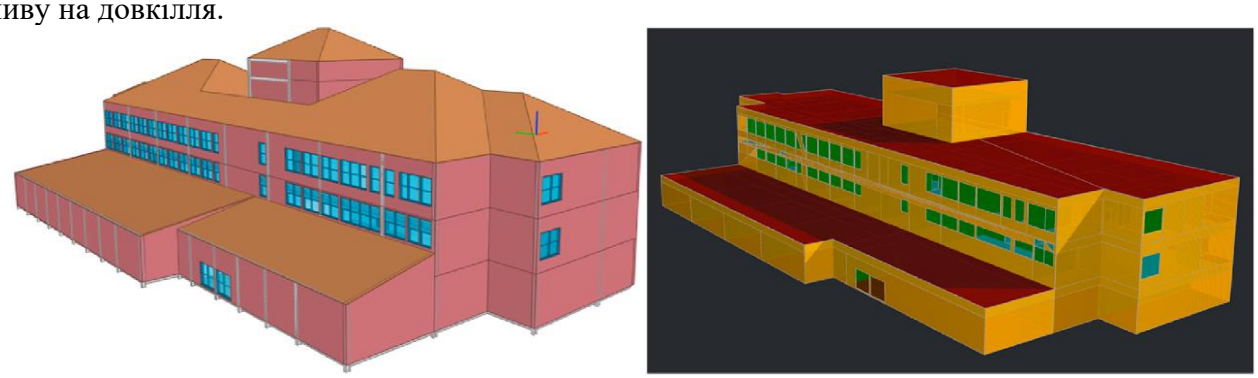


Рис. 6.1. IFC-модель університетської будівлі (зліва) та імпортовані приміщення в OSA (справа)

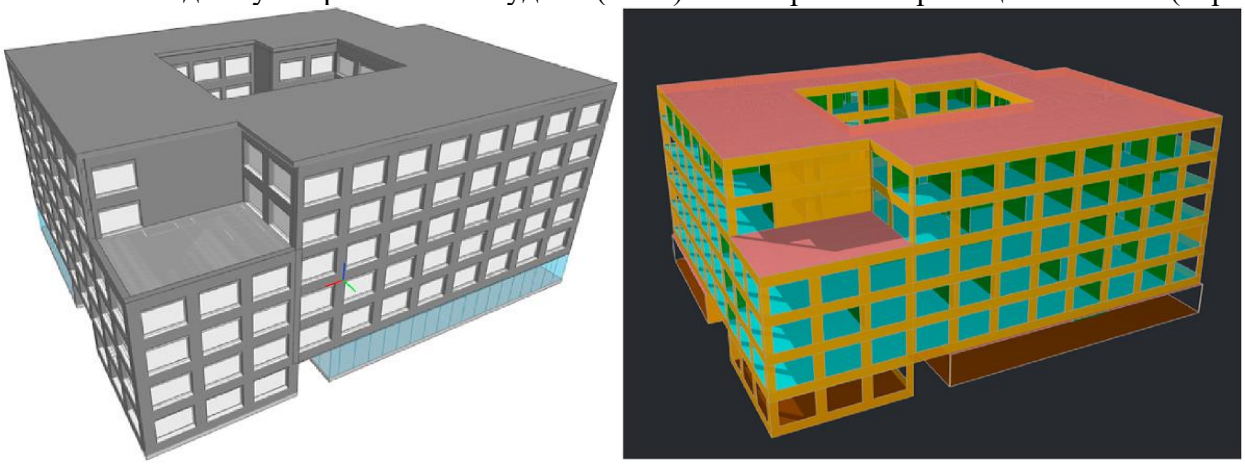


Рис. 6.2. IFC-модель офісної будівлі (зліва) та імпортовані приміщення в OSA (справа)

5.1. Приклад 1: Університетська будівля, Кардіфф

Рис. 6.3 показує результати LCA для матеріального сліду та енергоспоживання університетської будівлі, виходячи з 50-річного терміну служби. Потреба в матеріалах домінує у більшості категорій впливу, включно з використанням земель, водних ресурсів та впливом на здоров'я людей і екосистеми, що підкреслює важливість будівельних матеріалів. Водночас споживання опалення та електроенергії є значущим для енергетичних ресурсів та змін клімату, демонструючи компроміс між матеріалами та експлуатаційною енергією.

Рис. 6.4 деталізує екологічний вплив за типом матеріалу. Бетон має найбільший внесок (43–92 %) через високий слід та пріоритетність структурних елементів у BIM. Гіпс домінує у впливі на ресурси матеріалів (50 %), тоді як сталь забезпечує 14–36 % внеску у канцерогенні ефекти.

Рис. 6.5 показує вплив змін клімату за трьома сценаріями: Base, Reduced та Reduced_0 ht. Зменшення рівня зайнятості та експлуатації скоротило загальний екологічний вплив на 56 %, що зросло до 61 % при зменшенні потреби в опаленні. Через лінійну структуру LCA подібне зниження спостерігається у всіх категоріях впливу.

Графіки GWP на рис. 6.5 і 6.9 спрощені до щомісячних значень, тоді як повні дані з 10-хвилинним кроком доступні через інтерфейс користувача.

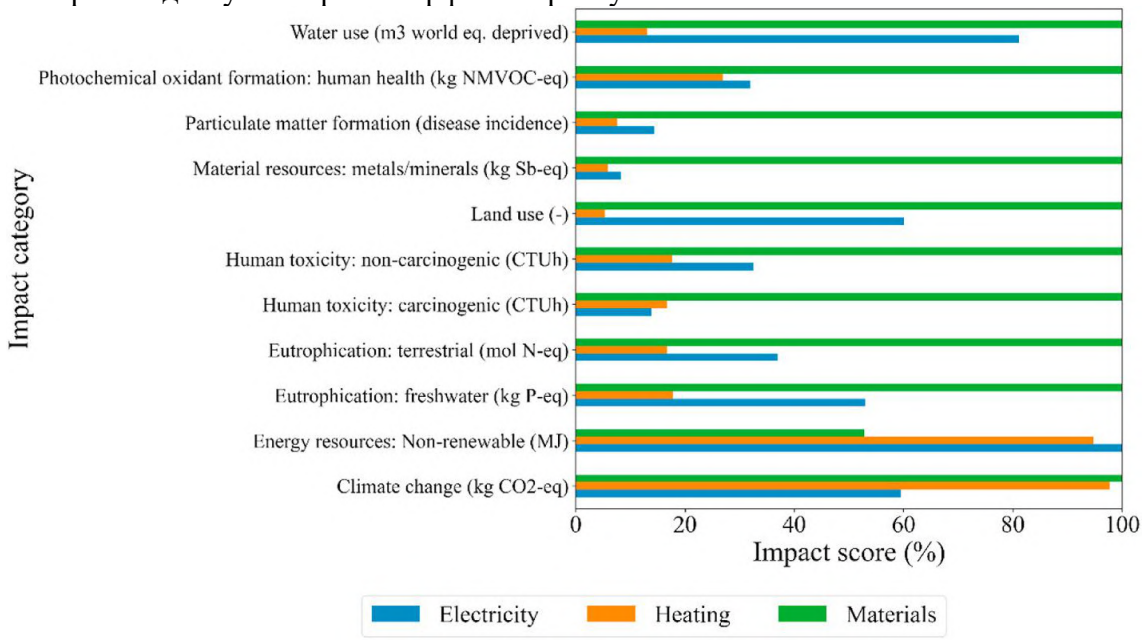


Рис. 6.3. Результати оцінки впливу на життєвий цикл університетської будівлі, що показують внесок електроенергії, опалення та матеріалів протягом оцінюваного періоду (результати нормалізовано відносно найбільшого значення в кожній категорії впливу)

Порівняння рис. 6.3–6.4 (статична LCA) з рис. 6.5–6.6 (часова диференційована LCA) підкреслює перевагу останньої: проєктувальники можуть бачити, які елементи мають найбільший вплив і коли саме, що дозволяє здійснювати цільові втручання. Наприклад, зміни в експлуатації мали великий вплив на GWP у травні, але мінімальний ефект у грудні.

Фреймворк також дозволяє регулювати попит на матеріали на основі сценаріїв через інтерфейс користувача (див. рис. 4.4), хоча це виходило за межі дослідження для вже побудованої будівлі. Така функціональність найбільш доречна на етапі проєктування нових об’єктів.

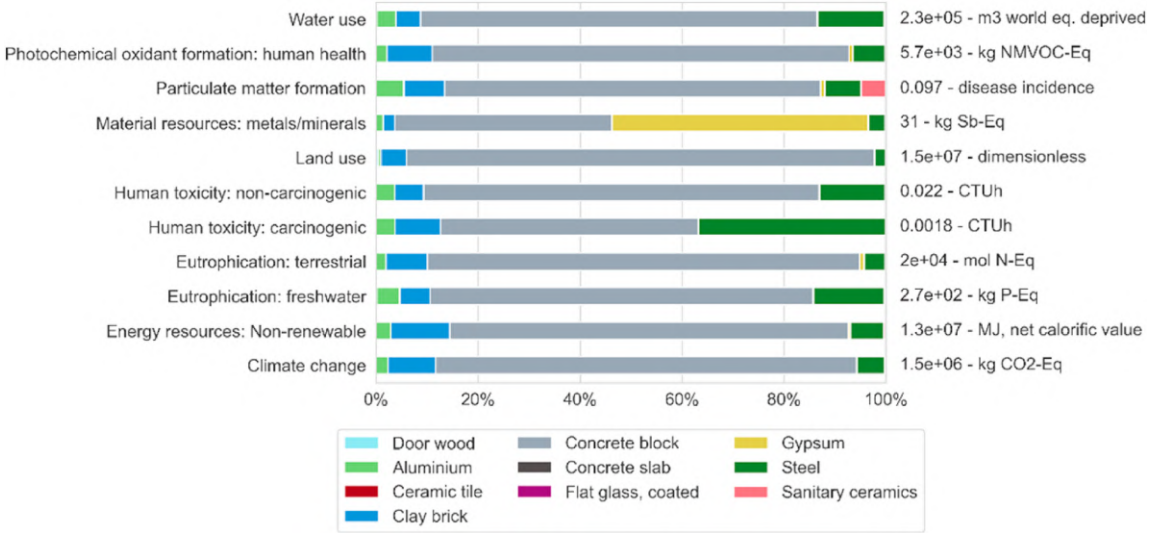


Рис. 6.4. Аналіз внеску різних типів матеріалів у загальний екологічний вплив, пов’язаний із потребою в будівельних матеріалах

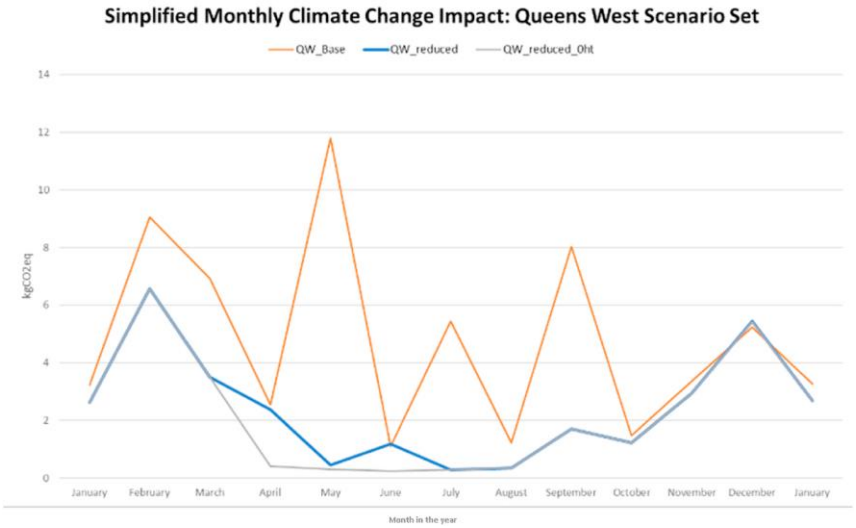


Рис. 6.5. Річні часові ряди результатів LCA для потенціалу глобального потепління університетської будівлі (кг CO_2-екв.) у трьох розглянутих сценаріях

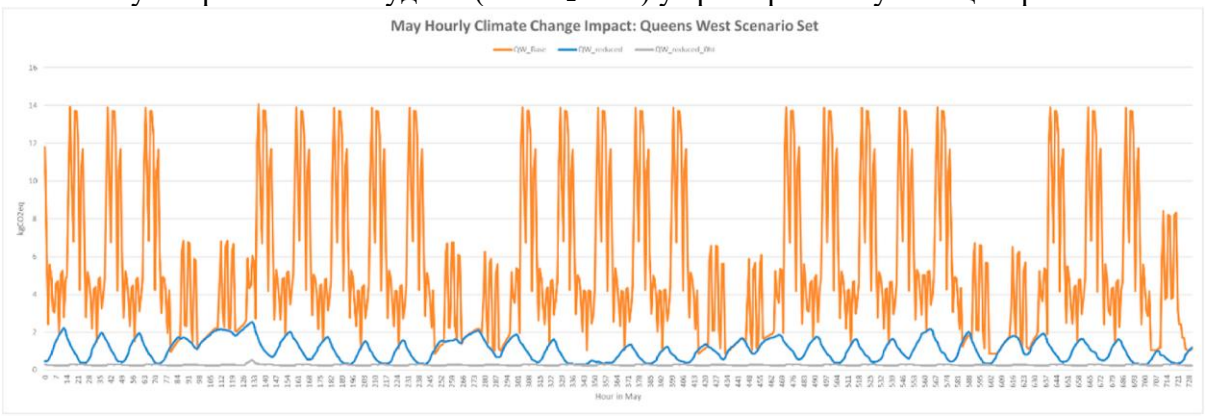


Рис. 6.6. Щогодинний вплив змін клімату на університетську будівлю в Кардіффі протягом травня

5.2. Приклад 2: Офісна будівля, Белваль

Рис. 6.7 показує результати LCA для матеріалів і споживання енергії будівлі. Як і в попередньому прикладі, матеріали домінують у більшості категорій впливу, тоді як енергоспоживання є більш значущим для змін клімату та використання енергетичних ресурсів.

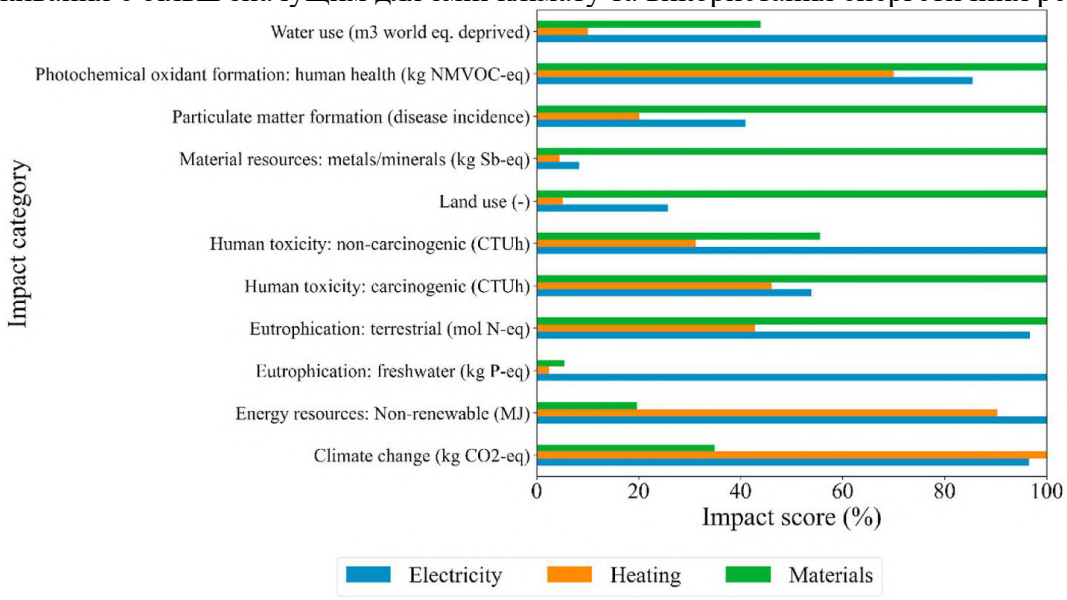


Рис. 6.7. Результати оцінки впливу на життєвий цикл офісної будівлі, що показують внесок електроенергії, опалення та матеріалів протягом оцінюваного періоду (результати нормалізовано відносно найбільшого значення в кожній категорії впливу)

Більше споживання електроенергії та тепла за даними BES підвищує їхній внесок у більшість категорій, зокрема у зміни клімату та використання води. Додавання додаткових

матеріалів у BIM, наприклад фанери (див. рис. 6.8), також збільшує вплив матеріалів у таких категоріях, як використання земельних ресурсів.

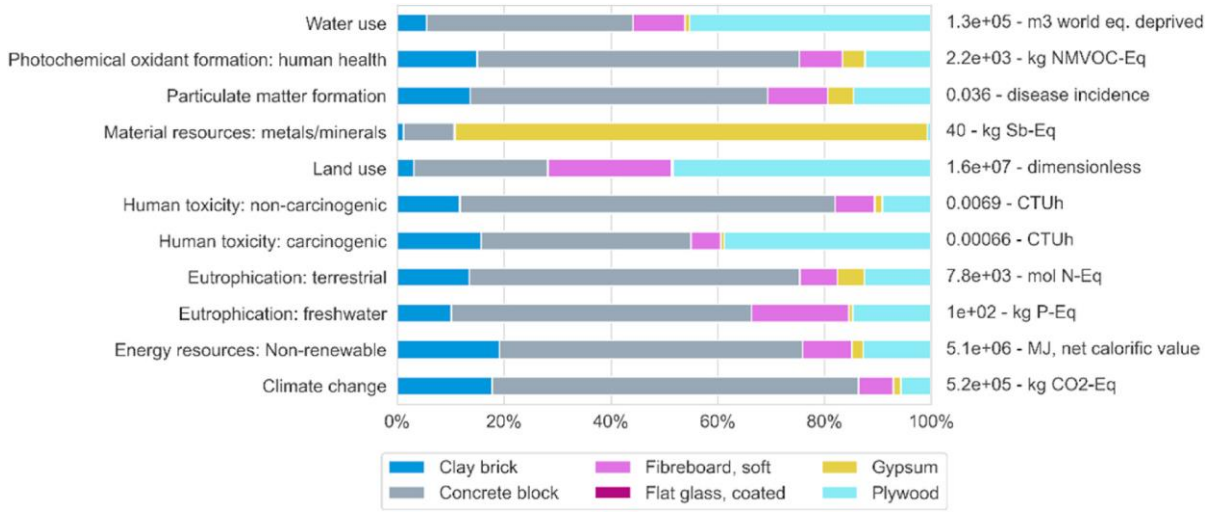


Рис. 6.8. Аналіз внеску різних типів матеріалів у загальний екологічний вплив, пов'язаний із потребою в будівельних матеріалах

На відміну від випадку з Кардіффом, сталь відсутня, що підкреслює залежність результатів від якості BIM-моделі.

Рис. 6.9 демонструє вплив змін клімату за трьома сценаріями. Зменшення рівня зайнятості та експлуатації в сценарії «Reduced» знизило загальний ефект на 72 %, а в сценарії «Reduced_0 ht» – до 74 % завдяки меншому попиту на опалення.

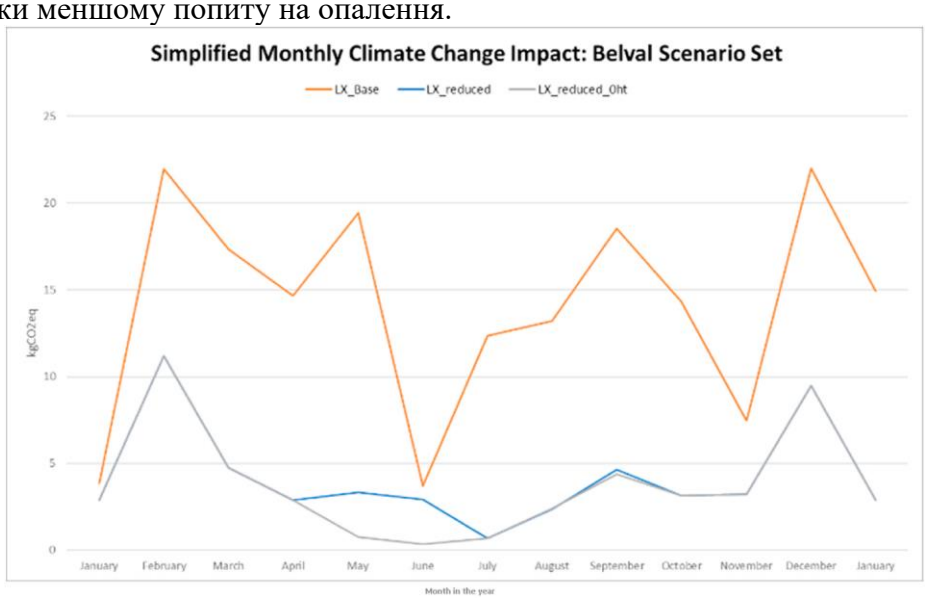


Рис. 6.9. Річні часові ряди результатів LCA для потенціалу глобального потепління офісної будівлі (кг CO_2-екв.) у трьох розглянутих сценаріях

Результати з часовою диференціацією (див. рис. 6.9, 6.10) показують, що втручання суттєво впливають у період з лютого по травень, меншою мірою – у червні та листопаді, тоді як деякі щоденні зміни мають мінімальний ефект.

Часова диференціація в LCA (оцінці життєвого циклу) дає змогу точніше оцінювати екологічні впливи в динаміці, визначати періоди, коли з'являються переваги, та допомагає проєктувальникам і менеджерам ефективніше спрямовувати заходи з удосконалення.

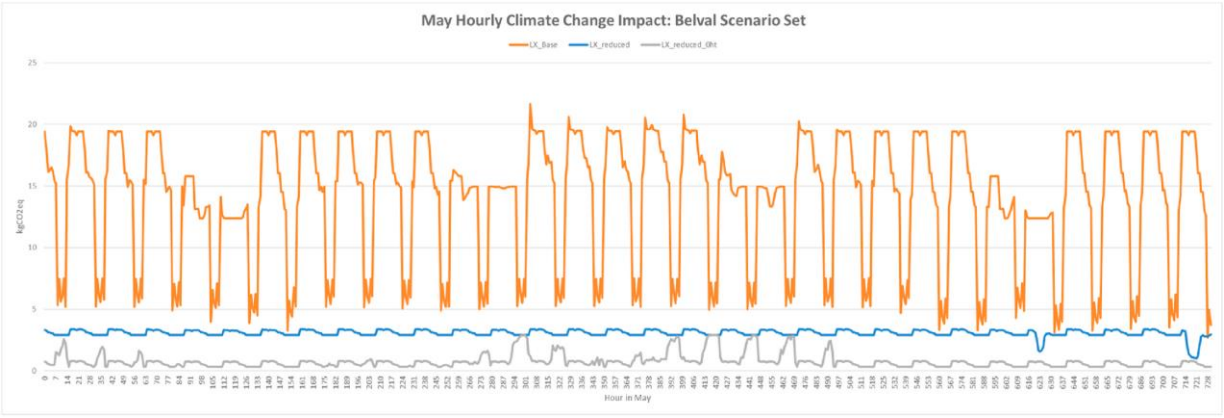


Рис. 6.10. Щогодинний вплив змін клімату на офісну будівлю в Белвалі протягом травня

6. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Yeung та ін. [15] розробили та верифікували відкриту BIM-орієнтовану архітектуру ко-моделювання, що інтегрує енергетичне моделювання будівель (BES, EnergyPlus – E+) та оцінку життєвого циклу (LCA, Brightway2 – BW2) для повних будівель на етапах будівництва та експлуатації. Це перший підхід, який забезпечує тісну інтеграцію цих інструментів, включно з національно схваленим ПЗ для BES у Великій Британії, дозволяючи створювати динамічний інвентар для електроенергії, опалення та води. Така інтеграція забезпечує часову диференціацію результатів, підвищуючи їхню точність і деталізацію в конкретні моменти часу.

Застосування ко-моделювання з етапу створення BIM-моделі зменшує трудомісткість, час і витрати, оскільки усуває необхідність повторного відтворення геометрії в різних програмних середовищах. Відкрита BIM-природа архітектури знижує бар'єри для впровадження, роблячи ко-моделювання BES–LCA доступним для окремих користувачів і малих організацій, а також стимулює ширше використання BIM. Найбільш трудомісткі завдання – створення геометрії, введення внутрішніх навантажень та розкладів – оптимізуються завдяки автоматизованому перетворенню та інтегрованому користувацькому інтерфейсу.

У дослідженні було протестовано три сценарії, що відображали використання будівель під час COVID-19, і підтверджено такі переваги, як швидке тестування, паралельне моделювання підсистем та масштабованість. Загалом, розроблена методологія забезпечує повторюваний і практичний фреймворк для динамічної LCA на основі BIM, зменшуючи час і витрати, підтримуючи аналіз сценаріїв та досягнення екологічних цілей на глобальному рівні для дослідників, проєктантів, менеджерів і політиків.

7. ОБМЕЖЕННЯ

Автори згаданого дослідження проаналізували обмеження розробленої архітектури ко-моделювання. Хоча було реалізовано «відкритий» підхід, він застосовувався до BIM-моделей, створених у пропрієтарних інструментах. Геометричні невідповідності усувалися шляхом збагачення моделей просторами, що було достатньо для контексту проєктування, оскільки точна візуальна геометрія не була основним завданням дослідження.

Інші завдання збагачення включали дані про розташування ділянки та властивості матеріалів через інтерфейс, тоді як внутрішні теплові навантаження, системи та графіки додавались під час створення OSM. Інтеграція EnergyPlus (E+) та Brightway2 (BW2) підтримувала динамічний інвентар споживання електрики, опалення та води, проте фонова обробка спиралася на статичні дані з ecoinvent.

Два кейс-дослідження для недомашніх будівель показали залежність підходу від якості BIM, підкреслюючи потребу в керівництві щодо мінімальних стандартів. На практиці більшість енергетичних моделей створюють у пропрієтарних інструментах, таких як IES, через підтримку постачальника, тому застосування цієї архітектури вимагає, щоб консалтингові компанії мали достатній внутрішній досвід, що не завжди доступно.

8. ВИСНОВКИ

1. Ключова прогалина полягає у відсутності тісно інтегрованих підходів ко-моделювання, що поєднують енергетичне моделювання будівель (BES) та оцінку життєвого циклу (LCA). Огляд досліджень показав, що лише одна попередня спроба такої інтеграції була здійснена, підкреслюючи необхідність подальшого розвитку. Центральне питання звучало так: як тісна інтеграція BES і LCA може підтримувати проєктування та управління будівлями?

2. Для дослідження цього питання була створена відкрита BIM-орієнтована архітектура ко-моделювання, що поєднує EnergyPlus (E+) та Brightway2 (BW2), і її було верифіковано на двох кейс-дослідженнях у Великій Британії та Люксембурзі. Кожна будівля оцінювалась у трьох сценаріях, охоплюючи як конструктивну, так і експлуатаційну фазу. Результати продемонстрували переваги диференційованої за часом LCA порівняно зі статичними оцінками: екологічні впливи можна відстежувати динамічно, що дозволяє отримати більш точну та деталізовану оцінку. Це дає змогу визначити, коли і де втручання дає найбільший ефект.

3. Розроблена методологія ко-моделювання BES–LCA просуває сучасний стан науки, забезпечуючи точний та повторюваний процес. Для практики вона служить практичним керівництвом для отримання динамічних результатів LCA безпосередньо з BIM, скорочуючи час і витрати та підтримуючи досягнення екологічних цілей. Архітектура, верифікована на європейських кейс-дослідженнях, має глобальну застосовність і може використовуватись дослідниками, практиками та політиками. На відміну від статичної LCA, яка лише визначає, які впливи відбуваються, цей підхід показує також коли вони є найзначнішими, забезпечуючи більш повне та цілісне розуміння поведінки будівлі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Alsharif R. A review on the challenges of BIM-based BEM automated application in AEC industry. 2019. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26102.55366.

2. Amissah P.K. Indoor air quality – combining air humidity with construction moisture. PhD thesis. Glasgow, United Kingdom: University of Strathclyde. 2005.

3. Cavalliere C, Habert G, Dell'Osso G.R, Hollberg A. Continuous BIM-based assessment of embodied environmental impacts throughout the design process. *J Clean Prod*. 2019. No. 3. P. 941–952. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.247.

4. Cellura M. et al. Modeling the energy and environmental life cycle of buildings: a co-simulation approach. *Renew Sustain Energy Rev*. 2017. No. 80. P. 733–742. https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.273.

5. Elagiry M. et al. Copy IFC to Building Energy Performance Simulation: a systematic review of the main adopted tools and approaches. 2020.

6. Gomes C. et al. Co-simulation: state of the art. 2017. arXiv, p.arXiv:1702.00686.

7. Le D.V. et al. Deep reinforcement learning for tropical air free-cooled data center control. *ACM Trans Sens Netw*. 2021. No. 17(3). P. 1–28. https://doi.org/10.1145/3439332.

8. Mirsadeghi M. Co-simulation of building energy simulation and computational fluid dynamics for whole-building heat, air and moisture engineering. PhD Thesis. The Netherlands: Eindhoven University of Technology. 2011.

9. O'Donnell J.T. et al. Transforming BIM to BEM: generation of building geometry for the NASA ames sustainability base BIM. Lawrence Berkeley National Lab. 2013. https://doi.org/10.2172/1168736.

10. Page M.J. et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. BMJ. 2021. 372. No. 71. https://doi.org/10.1136/bmj.n71.

11. Pang X. et al. A framework for simulation-based real-time whole building performance assessment. *Build Environ*. 2012. No. 54. P. 100–108. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.02.003.

12. Sadeghipour Roudsar M. et al. Ladybug: a parametric environmental plugin for grasshopper to help designers create an environmentally-conscious design. In: 13th conference of international building performance simulation association. France: Chamb´ery; 2013.

13. Taveres-Cachat E. et al. Ten questions concerning co-simulation for performance prediction of advanced building envelopes. *Building and Environment*. 2021. No. 191. 107570. https://doi.org/10.1016/j. buildenv.2020.107570.

14. Tr˘cka M. Co-simulation for performance prediction of innovative integrated mechanical energy systems in buildings. PhD Thesis. The Netherlands: Eindhoven University of Technology. 2008.

15. Yeung J. et al. An open building information modelling based co-simulation architecture to model building energy and environmental life cycle assessment: A case study on two buildings in the United Kingdom and Luxembourg. *Renew Sustain Ener Rev*. 2023. No. 183. 113419. https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113419.

16. Zhan S., Chong A. Data requirements and performance evaluation of model predictive control in buildings: a modeling perspective. *Renew Sustain Energy Rev*. 2021. No. 142. 110835. https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110835.

4. РОЗРОБКА 3D-МОДЕЛІ СИСТЕМ ФОРМУВАННЯ МІКРОКЛІМАТУ ГРОМАДСЬКИХ БУДІВЕЛЬ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ LINEAR

С. Г. Рибачов
А.С. Москвітіна

1. Розробка BIM моделі будівлі.

Проектування будівлі складний, трудомісткий і багатофакторний процес в якому задіяно значна кількість висококваліфікованих спеціалістів.

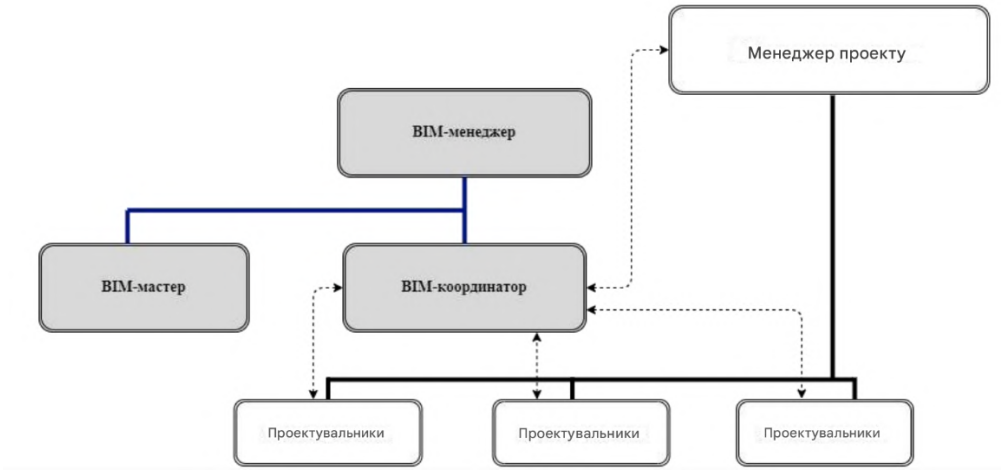


Рис. 4.1 – Схема взаємодії між учасниками BIM-проекту

Кожен, хто бере участь, повинен чітко уявляти свою задачу і обов'язки в організації. Назви посад регламентуються всередині організації, тому можуть траплятися і відмінності. Наприклад, відповідно до IT-індустрії розвиток спеціаліста від початківця до старшого спеціаліста включає кілька етапів: trainee (стажист) - отримання базових знань та навичок під керівництвом досвідчених колег; junior спеціаліст - виконання простих завдань самостійно, поступове набуття досвіду; middle спеціаліст - самостійне виконання складніших завдань, початок участі у великих проєктах; senior - повна відповідальність за великі проєкти, наставництво молодших колег, прийняття стратегічних рішень.

Співробітники, що виконують безпосередньо проектні роботи також можуть називатися по-різному, проте найчастіше використовуються шифри розділів документації як суфікс до посади інженера як то проектувальник ОВ, ВК чи АР або ж на англійській мові HVAC, WSS, AR тощо.

1.1 Етапи розробки цифрової інформаційної моделі (BIM)

У даній роботі розглядаються особливості розробки розділу ОВ або ж HVAC. Слід розглянути такі важливі етапи всього робочого процесу, виходячи з прикладу проекту (рис. 4.2).

Архітектор отримує технічне завдання, створює базову модель будівлі, виконує попередню перевірку свого розділу на грубі помилки. Потім модель передається у наступні відділи: архітектурно-будівельний, сантехнічний і т.д. Інженери -проектувальники розробляють свої розділи, використовуючи за основу базову модель споруди, а також за результатами наповнення споруди своїми системами проводять перевірку.

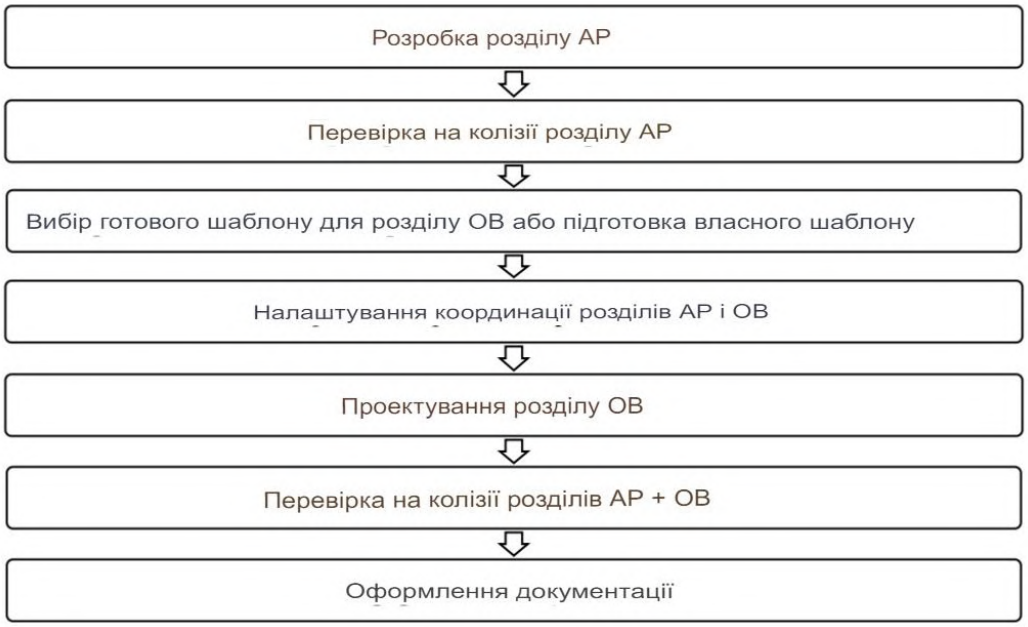


Рис. 4.2 – Основні етапи роботи над проектом

Валідація моделі

Застосування технологій інформаційного моделювання забезпечує ряд переваги для розробників інженерних систем:

- виконання спільної роботи дозволяє розробляти єдиний проект в середовищі загальних даних відповідними спеціалістами навіть при віддаленому доступі;
- можливість моніторингу елементів суміжних розділів та отримання повідомлень про внесені в них зміни;
- наявність інструментів автоматизованого маркування моделей об'єктів;
- автоматичне формування специфікацій елементів системи та обладнання.

Зведена цифрова модель - це цифрова інформаційна модель об'єкта, що складається з окремих цифрових інформаційних моделей та інженерних цифрових моделей місцевості (наприклад, з різних розділів або частин об'єкта будівництва), об'єднаних таким чином, що внесення змін до однієї моделі не призводить до зміни в інших. Основне призначення зведеної моделі – підтримка процесів узгодження технічних рішень та виявлення колізій.

Після складання зведеної моделі з розроблених версій розділів необхідно знову провести перевірку, на основі якої формується звіт із зазначенням усіх зауважень та порушень. Внесення виправлень та змін у визначені терміни доручається інженерам із відповідного розділу, і лише коли всі недоліки узгоджені та виправлені виконують оформлення документації та передачу її на майданчик.

У організаціях із великим штатом співробітників проектувальники різних відділів можуть контактувати безпосередньо друг з одним, а сполучною ланкою є BIM-координатор (BIM координатор). В стандарті ДСТУ ISO/TS 12911:2020 прописані його професійні дії (рис. 4.3).

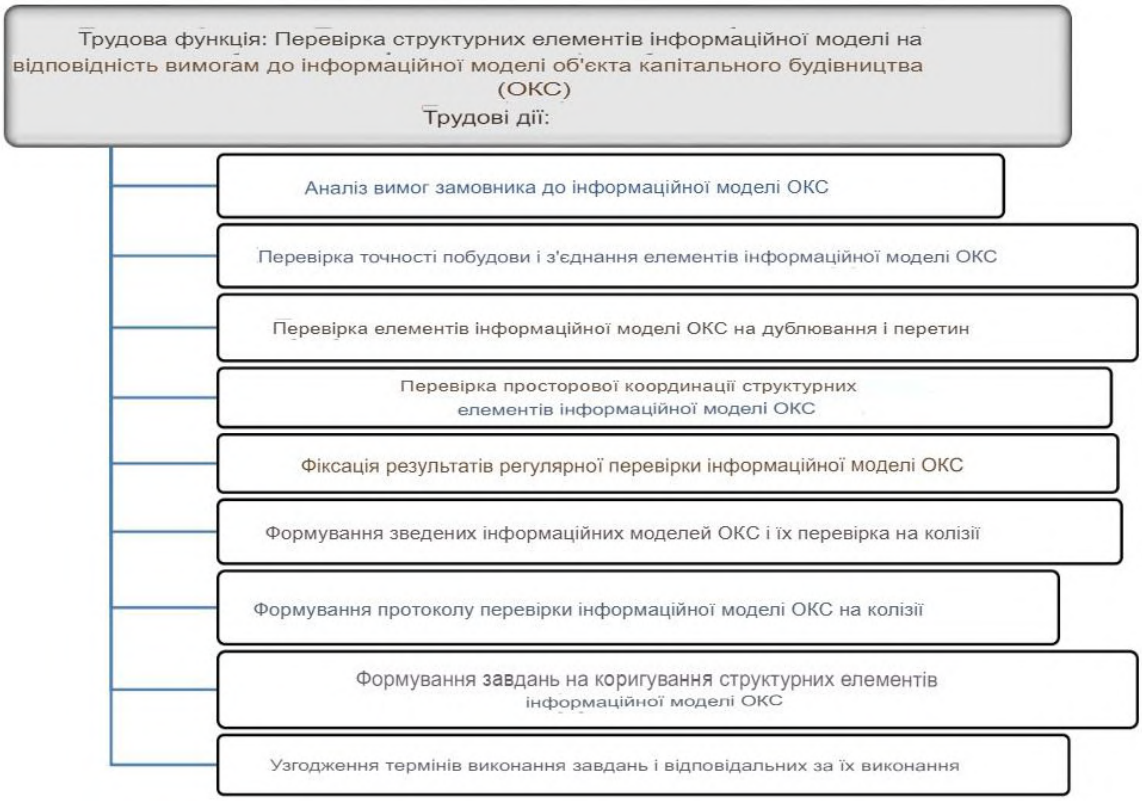


Рис. 4.3 – Обов'язки BIM координатора

Термін «колізія», запозичений з іноземних мов, має широке застосування в різних галузях. У контексті будівельного проектування він означає помилку, яка виникає через невідповідність або заявку між суміжними частинами одного проекту, а також унаслідок перетину меж проектування окремих об’єктів.

Виявлення та усунення таких колізій ще на стадії розробки проекту за умов належного контролю дозволяє зменшити обсяг подальших доопрацювань і трудових ресурсів.

Однією з цих головних причин з яких з’являються колізії у процесі проектування це залучення великих кількостей спеціалістів, що, як правило, працюють окремо або дистанційно. Це включає координацію між учасниками та на основі того, що виявлення помилок і перевірку моделі реалізується більше часу, ніж на самому етапі проектування. Зі зростанням кількості залучених фахівців також досягається ймовірність виникнення неточностей та помилок у проекті.

Виходячи із практики виділяють три основні групи колізій:

- жорсткі – фізичний перетин елементів в моделі;

- м'які - елементи геометрії моделі один з одним не з'єднані проте навколишній простір і зони нормованих величин для експлуатації перетинаються;

- просторово-часові - перетин елементів з урахуванням фактору часу, що оцінюється на основі календарного чи сітьового графіків.

Для розробки проекту був використаний програмний комплекс Autodesk Revit, який на даний момент є найбільш популярним у середовищі проектування на основі технологій інформаційного моделювання. Для проведення процесу перевірки на перетини можна використовувати різне програмне забезпечення, наприклад, фізичне перетинання елементів можна проконтролювати вбудованими інструментами Autodesk Revit

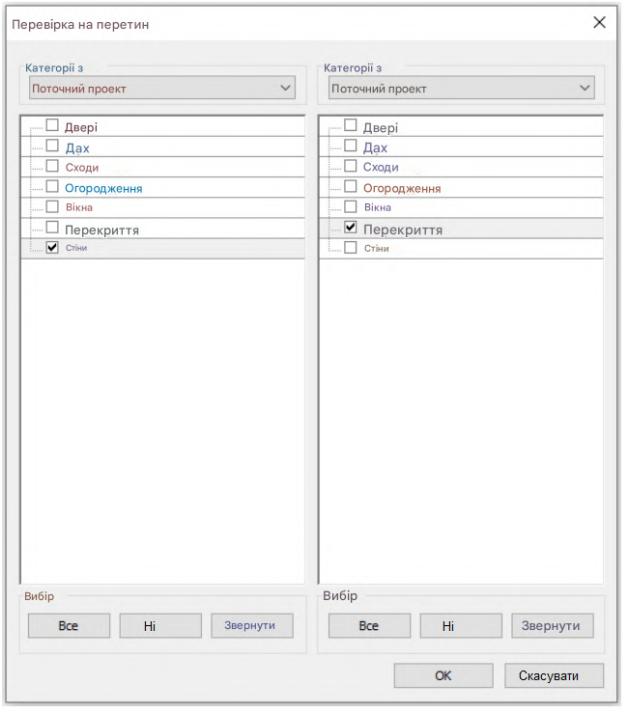


Рис 4.4 - Налаштування параметрів перевірки перетинів засобами Autodesk Revit

Результатом перевірки буде діалогове вікно із повідомленням. У разі виявлення помилок вони будуть перераховані у вигляді активного списку, в якому можна знайти та переглянути кожну ситуацію (рис 4.5).

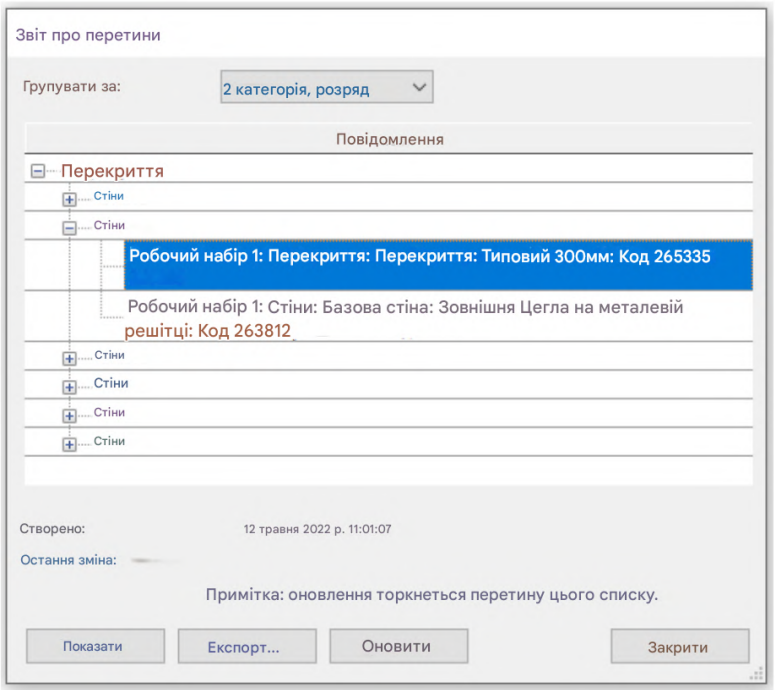


Рис 4.5 – Звіт про перевірку

Проте такий варіант не завжди зручний у використанні. Коли потрібно перевіряти зведену модель, найчастіше перевіряють в іншій програмі. Наприклад, в Autodesk Naviworks,, в якій і виконують збірку моделі.

1.2 Набір для спільної роботи

Робочий процес, в якому відбувається взаємодія між учасниками проекту, називається спільною роботою. Цей підхід може вирішити загальну проблему або роботу одного фахівця, який буде використовуватися в роботі іншого.

При спільній роботі важливо підтримувати наявність пов'язаних мереж в робочому файлі для одноразової збірки з вже розміщеними в проекті елементами. Для підключення файлів використовуйте інструмент «**Менеджер посилань**» на вкладці «**Управління**» (рис. 4.6).

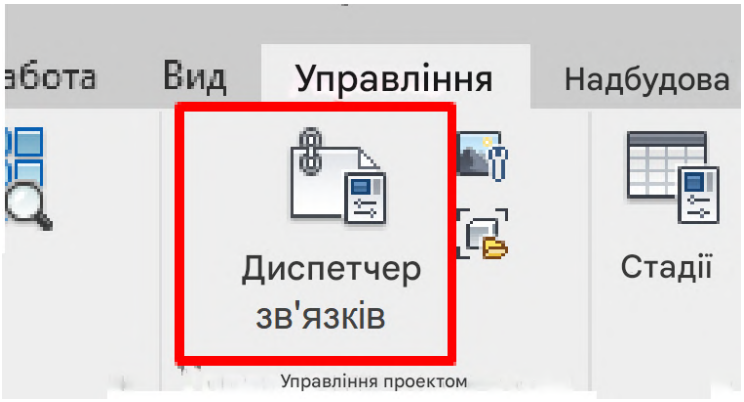


Рис.4.6 – Інструмент Диспетчер зв'язків

У діалоговому вікні будуть відображатися вже приєднані файли, підключення документа здійснюється за допомогою кнопки **Додати** (рис. 4.7).

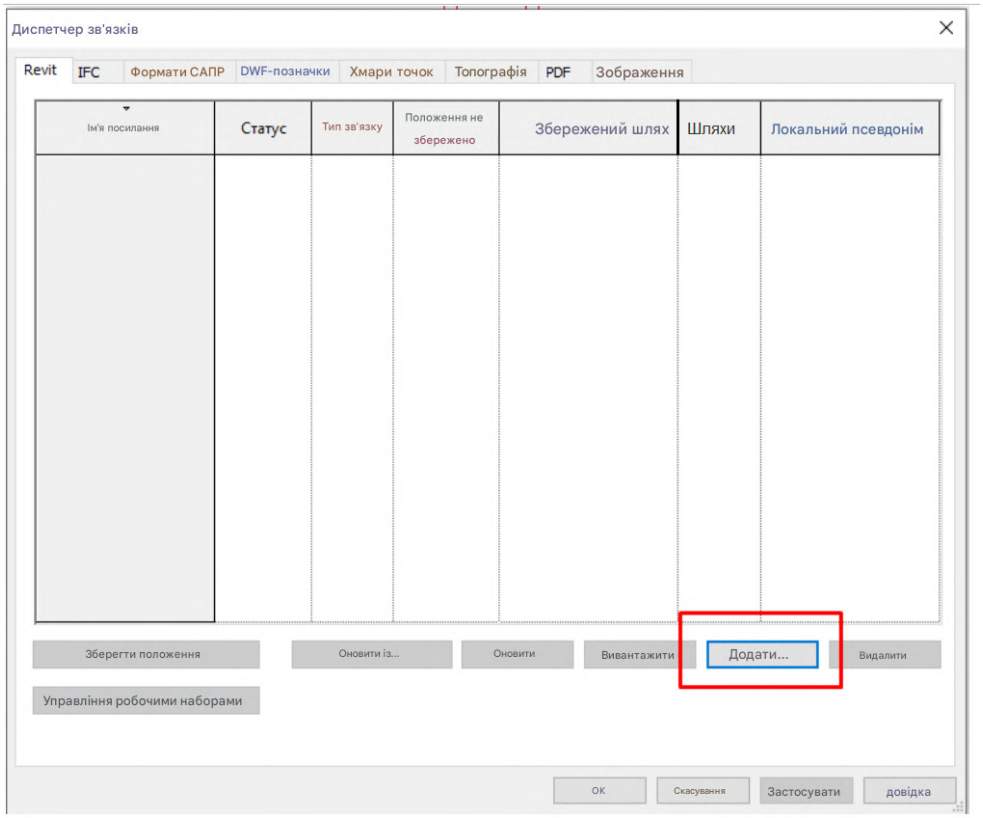


Рис. 4.7 – Діалогове вікно Диспетчер зв'язків

Потім необхідно вказати розташування файлу з суміжним розділом, перейшовши у відповідну папку. Після вибору обов'язково виконати попередні налаштування підвантаження, встановивши параметр Розміщення значення **Авто - За загальним координатам** (рис. 4.8).

При виборі опції **Задати** перед підвантаженням файлу з'явиться діалогове вікно зі списком робочих наборів, які можна закрити, щоб запобігти їх завантаженню в проект. Рекомендується закривати робочий набір **Загальні рівні та сітки** (рис. 4.9).

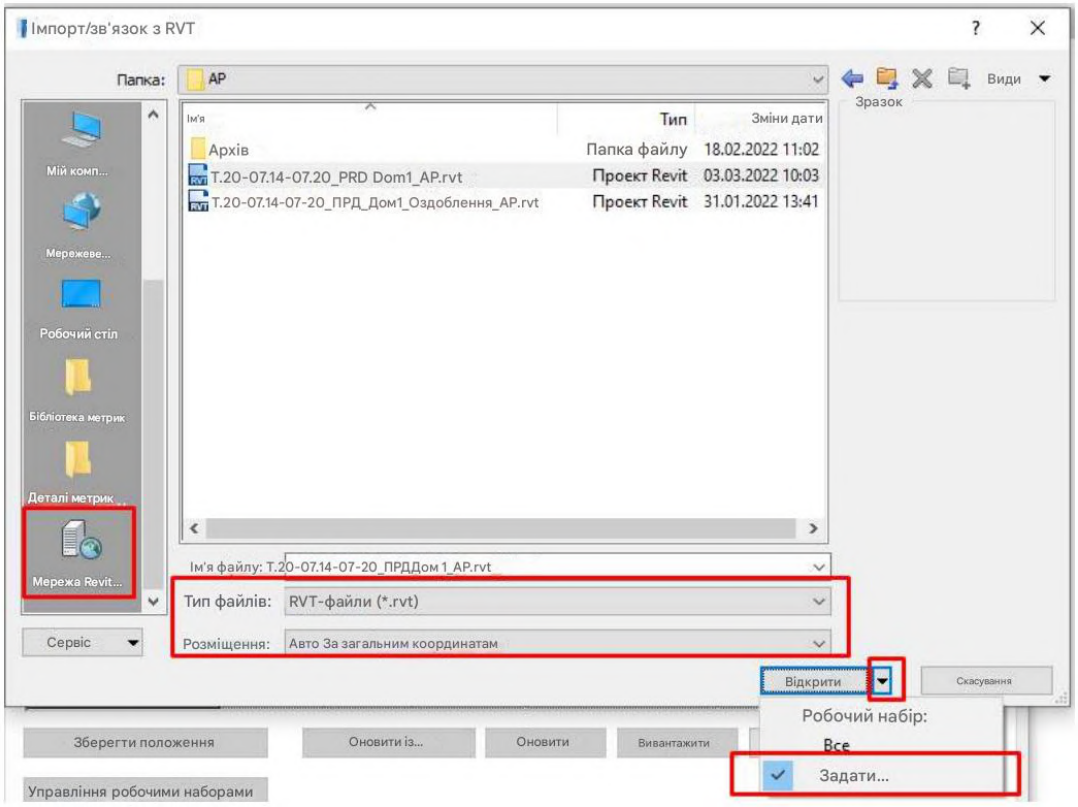


Рис. 4.8 - Налаштування параметрів зв'язку

Для початку етапу проектування інженерних систем було підготовлено цифрову модель будівлі (рис. 4.10).

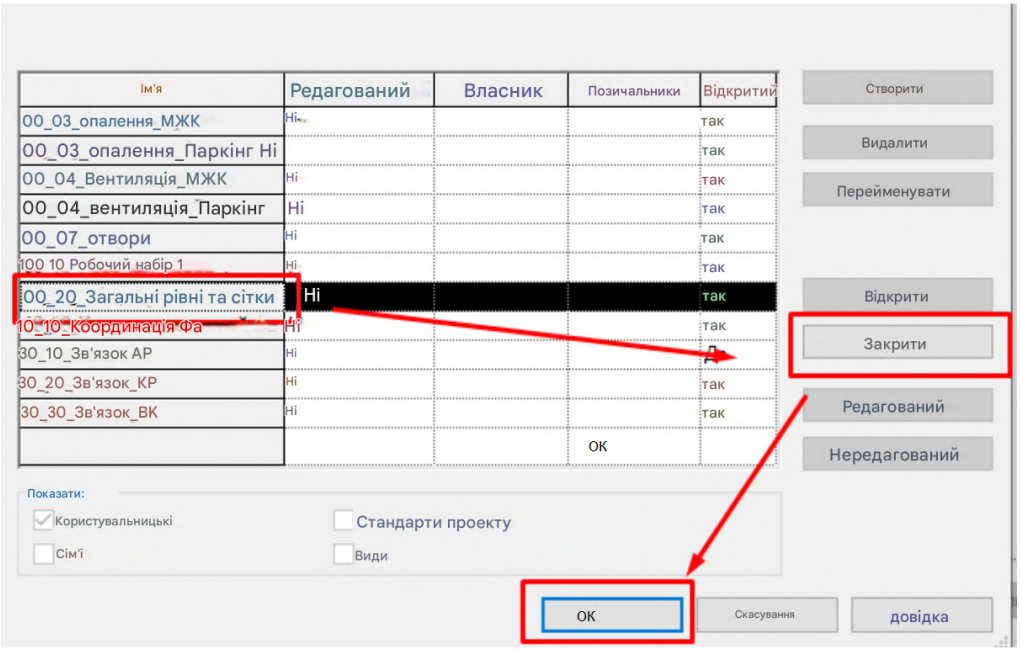


Рис. 4.9 – Від'єднання Робочого набору

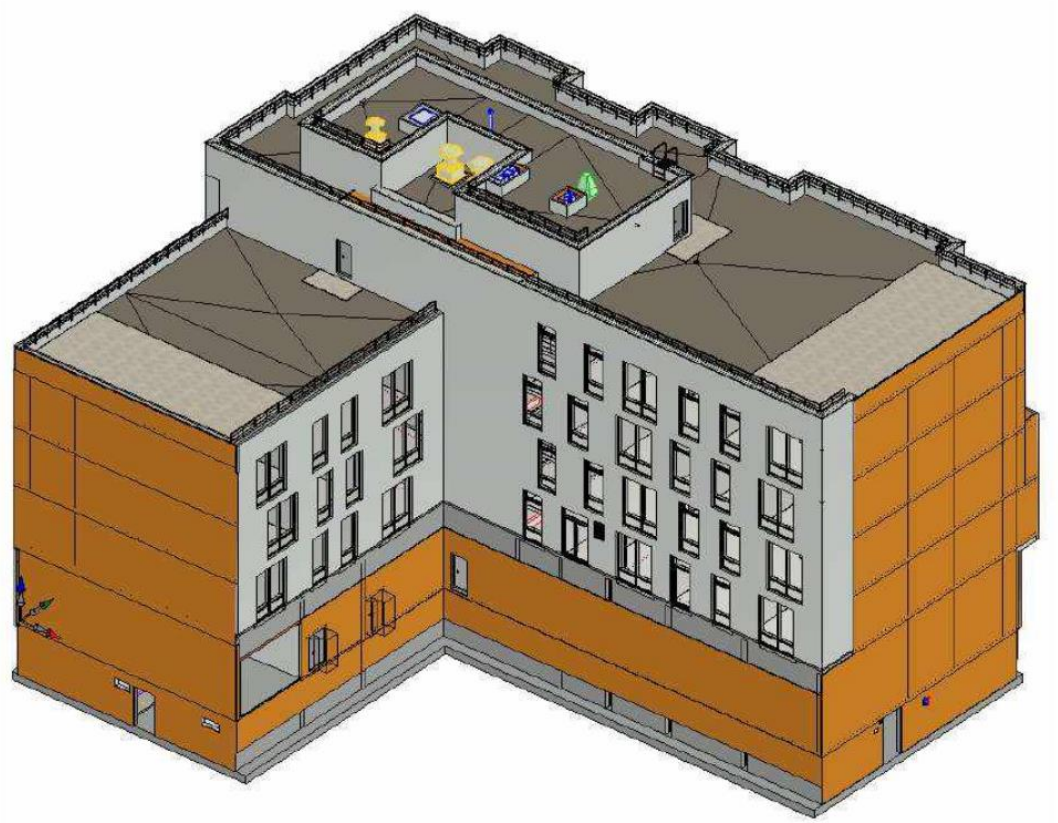


Рис. 4.10 - Цифрова модель будівлі

2. ПРОЕКТУВАННЯ РОЗДІЛУ ОВ ЗА ДОПОМОГОЮ AUTODESK REVIT

Компанія Autodesk постійно вдосконалює шаблони для розробки проектів, це пов'язано з випуском нових версій програм, розвитком функціоналу та можливостей програм А08К-шаблони для використовуються з 2016 року, що вже можна визнати галузевим стандартом, оскільки вони відповідають EN, DIN, ДСТУ.

Шаблон - заздалегідь налаштоване середовище проекту з набором елементів для моделювання, шрифтів, анотацій, настроєними специфікаціями та іншими параметрами [20].

За даними різних джерел від 60 до 80% проектувальників застосовують у роботі ADSK -:шаблони або ADSK -параметри. Шаблон можна завантажити із сайту компанії B1M2B [21], експерти якої брали участь у розробці шаблонів та стандартів.

У комплекті з ADSK -шаблонами для версії 2021 є плагін BIM2B Templates Tools від цієї компанії. Цей додаток дозволяє автоматизувати дії проектувальників. Унікальністю цієї версії плагіна можна назвати доповнення всім інженерних розділів [21].

Налаштування трасування

Перш ніж приступати до проектування розділу ОВ, необхідно перевірити та відкоригувати за потреби задані параметри трасування. Це дозволить не змінювати повністю матеріали труб по системах, тим більше, що редагувати значення товщини в процесі роботи вже не можна. Для перевірки встановлених значень використовується інструмент **Налаштування систем ОВіК** на вкладці **Керування** (рис. 4.11).

У меню можна переглянути налаштування позначень трас, їх типорозміри (габарити, товщини і т.д.), ухили та інші параметри.

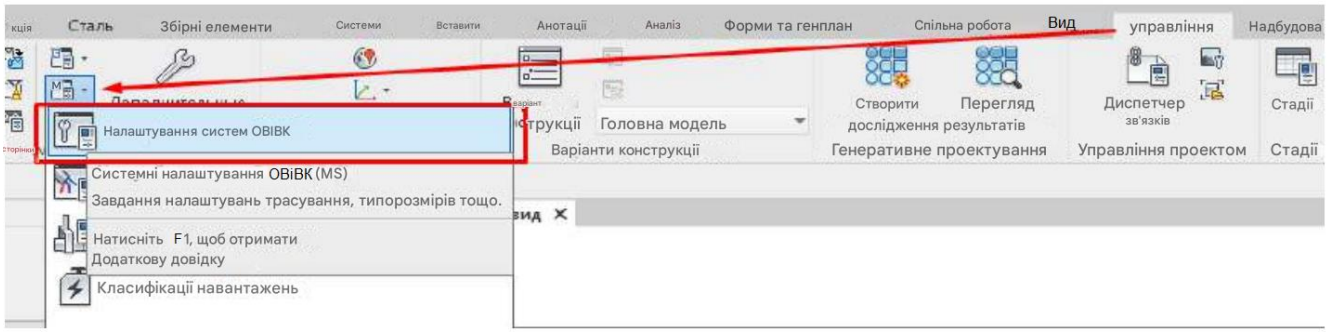


Рис. 4.11 - Інструмент для налаштування параметрів трасування

При виборі пункту **Типорозміри** (рис. 4.12) можна перевірити розміри заданих мереж.

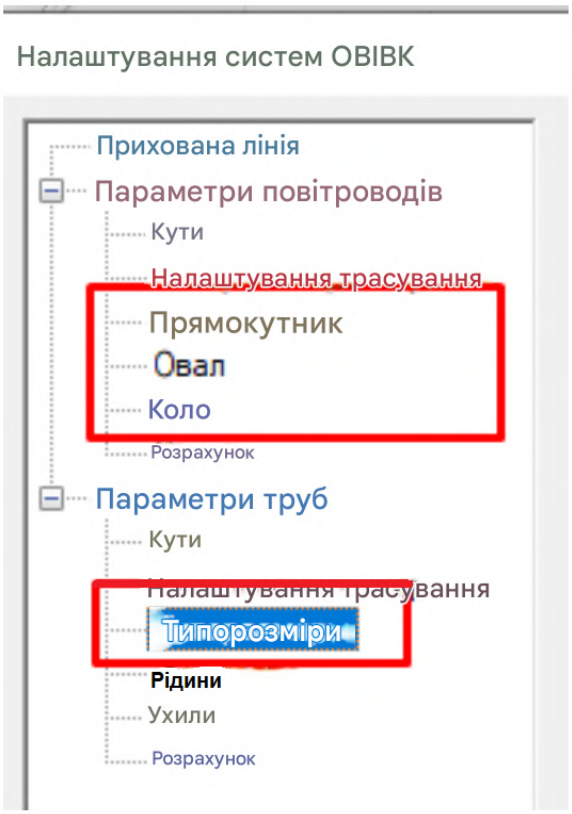


Рис. 4.12 - Пункт Типорозміри

Доступні операції редагування даних (це стосується лише текстової частини), створення нових або видалення зайвих значень. Редагування існуючих розмірів у каталозі розмірів неможливе (рис 4.13). Рекомендується перевірити, чи є у списку всі необхідні розміри. У разі нестачі даних необхідно скласти та передати завдання BIM-координатору.

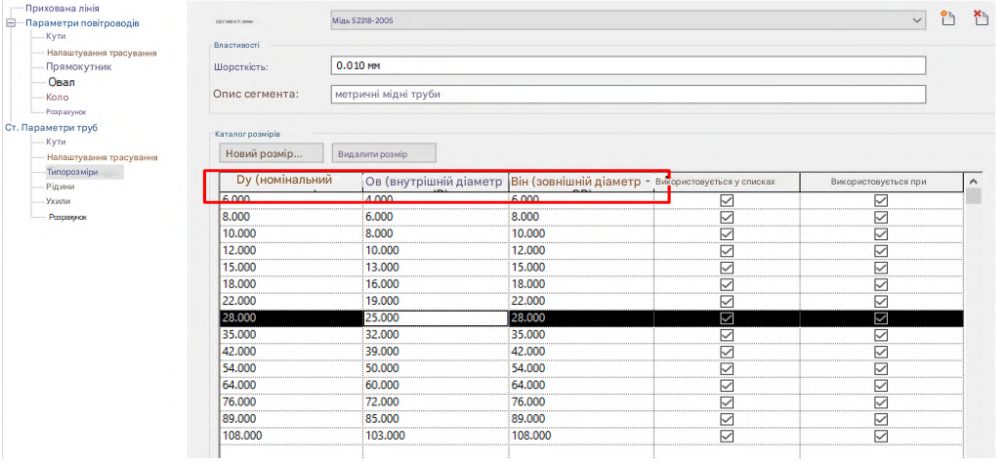


Рис. 4.13 - Каталог розмірів

2.1 Особливості та рекомендації роботи з планами

До побудови мереж необхідно створити плани відповідних поверхів. План створюється за допомогою команди **Види у плані** на вкладці **Вид** (рис. 4.14).

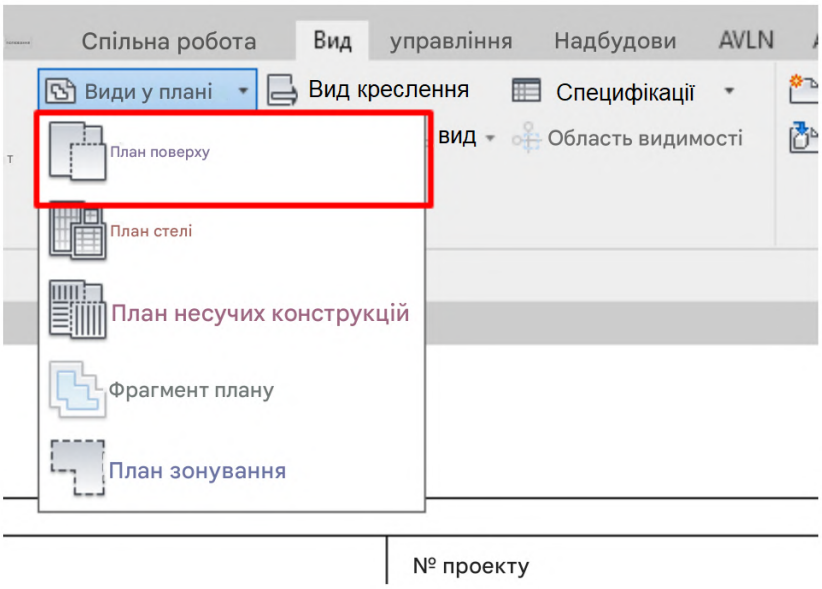


Рис. 4.14 - Інструмент для створення плану поверху

У діалоговому вікні, що з'явилося, необхідно вибрати категорію плану, в залежності від цього запропонований список відфільтрується і сховаються зайві елементи (рис. 4.15). Знявши активацію з опції **Не копіювати** існуючі види можна за необхідності швидко створювати кілька планів одного поверху без додаткового копіювання.

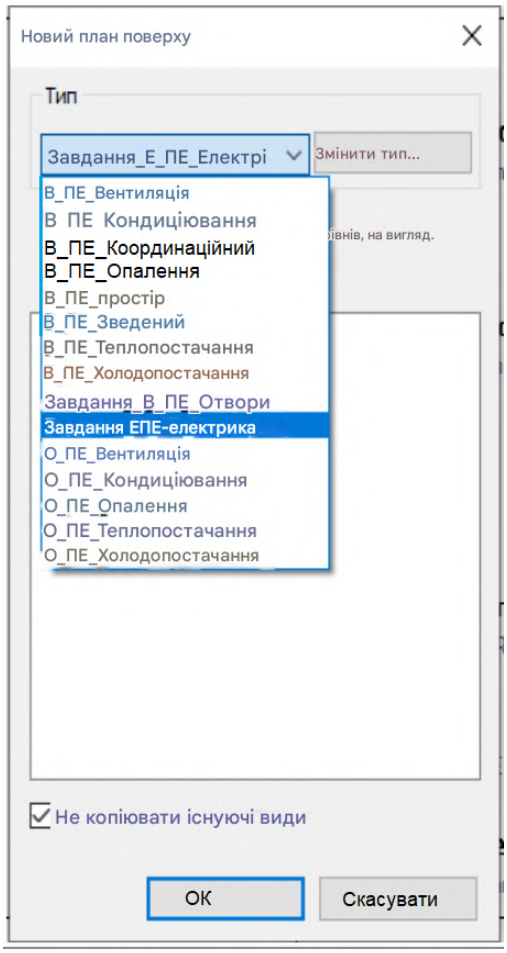


Рис. 4.15 - Вибір категорії нового плану поверху, що створюється.

У категорії планів прийнято використовувати префікси: В, Завдання, О. Залежно від обраної категорії плани, що створюються автоматично розподілятися у Диспетчері проекту за групами: **Допоміжні види, Завдання та Оформлені види**.

Призначення префіксів:

В - це допоміжні плани, ними можна ввімкнути відображення інших мереж, налаштувати діапазон і інші параметри. Це гнучко налаштована категорія планів у проекті, оскільки дозволяє зробити вигляд більш зручним для перегляду та координації у своєму розділі. У **Диспетчері проекту** усі створені плани потрапляють до категорії **Допоміжні види** (рис. 4.16).

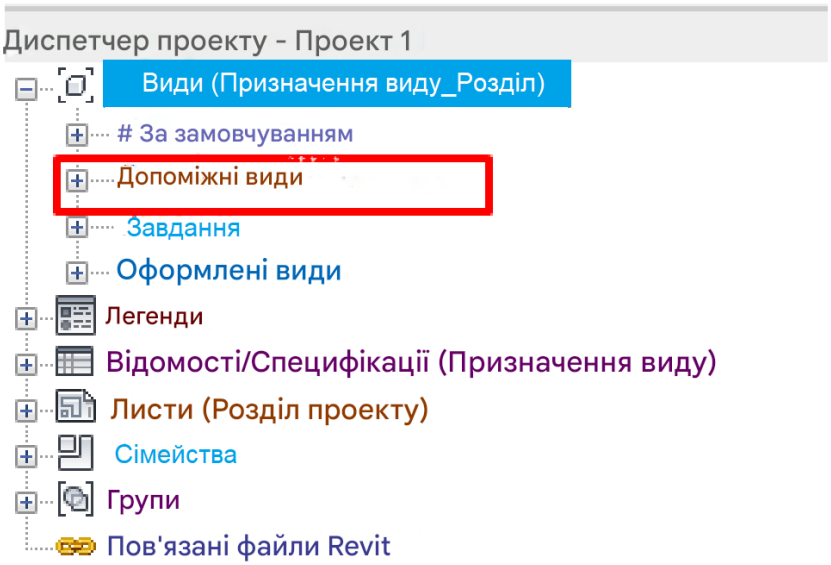


Рис. 4.16 - Категорія Допоміжні види у **Диспетчері проекту**

Завдання - дана категорія планів призначена для оформлення завдань для розділу електрики або завдання на отвори (залежно від обраної категорії).

О - це оформлені види, які надалі використовуються для винесення даних на листок лише мереж для видачі.

Новий створений вид плану рекомендується перейменовувати відповідно до категорії, оскільки за замовчуванням у імені виду немає префікса. Вказівка відповідної категорії суттєво спростить орієнтування у **Диспетчері проектів** (рис. 4.17).

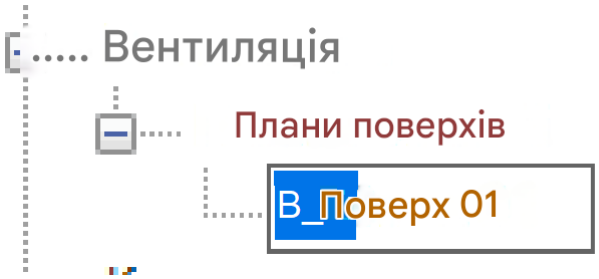


Рис. 4.17 - Перейменування плану

Категорію плану рекомендується змінити при певних обставинах. Наприклад, якщо допоміжний план підходить для винесення на лист, його можна перенести в категорію **Оформлені види**.

Сортування видів у **Диспетчері проекту** виконується на основі заповнених параметрів: **ADSK_Призначення виду** (варіанти значень: **Допоміжні види, Оформлені види, Завдання** тощо) та **ADSK_Штамп Розділ проекту** (варіанти значень: **Вентиляція, Опалення** тощо) (Рис. 4.18).

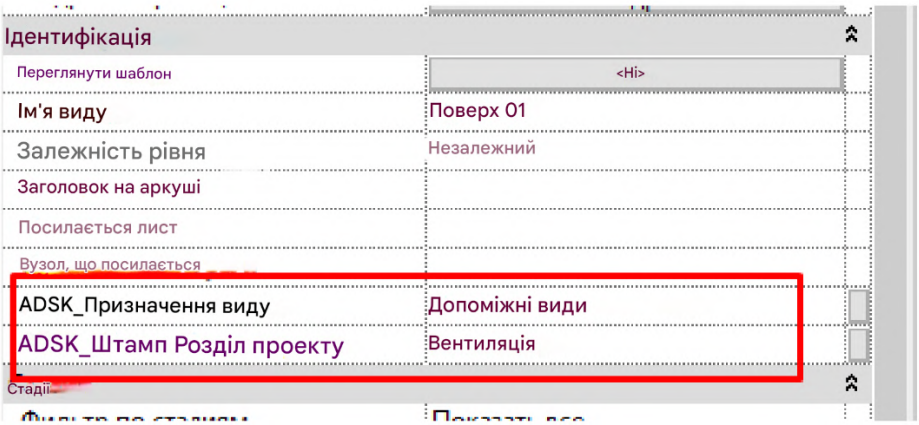


Рис. 4.18 - Параметри виду на панелі **Властивості**

Види планів можна копіювати в Диспетчері проекту через контекстне меню, вибравши один із двох варіантів (рис. 4.19):

1) **Копіювати** - без маркувань, розмірів та інших анотаційних позначень.

2) **Копіювати з деталізацією** – повноцінна копія плану з марками, розмірами.

Копія виду з'явиться автоматично в **Менеджері проекту**, до імені вихідної назви в кінці за замовчуванням буде додано цифру, тому важливо відразу змінити ім'я створеної копії.

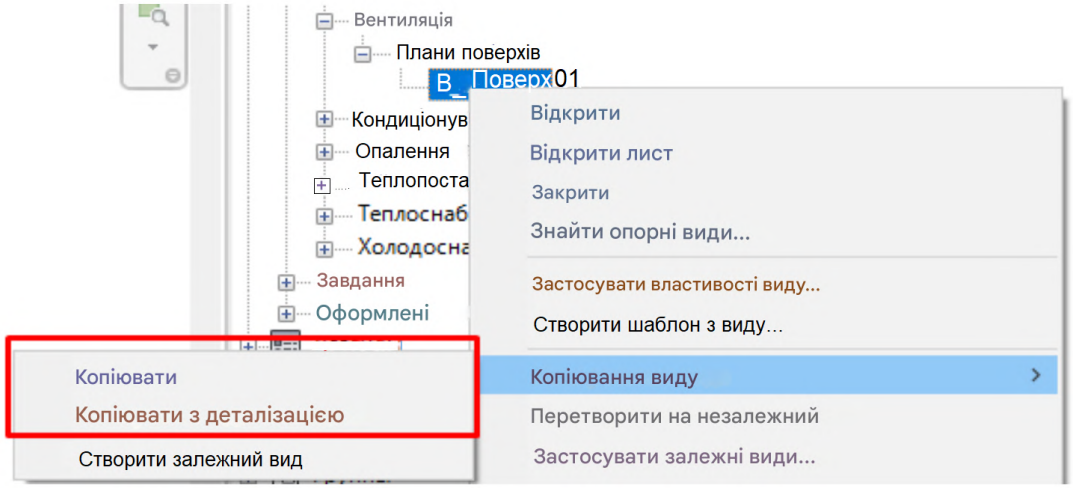


Рис. 4.19 - Копіювання виду у **Диспетчері проекту**

2.2 Основні принципи побудови системи опалення

Основними елементами розробки системи опалення є: труби, арматура трубопроводів, устаткування, ізоляція трубопроводів. Розглянемо особливості формування цих елементів.

3.2.1 Рекомендації при побудові мереж трубопроводів

Перед проектуванням необхідно виконати підготовчі дії:

1) Створити відповідний план опалення.
2) Налаштування систем опалення.

Для коригування параметрів систем опалення в Диспетчері проекту в папці Сімейства знайти категорію Трубопровідні системи
(рис. 4.20).

Ця папка містить категорії систем, які є в проекті (рис. 4.21). Використовуючи шаблон, що рекомендується, необхідно користуватися тільки системами з приставкою ADSK.

При активації інструменту Труба на вкладці Системи (рис. 4.22) можна вибрати дані системи на панелі Властивості (рис. 4.23).

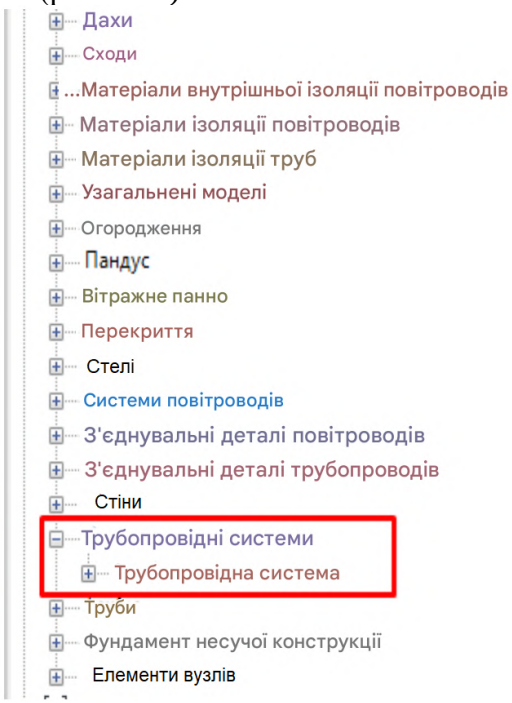


Рис. 4.20 - Папка **Трубопровідні системи** в **Диспетчері проекту**

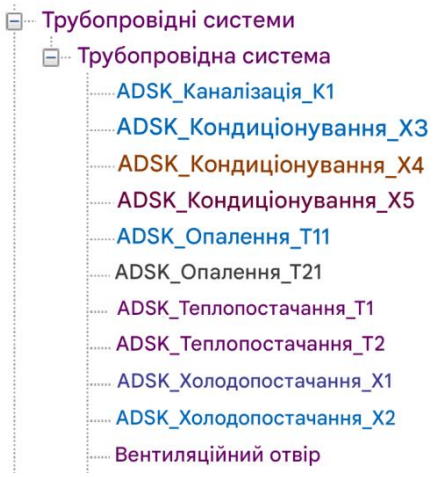


Рис. 4.21 - Категорії систем проекту

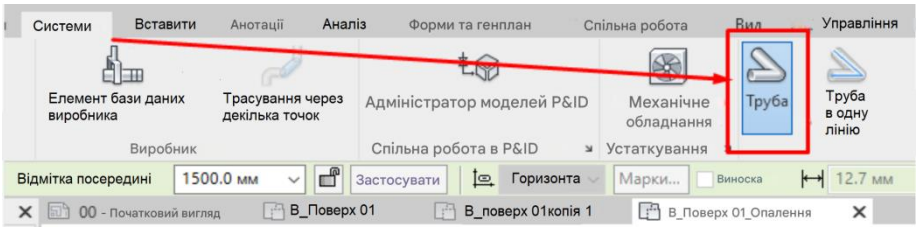


Рис. 4.22 - Інструмент **Труба**

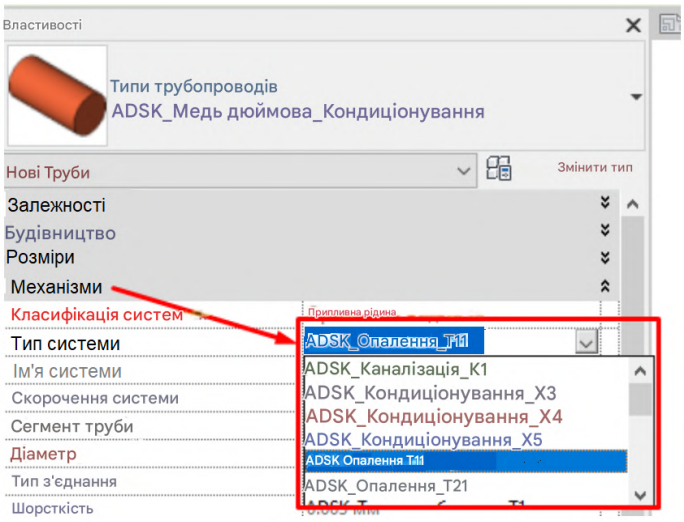


Рис. 4.23 - Вибір типу системи на панелі **Властивості**

Якщо необхідно додати нову систему, наприклад систему Т11 з суфіксом 1, необхідно в **Диспетчері проекту** зробити копію системи ADSK_**Опалення**_ТП (рис. 4.24).

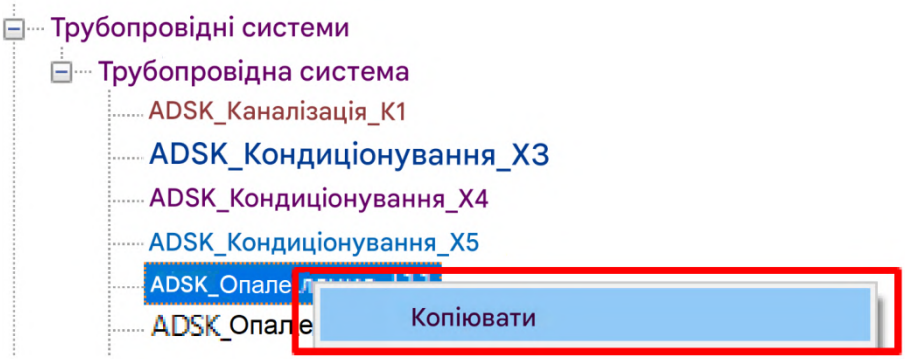


Рис. 24 - Копіювання системи

Новий тип системи потрібно перейменувати тому, що автоматично в імені наприкінці з'явиться цифра 2 (рис. 4.25).

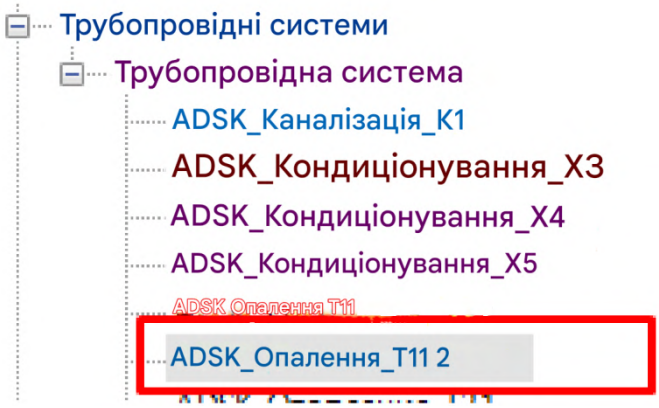


Рис. 4.25 - Нова система

Перейменувати можна за допомогою команди з контекстного меню: Щоб скорочення для системи не дублювалися, в новому типі його потрібно поміняти.

У діалоговому вікні, що відкрилося, можна налаштувати різні параметри, наприклад, колір, температуру і скорочення для системи (рис. 4.26). Якщо на плані маркування системи **Т11.1**, то й параметр **Скорочення** має таке значення.

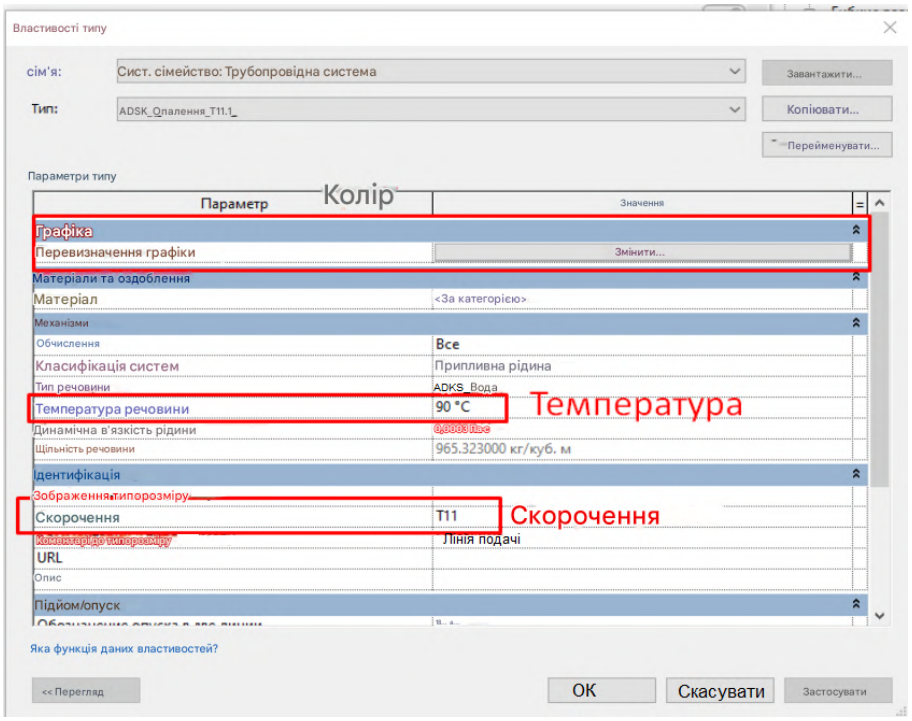


Рис. 4.26 - Діалогове вікно **Властивості типу**

Тепер при побудові можна вибрати нову систему, у якої заздалегідь прописане необхідне скорочення (у Revit часто використовують скорочення системи як ім'я системи) (рис. 4.27).

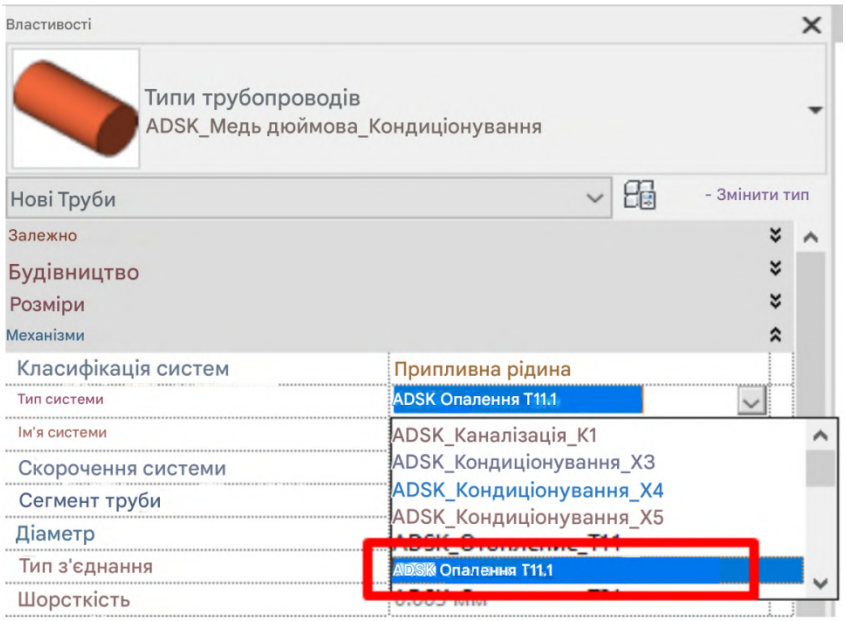


Рис. 4.27 - Вибір нового типу системи

Після наведених налаштувань можна переходити до вибору типу трубопроводу для проектування, для цього активується інструмент **Труба** на вкладці **Системи**. Параметри типів трубопроводу будуть доступні для перегляду та вибору панелі Властивості (рис. 4.28). Всі завантажені в проекті типи можна подивитися в списку, що розкривається.

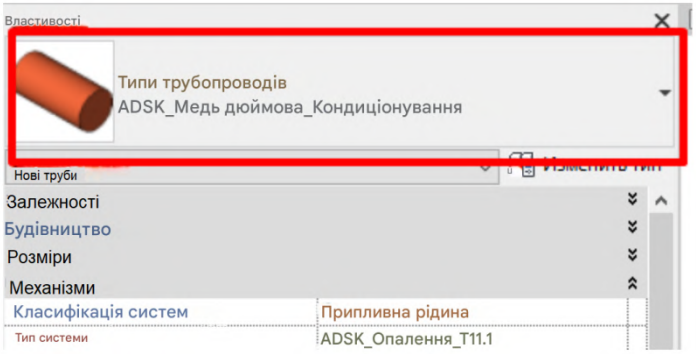


Рис. 4.28 - Типи доступних у проекті трубопроводів

Після обраного типу починається процес проектування, принцип якого схожий з методом побудови у програмі AutoCAD. Необхідно перед вказівкою розташування перевірити задані параметри:

- значення прив'язки до рівня має відповідати рівню плану, на якому планується побудова трубопроводу (рис. 4.29).

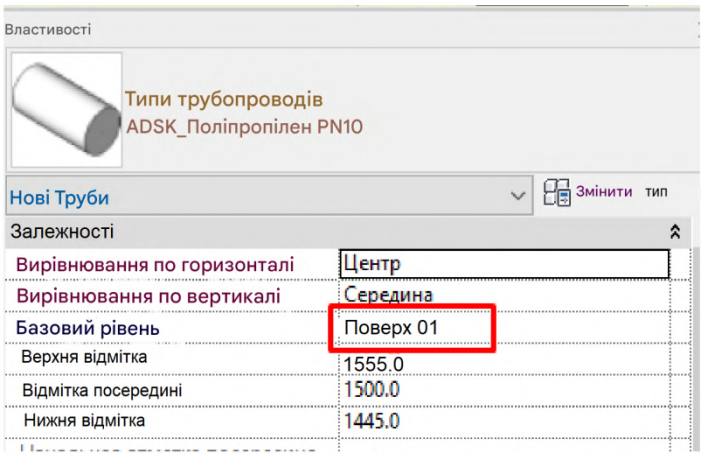


Рис. 4.29 - Налаштування базового рівня

- значення позначки вказується щодо рівня, на якому розташований план (рис. 4.30). Також можна вибрати, від якої ділянки труби буде вимірюватися відстань. Наприклад, якщо перший поверх розташований на позначки 0.800 та побудова планується на позначці середини 1500, то трубопровід розташовуватиметься на висоті 2300 від умовного 0.000.

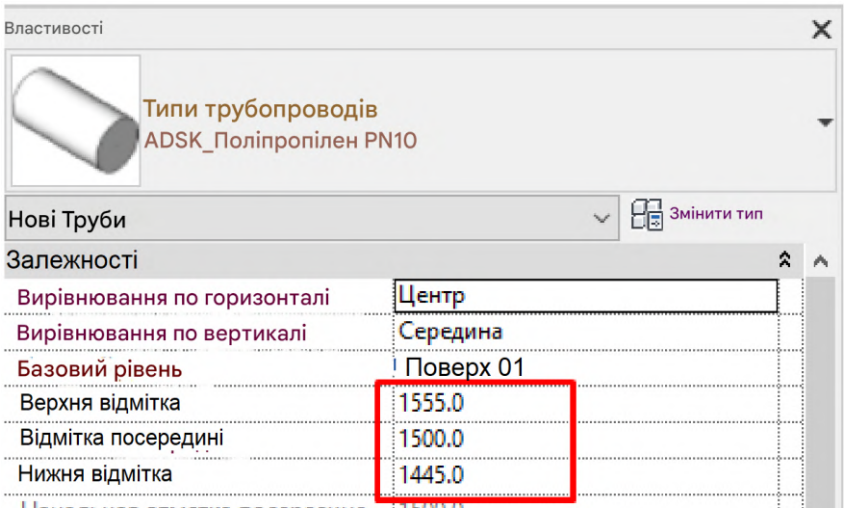


Рис. 4.30 - Налаштування значень позначки

- тип системи має бути обраний правильний.

- значення нахилу (рис. 4.31) слід налаштовувати тільки якщо цього вимагає замовник. Даний параметр не рекомендується застосовувати при побудові опалювальних мереж, оскільки ухили в даному випадку мінімальні, а, отже, мережі краще проектувати без ухилу.

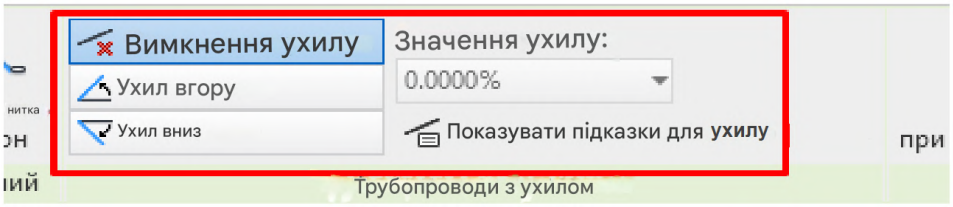


Рис. 4.31 - Налаштування значення ухилу

Варіанти значень ухилу:

1) Ухил вгору – від початкової точки побудови труба підніматиметься вгору на задане значення ухилу.

2) Ухил вниз - від початкової точки побудови труба опускатиметься вниз на задане значення ухилу.

Особливості при побудові мереж трубопроводів.

Важливо знати про деякі нюанси, які часто зустрічаються у роботі:

- В сімействах фітингів передбачені попередження, які покажуть вам, що кут фітингу не є коректним (рис. 4.32).

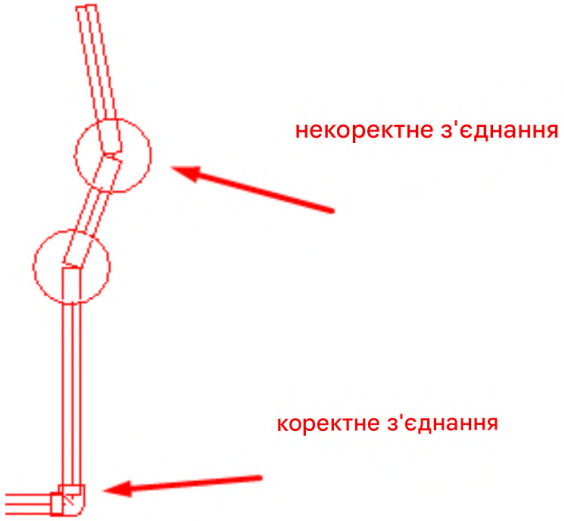


Рис. 4.32 - Варіанти з'єднань труб

Для побудови стояків достатньо вибрати трубопровід, вказати початкову точку побудови, причому труба не вважається побудованою (рис. 4.33). Потім змінити прив'язку і підтвердити подвійним натисканням на кнопку **Застосувати** (рис. 4.34). Внаслідок цих маніпуляцій побудова закінчена.

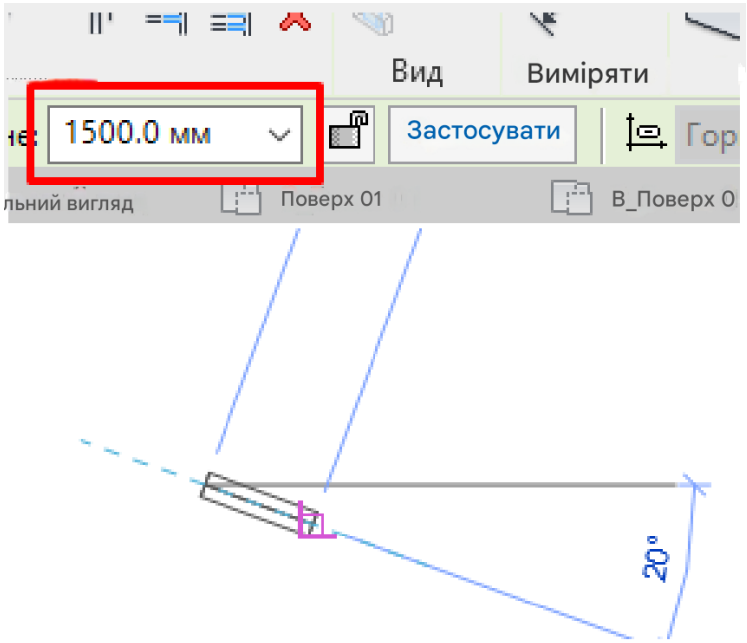


Рис. 4.33 - Вказівка початкової точки побудови

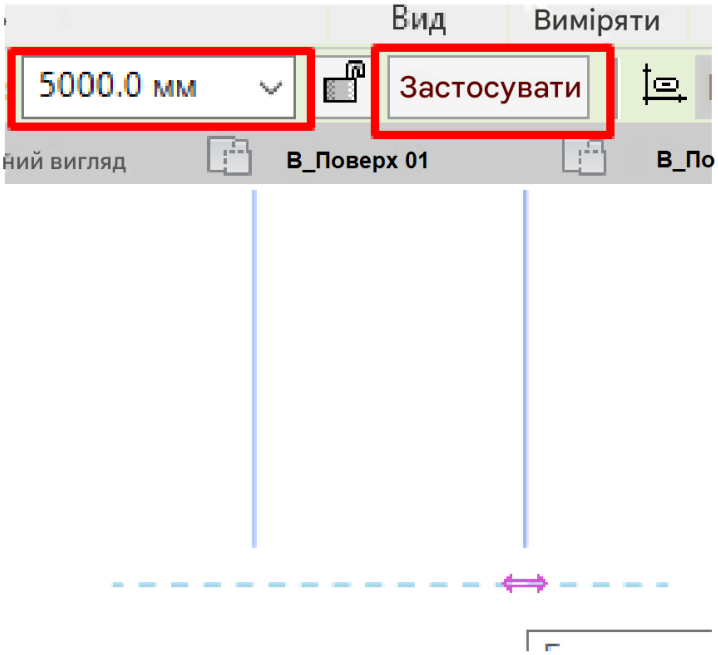


Рис. 4.34 - Зміна значення прив'язки та підтвердження дії

- Найчастіша спливаюча помилка при побудові мереж - «Напрямок повітроводу/труби змінено на протилежне, що викликало помилки з'єднання» (рис. 4.35).

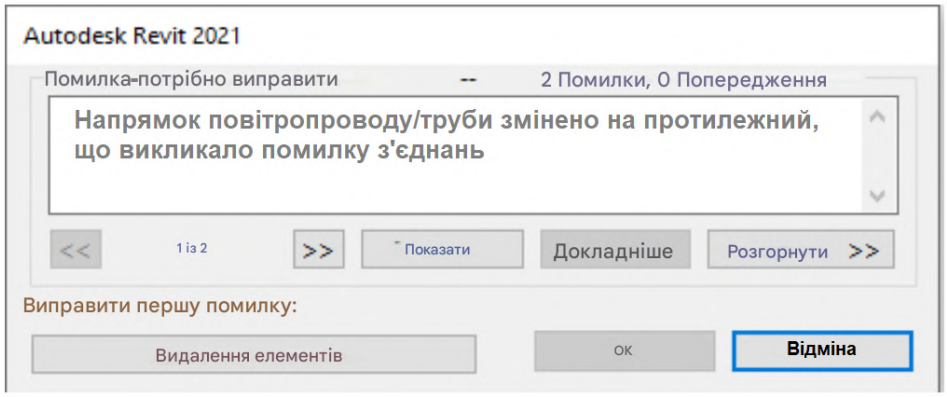


Рис. 4.35 - Спливаюче повідомлення про помилку

Розглянемо приклад такої ситуації. Допустимо, створений П-подібний компенсатор, вирішено змінити його габарити, зменшивши висоту (рис. 4.36).

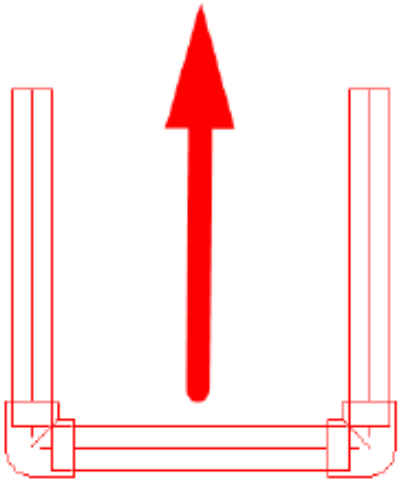


Рис. 4.36 - П-подібний компенсатор

При зсуві труби програма покаже раніше представлену помилку, що труба повернулася у зворотному напрямку, але при цьому фітинги автоматично не розгорнуться (рис. 4.37).

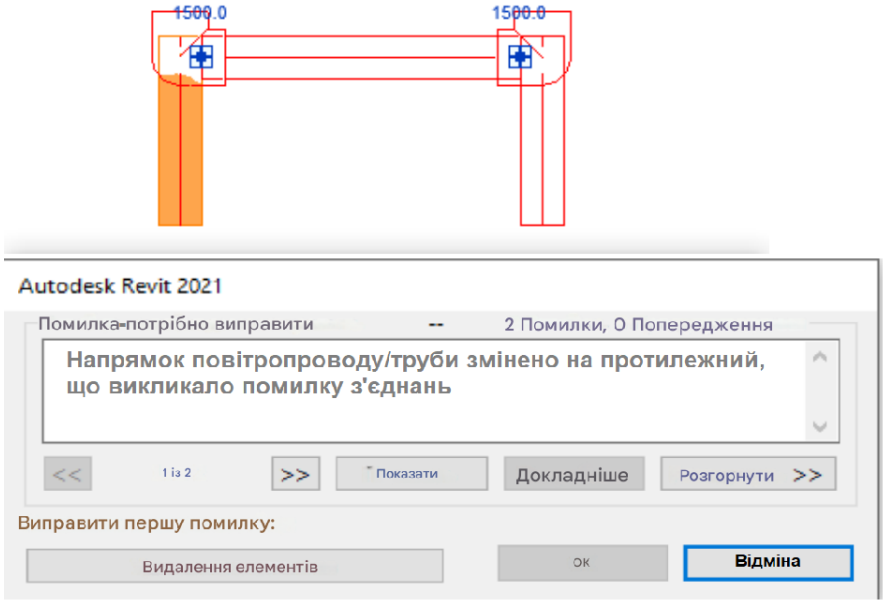


Рис. 4.37 - Ситуація з помилкою

- Необхідно пам'ятати, що при використанні плагіна від компанії B1M2B автоматично заповнюються параметри **ADSK_Найменування** та **ADSK_Кількість** у властивостях труби (Рис. 4.38). Це допоможе надалі заповнити специфікації обладнання.

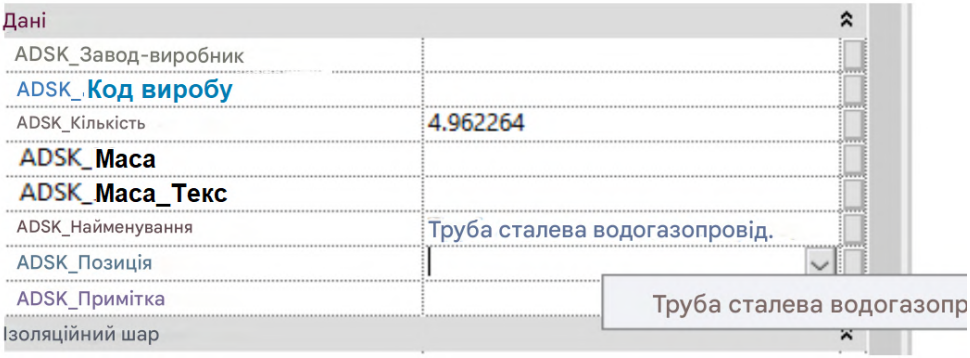


Рис. 4.38 - Заповнені параметри ADSK_Найменування та ADSK_Кількість

2.2.1 Рекомендації при побудові арматури

У проект заздалегідь необхідно завантажити основні сімейства арматури, тому що у шаблоні таких елементів немає. Завдання завантаження необхідно скласти та відправити BIM-координатору. Розташуванням арматури потрібно займатися після етапу побудови первинних мереж.

Інструмент **Арматура трубопроводів** знаходиться на вкладці **Системи**.

Після активації інструмента стане доступним список завантажених у проект типів (рис. 4.39). Необхідно вибирати тип, відповідний діаметром трубопроводу. Розміщення здійснюється шляхом вказівки мишею осьової лінії труби (рис. 4.40).

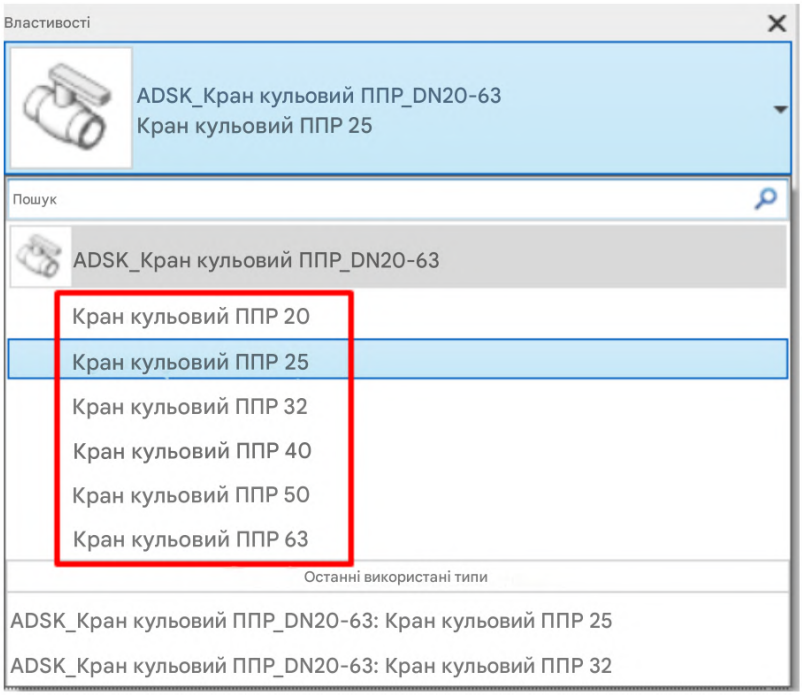


Рис. 4.39 - Типи арматури трубопроводів

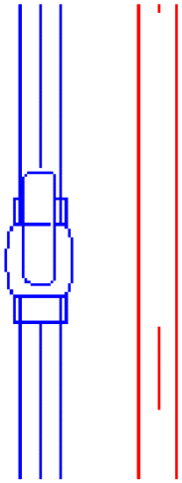


Рис. 4.40 - Розміщення на трубі

Важливо відзначити деякі особливості:

- Від розміщеної в галузі проектування арматури можна будувати трубопроводи. Для цього достатньо натиснути на перехрестя, що з'являється при розміщенні елемента (рис. 4.41).

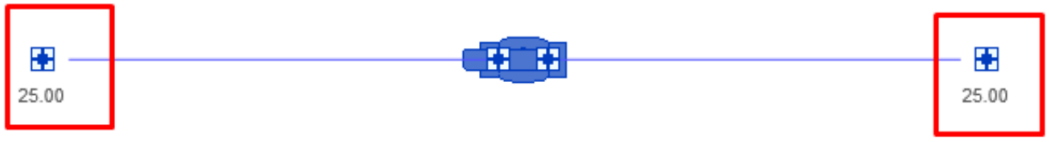


Рис. 4.41 - Побудова трубопроводу від арматури

- Щоб уникнути перетинів з іншими мережами можна змінювати напрямок арматури і повертати на певний кут.

- При зміні рівня прив'язки позначка автоматично перераховується.

2.2.2 Рекомендації під час роботи з категорією Обладнання

До категорії обладнання в розділі ОВ належать теплові прилади: конвектори, радіатори і т.д. Для того щоб розставити обладнання, потрібно перейти на вкладку **Системи** і вибрати категорію **Механічне обладнання.**

Далі виконується етап розміщення обладнання з налаштуванням прив'язки за рівнем та зміщенням (рис. 4.42).

У складі шаблону ADSK21 є універсальний радіатор із різними додатковими властивостями підключення (рис. 4.43).

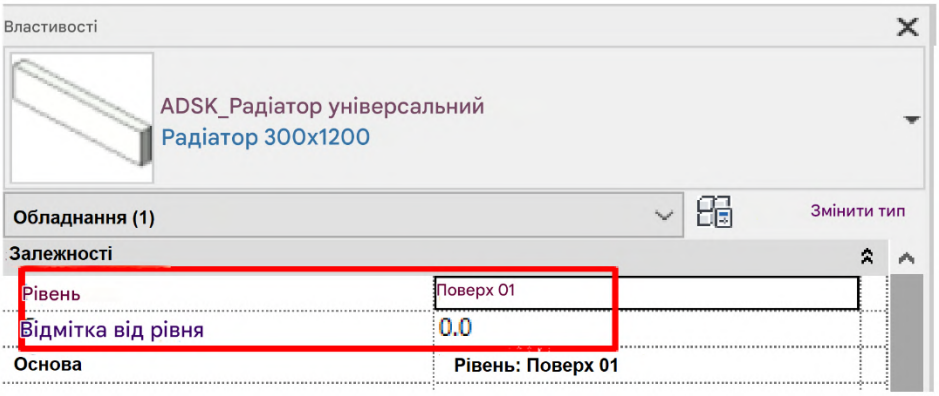


Рис. 4.42 - Налаштування значень рівня та позначки

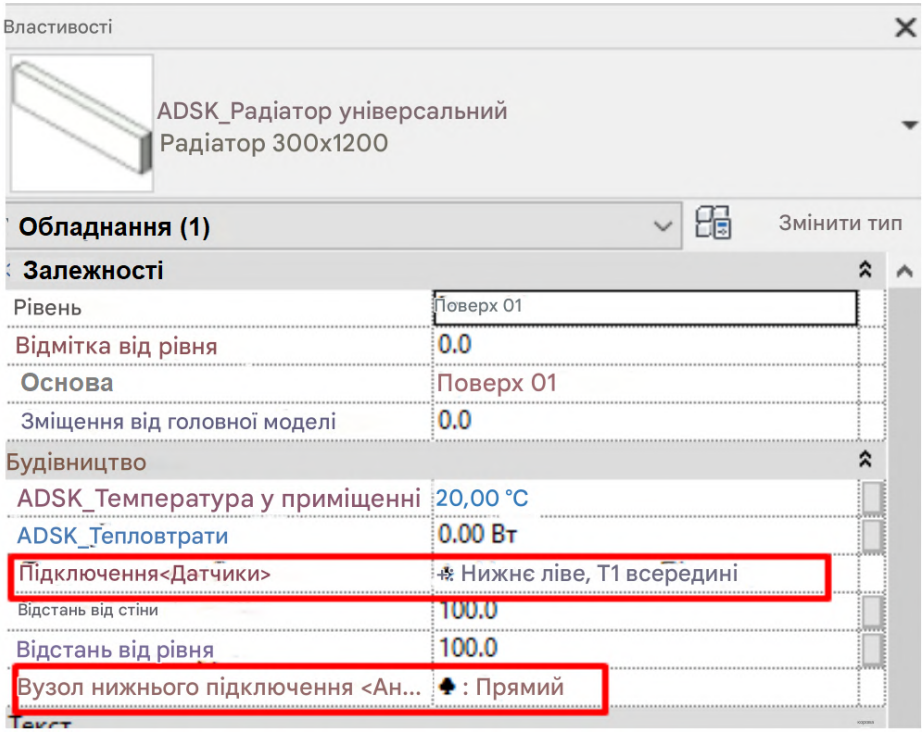


Рис. 4.43 - Додаткові властивості універсального радіатора

Після розміщення радіатора необхідно виконати його підключення.

1) Вирівняти труби за точками підключення (рис. 4.44). Для цього кроку рекомендується використовувати інструмент **Вирівняти.**

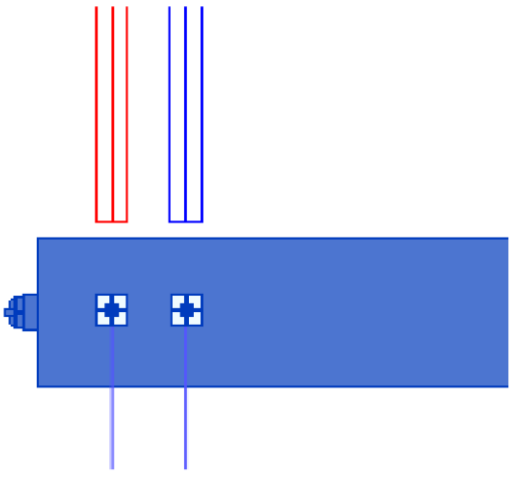


Рис. 4.44 - Вирівнювання точок

2) Вказати вісь підключення (для зручності використовувати клавішу Tab) (рис. 4.45).

3) Вибрати вісь труби, враховуючи, що вона розташовується на одній осі з підключенням.

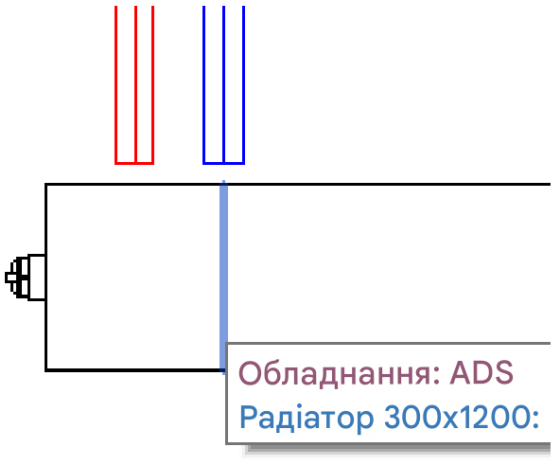


Рис. 4.45 - Визначення осьової лінії

4) Виконання підключення. При продовженні труби до обладнання повинен з'явитися розпізнавальний знак (квадратик або хрестиковий кружок), це означає, що можна виконати з'єднання (рис. 4.46).

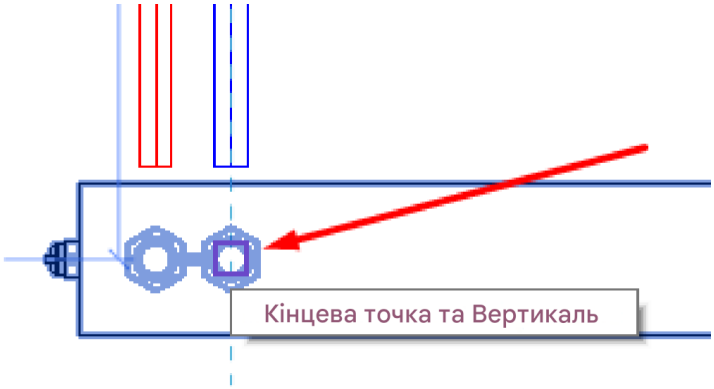


Рис. 4.46 - Виконання підключення труби до радіатора

На рис. 4.47 зображено результат виконання підключення.

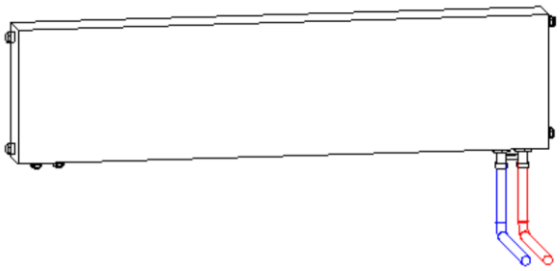


Рис. 4.47 - Результат виконання підключення

Необхідно звернути увагу на деякі особливості:

- На відміну від трубопроводів та арматури, обладнання автоматично переміститься на інший рівень, якщо змінити прив'язку до рівня.
- У обладнання може бути зазначено кілька імен систем, це особливість категорії (рис. 4.48). Все залежить від кількості підключень.

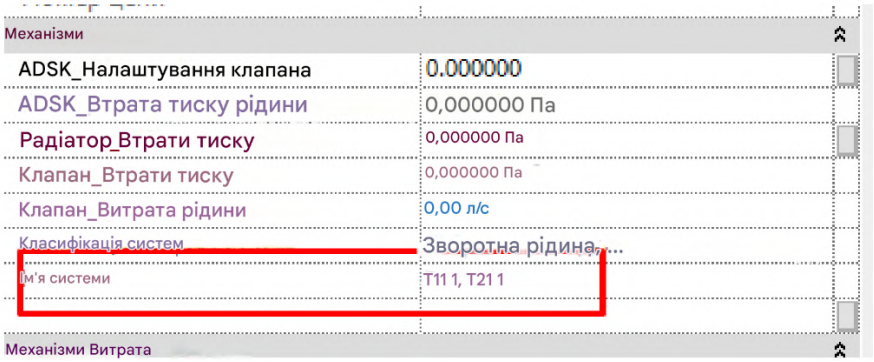


Рис.4.48 - Кілька значень властивості Ім'я системи

Для зручності підключення обладнання можна використовувати допоміжні види: розрізи, фрагментний вид, що виконується за допомогою інструмента **Рамка вибору**.

2.2.3 Рекомендації при розміщенні ізоляції

Додавання ізоляції на трубопровід можна виконати двома способами: на плані/ 3D вигляді або через вибір трубопроводів зі специфікації. Обидва варіанти однаково ефективні, але застосування залежить від ситуації. Розглянемо кожен із них.

Розташування ізоляції на плані або 3D вигляді

Варіант розміщення на плані або 3D вигляді майже не відрізняється, все залежить від зручності виділення та кількості необхідних об'єктів. Для реалізації цього методу рекомендується виконати такі дії:

1) Виділяємо необхідні трубопроводи за допомогою рамки вибору або клавіші Tab.
2) Активувати інструмент **Додати ізоляцію** (рис. 4.49).

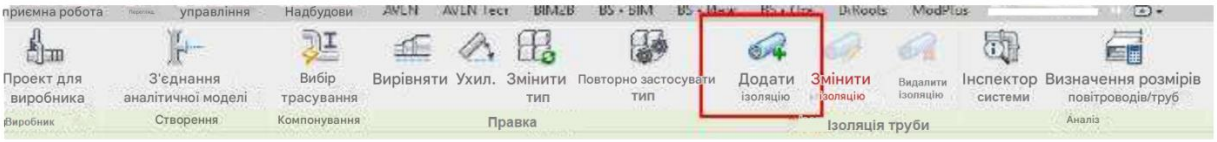


Рис. 4.49 - Інструмент **Додати ізоляцію**

3) У діалоговому вікні, що з'явилося, вибрати тип ізоляції і задати значення товщини (рис. 4.50).

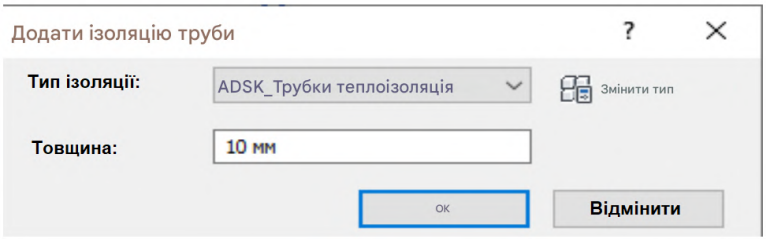


Рис. 4.50 - Налаштування параметрів ізоляції, що додається.

4) Важливо, що спочатку в проекті завантажено два типи ізоляції, але на їх основі можна створити свій тип.

5) Обов'язково заповнити значення параметрів: **Коментар до типорозміру** (параметр який відповідатиме за найменування), **Маркування типорозміру** (параметр для плагіна B1M2B), **ADSK_Одиниця виміру** (відповідає за одиниці виміру, які потраплять до специфікації) (рис. 4.51).

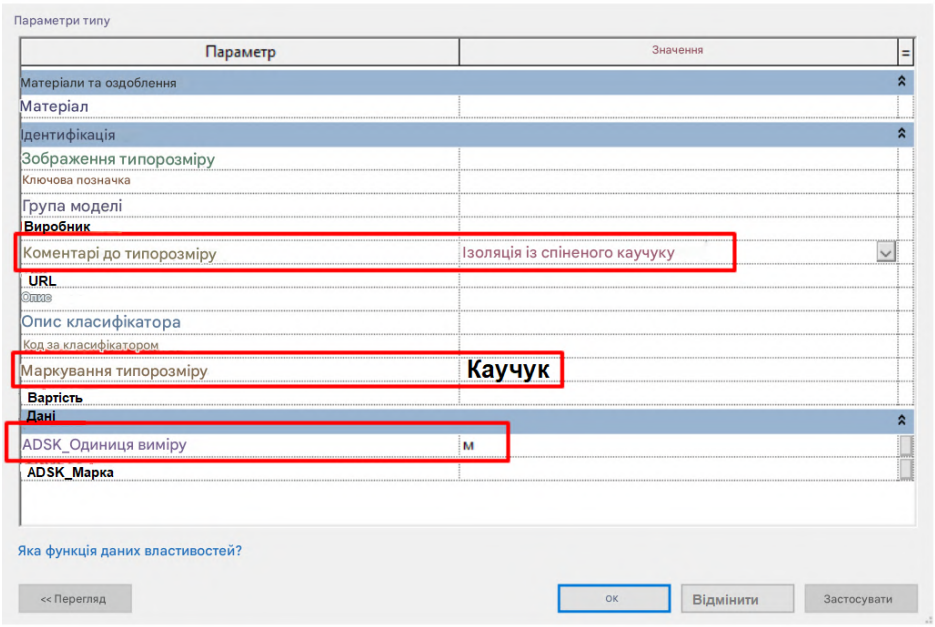


Рис. 4.51 - Заповнення параметрів

6) Перевірити та підтвердити всі виконані зміни.

Розташування ізоляції за допомогою специфікацій.

При використанні даного методу необхідно правильно налаштувати сортування специфікації.

1) У **Диспетчері проекту**, у категорії **Відомості/Специфікації** розкрити папку **Трубопроводи**, відкрити специфікацію **О_Трубопроводи** (рис. 4.52).

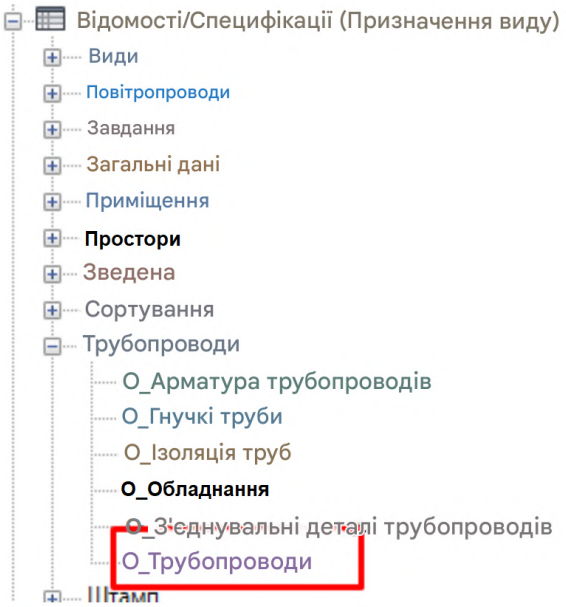


Рис. 4.52 - Вибір специфікації у **Диспетчері проекту**

2) У цій специфікації зібрано інформацію про всіх побудованих у проекті трубопроводах (рис. 4.53).

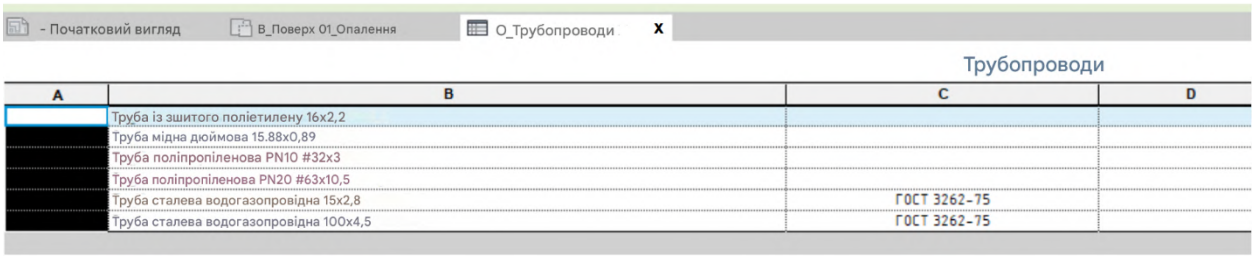


Рис. 4.53 - Приклад специфікації трубопроводів

3) При виборі рядка (або рядків) із необхідними елементами відбудеться виділення у проекті даних труб із конкретним найменуванням.

4) Активація будь-якого плану або 3D виду для доступу до об'єктів. Елементи зазначеного типу будуть вибраними та доступними для подальшого налаштування (рис. 4.54).

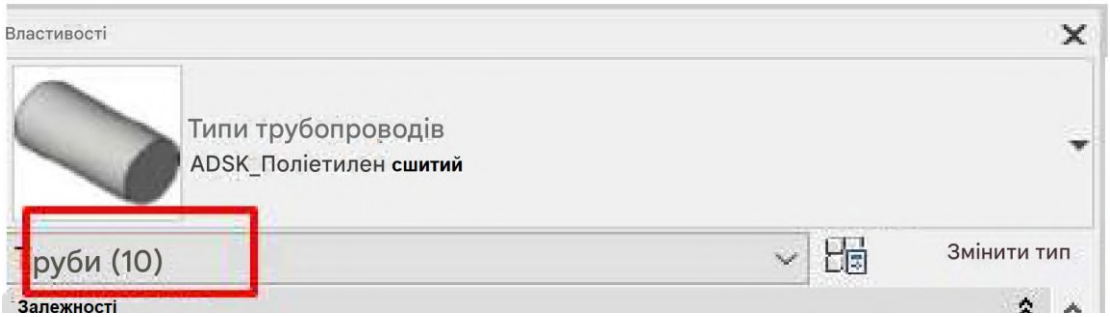


Рис. 4.54 - Панель Властивості

5) Додавання ізоляції до виділених труб за описаним раніше способом.

При розміщенні ізоляції необхідно враховувати такі особливості:

- Не можна накладати кілька видів ізоляції на один трубопровід. Якщо ізоляція має багатошарову структуру – це обов'язково треба прописати у параметрі **Коментарі до типорозміру**.
- Не допускається накладати ізоляцію лише на частину труби. Ізоляція застосовується відразу на всю ділянку (від з'єднання до з'єднання).
- При проектуванні рекомендується включати видимість ізоляції на допоміжних планах, щоб уникнути перетинів ізоляції мереж між собою.

3.3 Основні засади побудови моделі вентиляції

Основними елементами при розробці системи вентиляції є: повітроводи, арматура повітроводів, обладнання, ізоляція повітроводів

Розглянемо особливості формування цих елементів.

3.3.1 Рекомендації при побудові повітроводів.

Перш ніж приступати до проектування системи, необхідно створити допоміжний план вентиляції . Елемент створюється за допомогою інструменту **Повітропровід** на вкладці **Системи**.

Етапи побудови аналогічні, як було описано раніше в описі проектування системи трубопроводів:

1. Визначити та вибрати систему, для якої планується проектування.
2. Налаштування значень рівня та позначок для елемента (рис. 55).

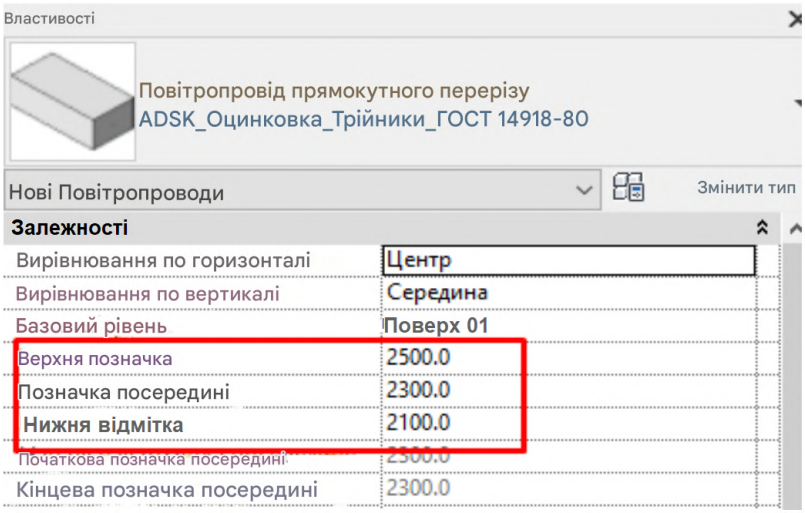


Рис. 4.55 - Налаштування параметрів повітроводу до побудови

Особливості побудови повітроводів.

У процесі проектування допускається перевизначити ім'я системи, при цьому необхідно виконати таке:

- Навівши курсор на частину системи, кілька разів натиснути клавішу Tab для виділення всіх елементів, що становлять систему (рис. 4.56).

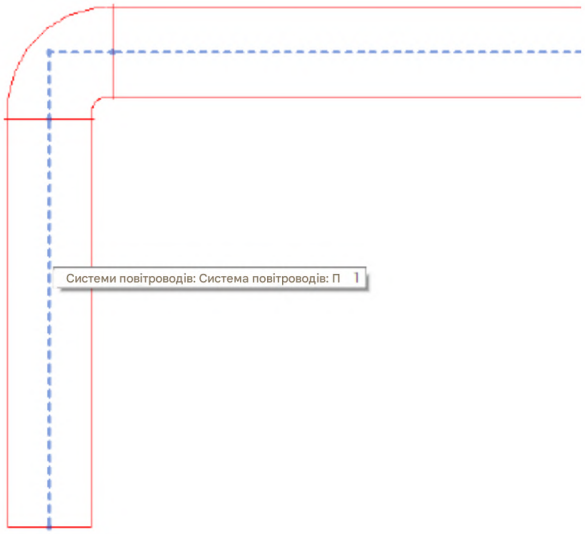


Рис. 4.56 - Вибір збудованої системи в галузі проектування

У панелі властивостей змінити ім'я системи. Важливо проконтролювати, щоб система повністю мала одне ім'я системи та має бути герметичною, тобто з'єднання виконано лише між елементами однієї системи. Сполучні деталі повітроводів приєднуються майже під будь-яким кутом (за винятком негативних).

- При використанні повітроводів категорії **В** необхідно додавати для них внутрішню ізоляцію. **За замовчуванням** товщиною 1мм (рис. 4.57). Це потрібно для того, щоб товщина повітроводів приписувалася коректно.

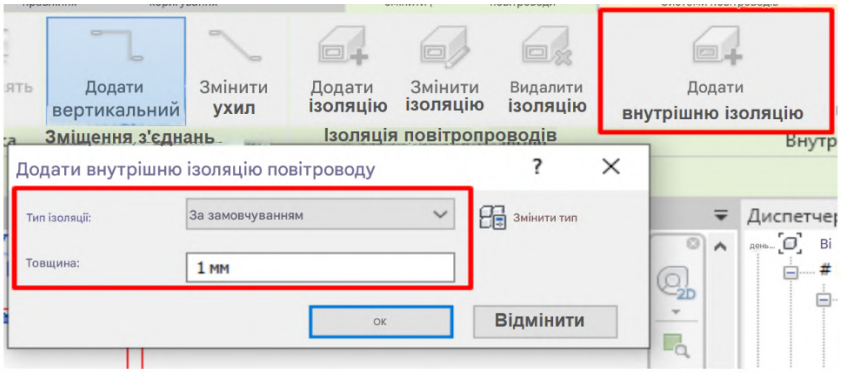


Рис. 4.57 - Додавання внутрішньої ізоляції повітроводу

2.3.1 Розташування арматури повітроводів

Принцип розміщення арматури повітроводів аналогічний методиці розміщення арматури трубопроводів. Рекомендується дотримуватись наступного порядку дій:

1) Активувати інструмент на вкладці **Системи** (рис. 4.58).

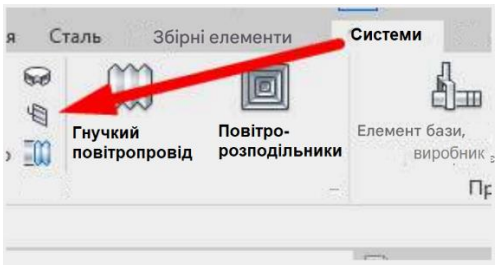


Рис. 4.58 - Інструмент для розміщення арматури

2) Вибрати потрібний тип арматури (рис. 4.59). Важливо, що у стартовому шаблоні не підвантажено жодне сімейство арматури. Це можна зробити самостійно або сформувати завдання BIM-координатор проекту.

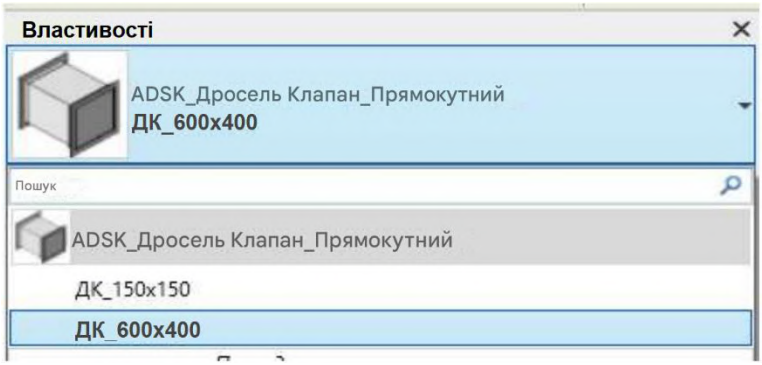


Рис. 4.59 - Вибір арматури

3) Встановлення арматури виконується шляхом наведення на вісь повітроводу та підтвердження місця розташування клацанням лівої кнопки миші.

Особливості розміщення арматури

При підвантаженні в проект арматури ADSK необхідно створити додатковий тип для налаштування значень необхідних габаритів для цього:

1. Виділити в проекті арматуру, на панелі **Властивості** натиснути кнопку **Змінити тип**.
2. Створити новий тип на основі існуючого (рис. 4.60).



Рис. 4.60 - Створення нового типу на основі копії існуючого

3. Змінити у новому типі значення розмірів на відповідні (рис. 4.61).

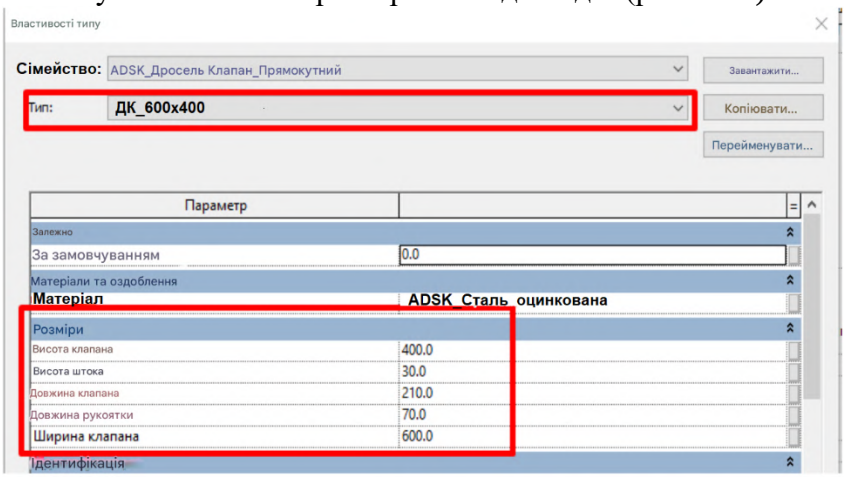


Рис. 4.61 - Зміна габаритів для нового типу арматури

3.3.3 Розміщення обладнання вентиляції

Методика розміщення обладнання аналогічна принципам розміщення обладнання при проектуванні системи опалення:

1) Вибрати інструмент **Механічне обладнання** на вкладці **Системи.**

Важливо пам'ятати, що у складі стартового шаблону немає сімейства арматури. Підвантажити необхідні сімейства можна самостійно або надіслати відповідне завдання BIM-координатору проекту.

2) Вибрати необхідне для проекту обладнання (рис. 4.62).

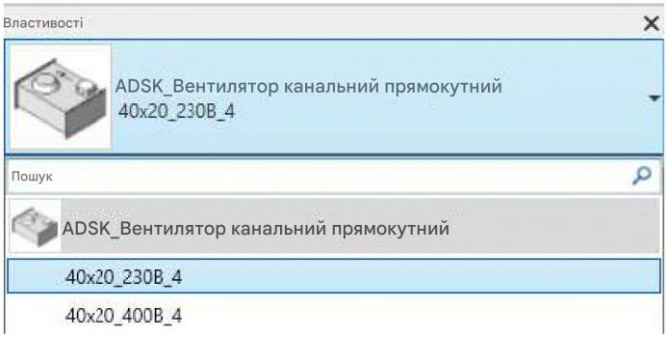


Рис. 4.62 - Вибір вентилятора

3) Розмістити обладнання для підключення мереж або встановити на вісь повітроводу, у цьому випадку елемент підключиться автоматично.

Принцип роботи з вентиляційним обладнанням аналогічний до методики налаштування категорії обладнання для системи опалення.

2.3.2 Принципи налаштування ізоляції повітроводів

Нанесення ізоляції для системи аналогічно до розглянутої раніше методики при роботі з системою опалення:

1) Вибрати повітропровід або мережу повітроводів.
2) Активувати інструмент Додати ізоляцію (рис. 4.63).

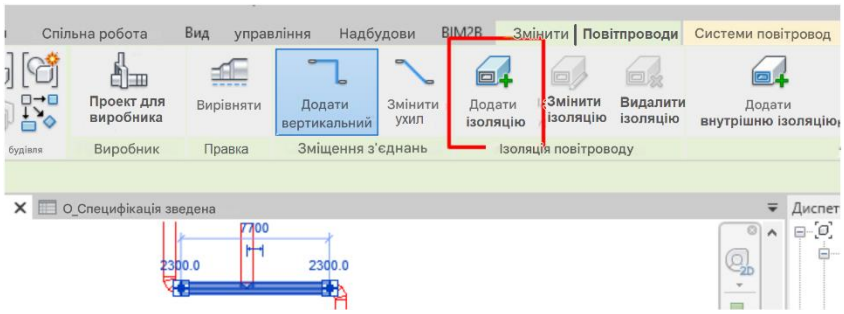


Рис. 4.63 - Вибір інструменту **Додати ізоляцію**

3) Вибрати потрібний тип ізоляції (або створити свій на основі існуючого), задати товщину.

4) Підтвердити налаштування натисканням кнопки ОК у діалоговому вікні.

Для цього проекту було розроблено в середовищі Revit системи опалення та вентиляції для всієї будівлі (рис. 4.64).

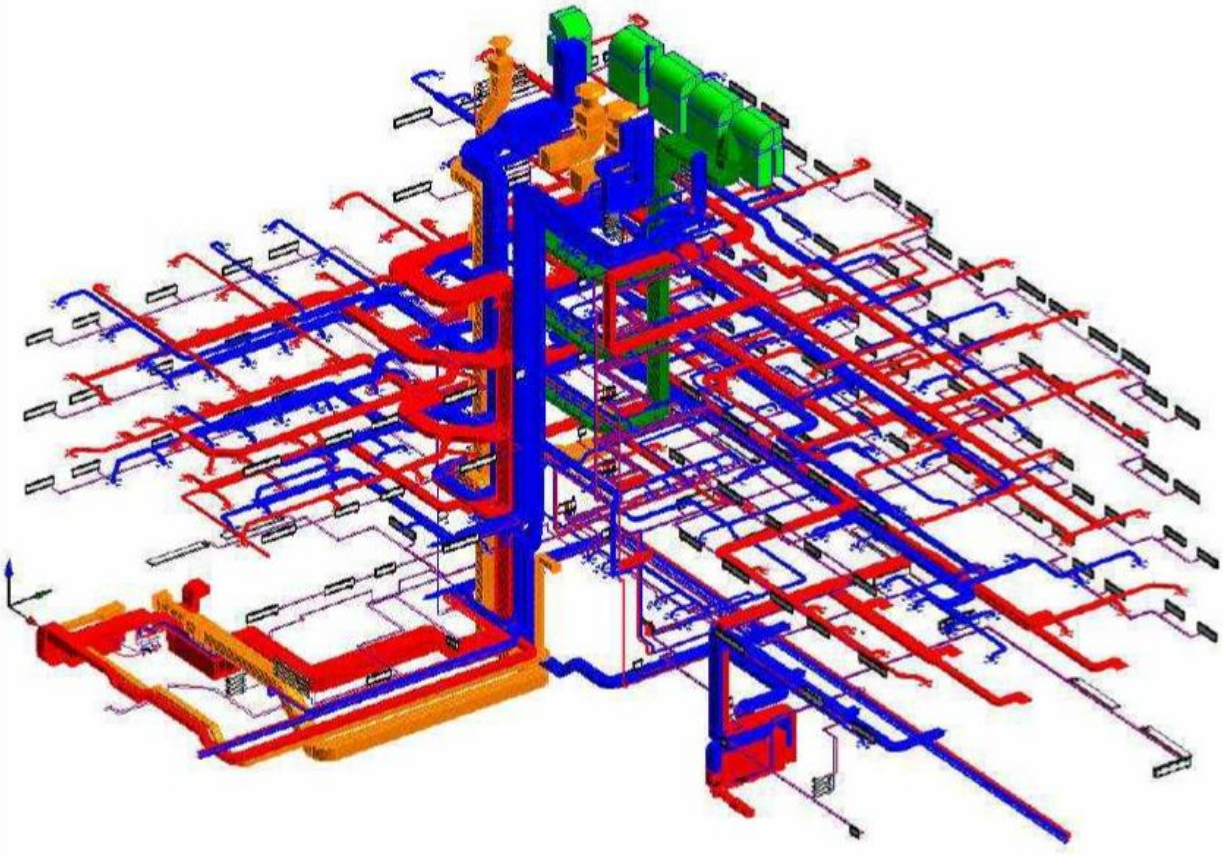


Рис. 4.64 - Спроектовані системи будівлі

На рис. 4.65 представлена система опалення 1-го поверху. Підібрано, розміщено у проекті та підключено обладнання для кожного поверху.

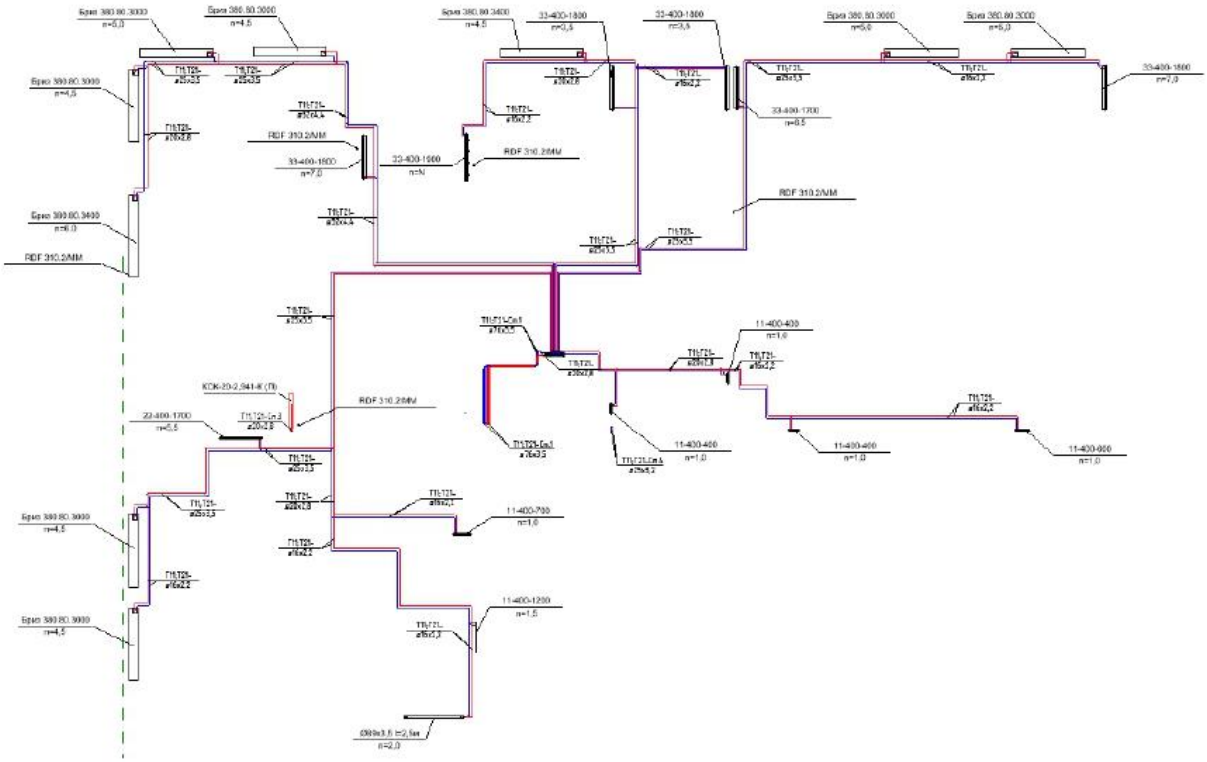


Рис. 4.65 - Система опалення 1-го поверху

3. НАПОВНЕННЯ МОДЕЛІ БУДІВЛІ ІНЖЕНЕРНИМИ МЕРЕЖАМИ ОВ У ПРОГРАМІ LINEAR

При розробці проектної та робочої документації проектні компанії та проектувальники інженерних мереж ОВ мають багато труднощів. Відсутній загальний підхід щодо розробки проекту в БІМ моделі. Кожен проектувальник працює у своїх розрахункових програмах, найчастіше це таблиці в MS EXCEL, які зрозумілі тільки йому самому. При розрахунках немає загальної бази, на яку можна спиратися, і яка буде доступна всім учасникам проекту, навіть твоїм колегам по мережі. Виконавши певний набір операцій, доводиться знову і знову робити один і ті ж кроки, кожного разу перевіряючи себе на помилки через неуважність. Виконання дублюючих дій витрачає час проектувальника, керівництва компанії та замовника.

Рішенням для цієї проблеми виявлено програмне забезпечення від німецької компанії LINEAR [22]. Дана програма розроблена спеціально для платформи Autodesk Revit для проектування систем опалення та вентиляції. Робота виконує безпосередньо в моделі з повною інтеграцією розрахунків ОВ, ефективно взаємодіючи в рамках комплексного проектування з BIM.

На рис. 4.66 зображено основні етапи проектування у програмі LINEAR.

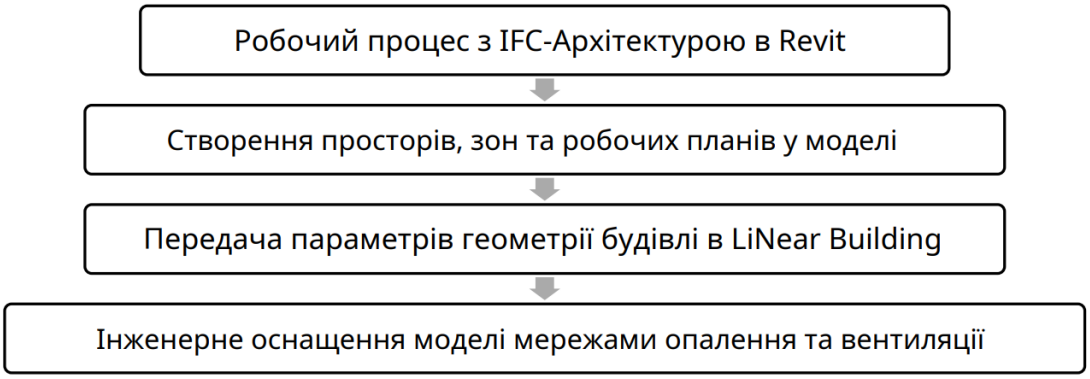


Рис. 4.66 - Етапи проектування

Робочий процес з IFC-архітектурою в Revit

В основі проекту інженерних мереж завжди закладено модель будівлі, для загального підходу розглядається процес роботи з архітектурою IFC. Функція Revit зв'язку може пов'язувати також Revit - моделі, креслення CAD або хмари точок із поточним проектом. Процес роботи з IFC-AP можна поділити на кілька важливих етапів (рис. 4.67).



Рис. 4.67 - Процес роботи з IFC -AP

Як зв'язок використовується архітектурна модель Адміністративна будівля.

Перевірка файлу IFC, налаштування проекту

Перед прив'язкою файлу IFC у новому проекті в Revit, на підставі Програми перегляду слід переконатися, що такі структурні елементи, як стіни, вікна, перекриття та дах - були правильно класифіковані, що здійснили експорт авторської програми і значною мірою не містять колізій. Крім того, потрібні приміщення, як IFC елементів, щоб можна було зручно перенести модель в Revit.

Розглянемо з прикладу Autodesk Navisworks. Відкриємо його та завантажимо з папки проекту. Використовуючи структуру **Дерево вибору**, можна візуалізувати різні поверхи (рис. 4.68).

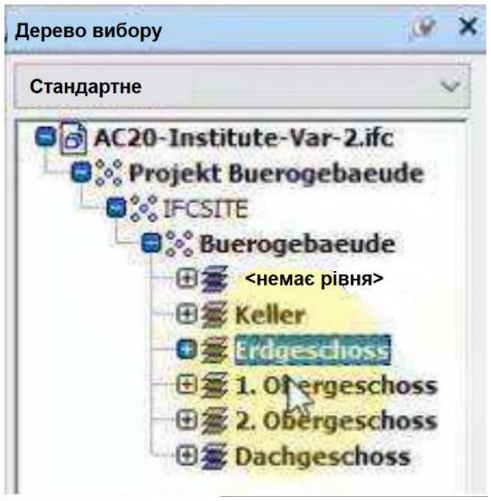


Рис. 4.68 - Дерево вибору в Autodesk Navisworks

Наприклад, виберемо одне приміщення і спробуємо вимкнути або включити його, клацнувши на галочку **Сховати**. У властивостях об'єкта перебувають параметри **IfcName** і **LongNameOverride** (Рис. 69), якого далі під час розгляду цього розділу буде звернення

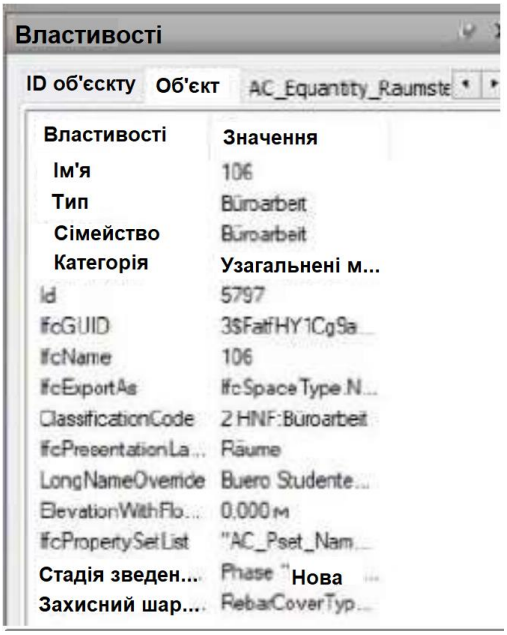


Рис. 4.69 - Властивість простору в Navisworks

Якщо одна з цих умов не виконується, необхідно узгодження вимог з архітектором для редагування класифікації експорту, фільтра видачі та характеристик створення геометрії. У цьому IFC, поряд із приміщеннями, знаходяться стіни, вікна, міжповерхові перекриття та дахи.

Переходимо до запуску Linear CAD 25. Якщо встановлено кілька CAD-програм, то з'явиться вікно вибору. Вибираємо Autodesk Revit 2025. Зліва на вкладці Проекти, створюємо

новий проект на основі шаблону **Шаблон Linear.** Натискаємо Ок. Запускається редагування. Даний шаблон містить у собі тільки найнеобхідніші сімейства. Всі необхідні креслення та види динамічно створюються в Linear Desktop під час проектування.

Призначення класів IFC до категорій Revit.

Перед прив'язкою файлу IFC можна перевірити, чи призначені ті класи та типи IFC відповідним категоріям Revit. На вкладці **LiNear** можна відкрити та відредагувати таблиці конфігурації імпорту IFC (рис. 4.70), клас і тип можуть бути вказані довільно.

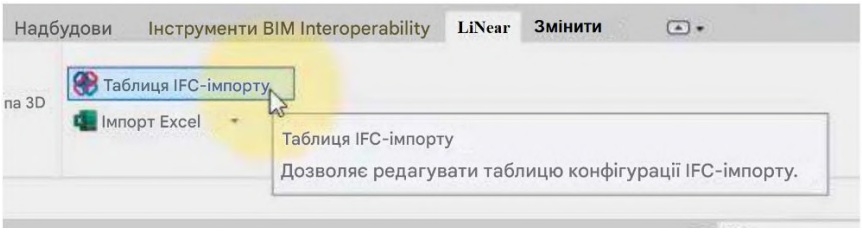


Рис. 4.70 - Таблиця конфігурації IFC -імпорту

Огляд заданих типів за замовчуванням і їх значень міститься в специфікації IFC від компанії building smart [23]. Детальна інформація про конфігурацію інтерфейсу IFC в Revit знаходиться в Revit -керівництві, наданий Autodesk англійською мовою [24].

Надалі ми припускаємо, що зв'язок IFC виконується зі стандартними налаштуваннями.

Класи, типи та дисципліни систем.

Типи системи служать для класифікації труб, повітроводів та елементів. Тип системи складається з дисципліни liNear, класу системи liNear і класу системи Revit (рис. 4.71). Найменування типу системи за замовчування складається зі скорочення дисципліни та назви класу системи liNear. Типам систем надається колір та тип розрахунку системи. На підставі присвоєного типу системи труби, повітропроводи та елементи розпізнаються при аналізі трубопровідної та вентиляційної мережі, а також визначаються їх розміри.

Перед проектуванням трубопроводів та повітроводів, вибравши дисципліну та клас системи liNear, призначте тип системи для автоматичного присвоєння трубопроводів та повітроводів під час проектування.

Класи систем. Класи системи liNear та класи системи Revit відрізняються один від одного. Класи системи Revit чітко визначені та не можуть бути доповнені. Для використання додаткових типів системи, необхідні для розрахунків трубопровідної та вентиляційної мережі, потрібні класи системи liNear. Кожен клас системи liNear є класом системи Revit та присвоєний певному типу розрахунку

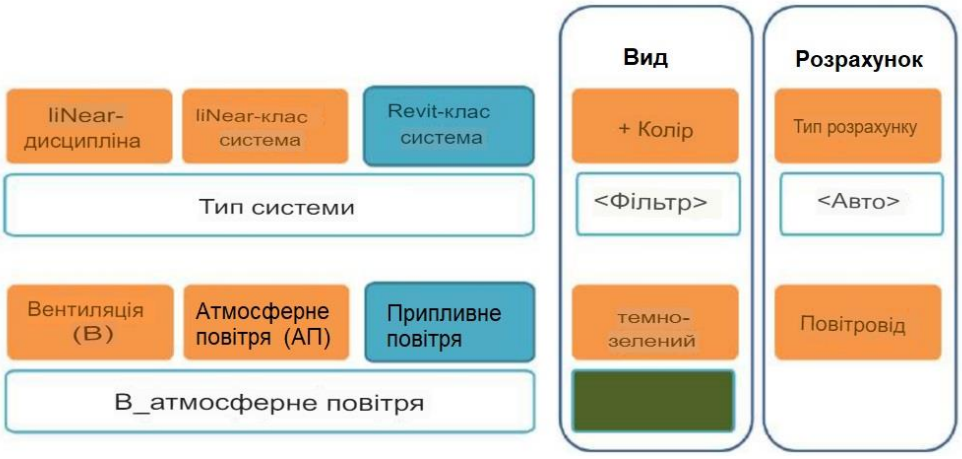


Рис. 4.71 - Концепція типів систем

У діалозі **Класи системи** представлені всі класи системи liNear та їх властивості. Відповідно до цієї інформації визначаються типи системи. Кожному класу системи присвоюється: дисципліна, клас системи та тип розрахунку liNear, а також зазначено скорочення та кольорове уявлення трубопроводів та повітроводів. Можна створювати нові класи системи liNear або змінювати існуючі.

Дисципліни. Дисципліни є верхніми організаційними елементами. Кожен елемент моделі призначений для будь-якої дисципліни.

Дисципліни виконують такі завдання:

- надання відповідних функцій на вкладці **Конструкція**;
- надання відповідних видів на вкладці **Проект**;
- надання відповідних класів систем на вкладці **Конструкція**;
- надання відповідних бібліотек на вкладці **Бібліотека**;
- управління показом труб, каналів та елементів на моделі;
- найменування типів системи при проектуванні трубопроводів та повітроводів.

Зв'язок із IFC -Архітектурою

Спочатку панель керування повинна містити стандартні налаштування, оскільки Linear Cad був щойно запущений. Це означає, що на першій вкладці **Проект** вибрано дисципліну **Архітектура** (рис. 4.72). При натисканні кнопки **Зв'язок**, ми маємо можливість додати АР як IFC.

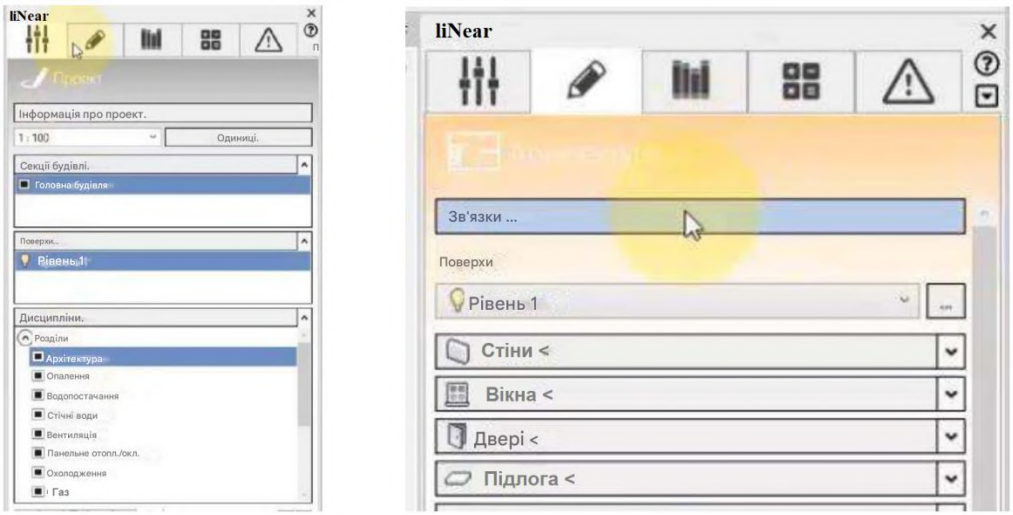


Рис. 4.72 - Панель управління АР

У фоновому режимі Revit автоматично створює файл розширення .ifc, rvt. Цей файл містить модель Revit, яка є репрезентацією, закладеної в IFC геометрії та атрибутом. Слід зазначити обставину, що згенеровану модель можна відкривати і частково модифікувати в Revit, але повноцінне редагування неможливе. Такі елементи як стіни, вікна та перекриття та двері хоч і були правильно категоризовані у цієї моделі, але редагування з використанням звичайних інструментів Revit неможливо. Таким чином посилання на АР буде створено.

Імпорт поверхів. Зробимо імпорт закладених у моделі IFC рівнів до нашої моделі з інженерними системами, а вже існуючий у ній рівень - видалимо. У проекті має існувати лише одна система рівнів.

Під кнопкою **Зв'язку** можна побачити обраний для побудови поверх та таблицю з даними по поверхах. У цьому діалоговому вікні можна імпортувати та синхронізувати рівні з IFC АР. Після створення рівнів створюємо відповідні їм види.

Можливість візуалізації, відключення маркування рівнів із посилань

На вигляді можуть бути видно і рівні посилання, що містять дані про висоту в метрах (рис. 73), хоча значення інших рівнів відображаються в мм.



Рис. 4.73 - Рівні моделі

Вимкнути маркування посилання можна у вкладці **Властивості** - **Перевизначення видимості графіки** для цього виду (рис. 4.74). Після відключення видимості рівнів у зв'язаному файлі АР стають видно лише рівні поточного файлу.

Для покращення подання рекомендується відключення узагальнених моделей із посилання. Зазвичай це призводить до того, що графічні уявлення про приміщення, наприклад, отворів, більше не відображаються так виражено.

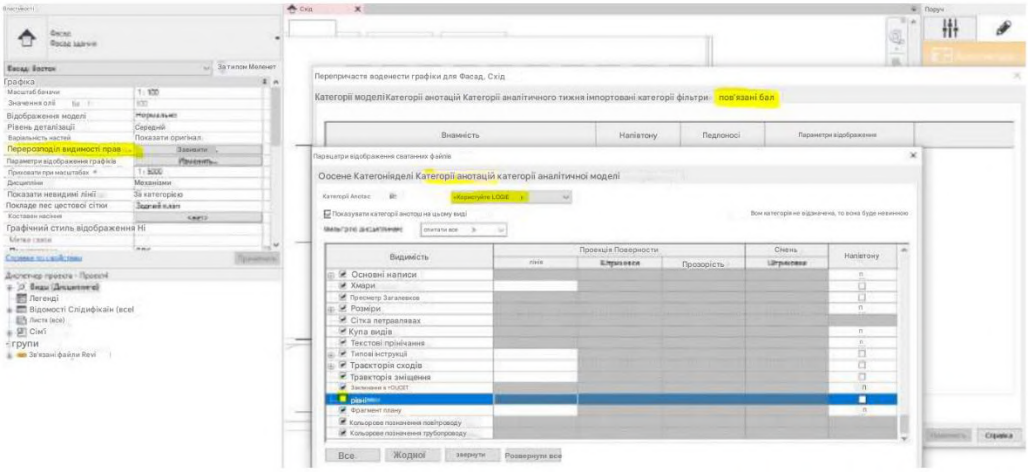


Рис. 4.74 - Налаштування вигляду

Для демонстрації дозволяється вибір фіксованих елементів на даному вигляді, відкріпивши значок шпильки праворуч унизу робочого простору. Тепер натискаючи клавішу табуляції, вибераються елементи із посилання. Таким чином, бачимо, що захисний шар арматури, узагальненої моделі, закриває вікна. У розділі дисципліни категорії **Архітектура** відключається параметр **Корпус моделі** у цьому вигляді, включаючи посилання (рис. 4.75). Таким чином, можна легко виявити помилки таблиці класифікації IFC.

У разі появи помилок процедура прив'язки замість правильних категорій, буде генерувати узагальнені моделі, як тимчасове рішення. Це може призвести до технічних проблем наступних процесів – розрахунок опалювальних, холодильних навантажень, проектування отворів та отворів.

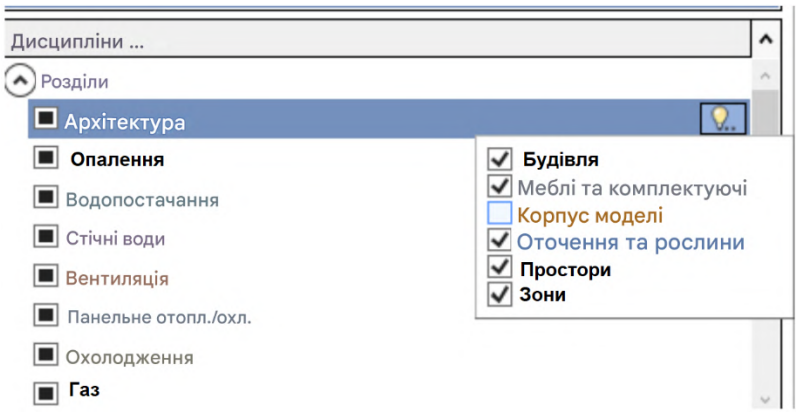


Рис. 4.75 - Редагування відображення для виявлення помилок IFC AP

Створення просторів та зон

Налаштування розрахункової висоти. Натискаючи на будь-яке маркування рівня, у вікні властивостей з'являється можливість встановлення розрахункової висоти для просторів.

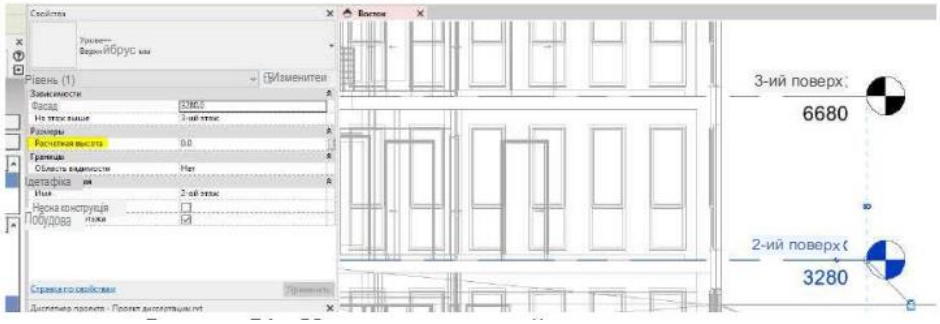


Рис 4.76 - Встановлення розрахункової висоти простору

Необхідно створити вид плану для кожного поверху, щоб розмістити на них простори. Для цього в області керування видами на панелі керування, вибирається вкладку відповідні плани та натискається на зелений плюс, для створення нових планів (рис 4.77). У вікні всі опції вже доцільно задані за замовчуванням.

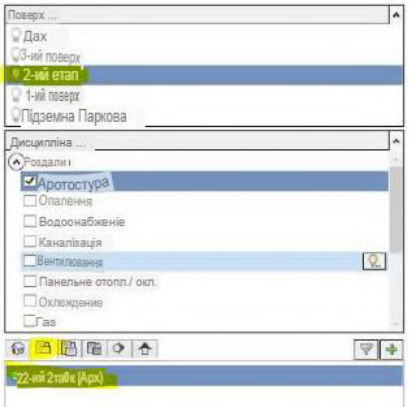


Рис 4.77 - Створення планів

Тепер при перемиканні між поверхами завжди пропонується відповідний вид в управлінні видами. Назви плану виставляється у вигляді закладеної конфігурації схеми. Будь-який неактивний вигляд у будь-який момент може бути перейменований, названий за замовчуванням або видалений.

На кожному вигляді головних рівнів можна створити простори, необхідні для визначення опалювального навантаження.

Приміщення в IFC створюються як узагальнені моделі і тому безкорисні для подальшого проектування інженерних систем. Щоб мати можливість надалі розраховувати навантаження, спочатку потрібно, як і в робочому процесі Close BIM, створити відповідний простір.

Для створення просторів перейдено в дисципліну **Архітектура**, на вкладку конструкції на панелі керування. Створення просторів здійснює поверх за поверхом, на відповідному плані. Під вкладкою **Зв'язки** виконується вибір поверху. При зміні поверху в даному вікні автоматично генерується відповідний план даного поверху.

Передача даних із АР. Перед створенням просторів треба перевірити налаштування передачі даних з архітектури, як мінімум, повинні бути імпортовані номери та найменування приміщень. За умовчанням для назв та номерів приміщень застосовуються змінні $Name та $Number (рис 4.78).

Використовуючи кнопку **Застосування додаткових параметрів** можна, наприклад, додати назви квартир, якщо такий параметр вже визначено. Таким чином, поквартирний поділ може бути реалізовано в LiNear Building.

Бачимо, що у списки відображаються імена ifcName та LongNameOverride, раніше які були видно в Navisworks (рис 4.79). Їх можна використовувати для створення номерів та назв приміщень, щоб ці дані могли бути передані вже в процесі створення просторів.

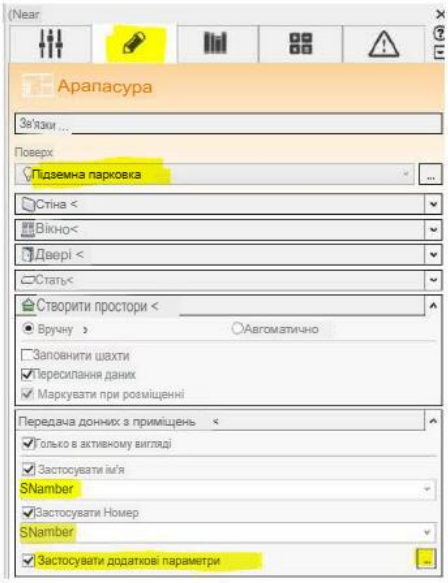


Рис 4.78 - Прийняття даних про приміщення з пов'язаного файлу

Створення просторів почнемо з підвалу, використовуючи Створення просторів MEP, додаючи їх вручну або автоматично.

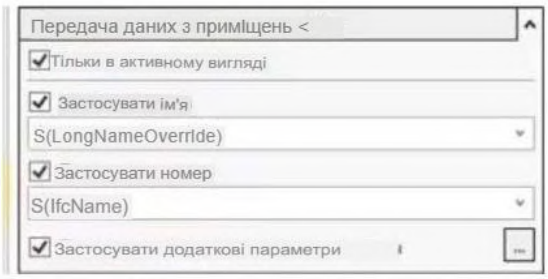


Рис 4.79 - Додаткові параметри передачі даних з приміщень

Для автоматичного створення просторів можна активувати автоматичне маркування. Спосіб автоматичного створення заощаджує тимчасовий ресурс, тому що при цьому потрібно всього два кліки миші для кожного рівня і повноцінне перенесення даних приміщень у просторі готове.

Наприкінці створення в правому нижньому кутку з'являється повідомлення, скільки просторів і шахт було створено (рис 4.80).

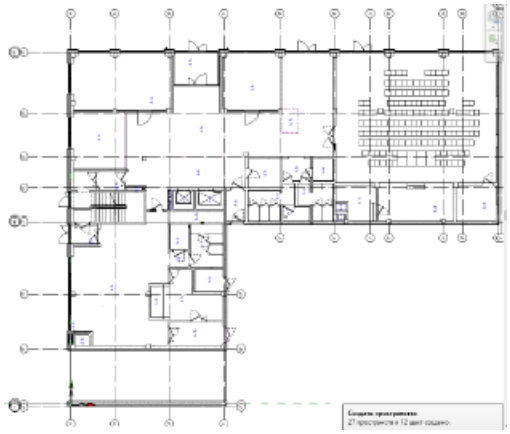


Рис 4.80 - План 1 поверху з повідомленням про створені простори та шахти

На першому поверсі будівлі розміщено 27 приміщень, 12 шахт. Простори на поверхах визначаються відповідно до заданої висоти приміщень з архітектури до верхньої межі наступного поверху. Аналогічним чином створюються простори та інших поверхах. Вибираючи одне з приміщень, можна проконтролювати верхню межу та зміщення. У кожному випадку як верхній кордон повинен бути заданий наступний поверх без зміщення. Дане усунення відображено у **Властивості** (рис 4.81).



Рис 4.81 - Властивості простору

На останньому поверсі технічні приміщення - наступний поверх відсутній, тому вказується зміщення рівне висоті поверху, простір знаходить конструкцію даху у всіх точках.

Зображення просторів. Кожен простір є елементом зонування. Усі місця, що створюються спочатку знаходяться в зоні **За замовчуванням**. Для поділу просторів різними зонами корисно візуалізувати їх, щоб легше орієнтуватися у будівлі. Простір може бути відображено на будь-якому з існуючих вигляді шляхом вибору функції **Показати**.

За допомогою інструмента **Рамка** вибору 3D можна розглянути у 3-мірному вигляді будь-яке приміщення або простір окремо (рис 4.82).



Рис 4.82 – 3D вигляд простору окремо та розташування в моделі

Зонування. Зонування дозволяє центрально регулювати потрібні температури для режимів обігріву і охолодження. вибирати, перейменовувати їх або призначати відповідні температурні режими.

Для зон технічних приміщень, сходової клітки, горища та підвалу (рис 4.83) необхідно задати значення температури повітря згідно з нормативами [25].

В області **Типи системи** можна задати найменування для трубопровідної системи. Для позначення дисципліни можна вибрати як скорочення, так і повністю прописане найменування.

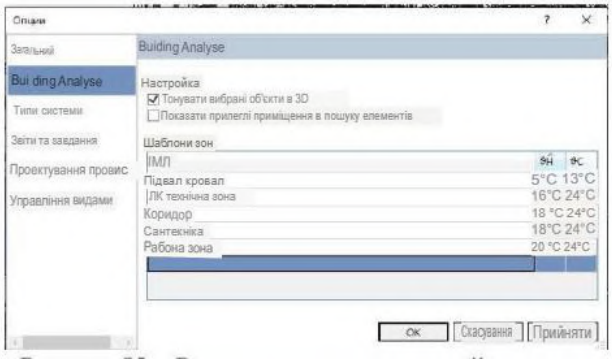


Рис 4.83 - Розподіл приміщень по зонах

Окремі зони та області температур можна відобразити, створивши 3-мірний вигляд (рис 84). Кнопки Рівні та Зони дозволяють відображати два варіанти призначення просторів. Дозволяється змінювати значення температур опалення у властивостях зони, після коригування дані файлу інженерних систем оновляться. Якщо простори більше не відповідають будь-якій зоні, то можна визначити приналежність іншій зоні. У результаті модель готова до передачі даних.

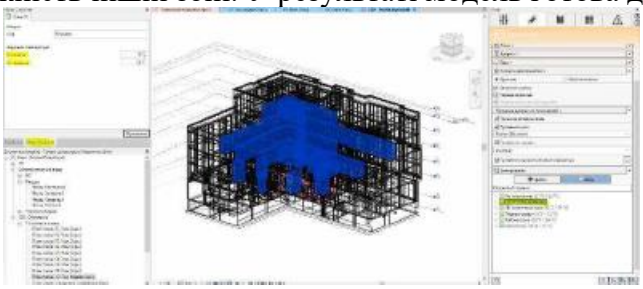


Рис 4.84 - Вибрана зона коридорів у моделі

Розділ зі створення робочих просторів, зон та планів для розрахунку дозволяє комплексно проаналізувати модель будівлі, побачити подальший фронт роботи та скинути баласт з передачі параметрів геометрії моделі.

Передача параметрів та аналіз геометрії будівлі

Необхідно активувати вкладку **Аналіз**. Якщо запустити передачу даних в LiNear Building відразу, то в IFC модель не будуть передані властивості матеріалів із багатошарових стін. Якщо в елементах, таких як стіни, вікна та двері, вже закладені коефіцієнти теплопередачі, то відповідний параметр може бути заданий конфігурацією. Проте слід переконається, що у цій точці передачі закладено розумні значення. Якщо ви не впевнені в цьому, не слід довіряти зазначеним значенням. Натомість просто задати структуру шарів або коефіцієнти теплопередачі в основній таблиці файлів проекту в LiNear Building.

У разі коефіцієнти теплопередачі з ШС відсутні. Щоб зрозуміти, де ці параметри потрібно вказувати, потрібно відкрити вкладку **Керування параметрами**. У цьому діалоговому вікні можна встановити кілька псевдонімів параметрів, допускаються відмінності назв для різних елементів (рис 4.85).

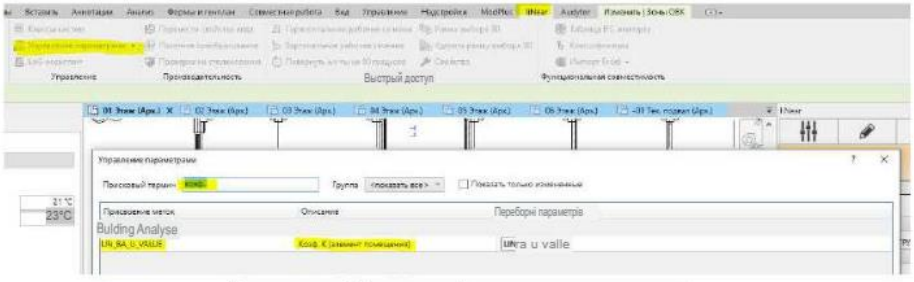


Рис 4.85 - Керування параметрами

Відкриємо Building натискаючи кнопку **Аналіз даних будівлі** (рис 4.86).

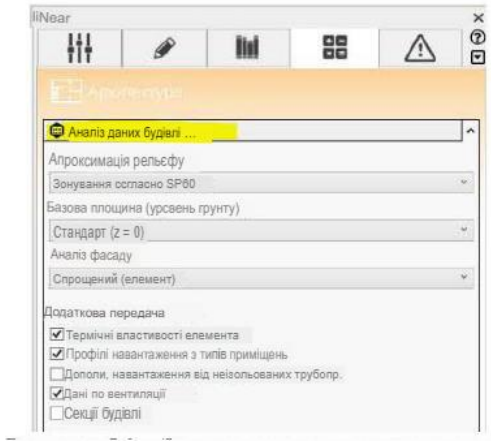


Рис 4.86 - Запуск аналізу даних будівлі

Виконаємо аналіз даних будівлі на основі стандартного шаблону (рис 4.87).

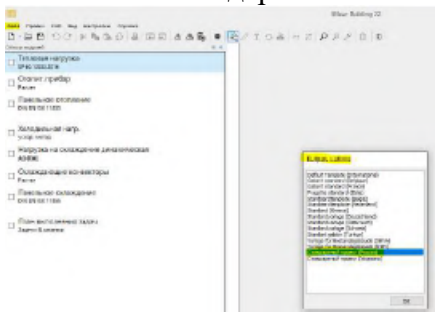


Рис 4.87 - Шаблон для розрахунку теплового навантаження будівлі

З'являється повідомлення про наявні звіти (рис. 4.88). Потім відкривається діалогове вікно для введення загальних даних будівлі.

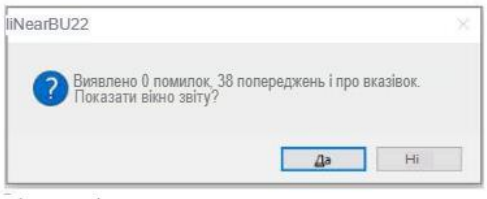


Рис 4.88 - Вікно звіту із попередженнями про конструкцію будівлі

Вибирається тип будівлі, в даному випадку - Офісний/Адміністративний будинок, глибина фундаментальної плити 3.2 м (рис 4.89).

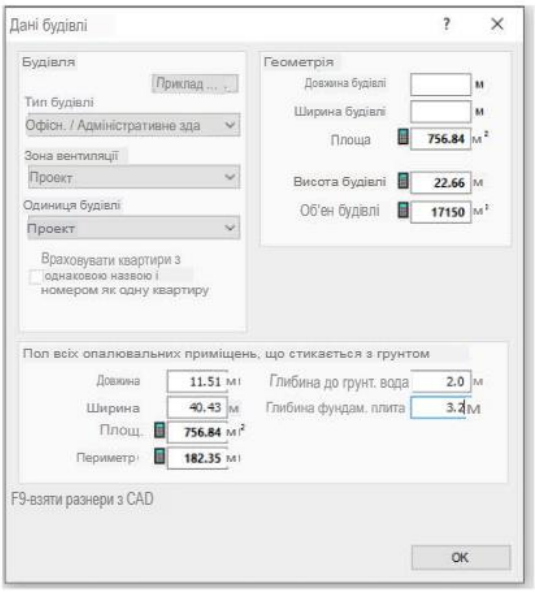


Рис 4.89 - Введення даних про будівлю

Потім перейдемо в модуль **Теплове навантаження**, параметри якого відповідають ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування» [26].

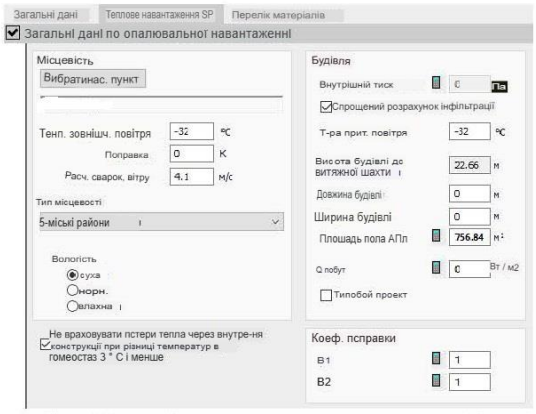


Рис 4.90 - Введення загальних даних щодо опалювального навантаження

Вивчення звіту виконується у Revit. Помилка про «елементи, що перекриваються» є стандартною і з'являється часто (рис 4.91) та повідомляє про перекриття, що накладаються один на одного. Вона виникла через конструкцію самої будівлі, що наклалася з моделі IFC. Зі звітів можна згенерувати корекційні завдання, до яких можна додавати коментарі та скріншоти.

На вкладці **Теми** можна створити групу та обмінюватися ними з усіма учасниками проекту. Редагування звітів і завдань може бути задокументовано.

Командою зумування в панелі управління LiNear Building виявляється елемент, що відноситься до обраної строчки, у тому числі і в пов'язаних моделях.

Інструмент для пошуку **Піпетка** допомагає знаходити елементи, що вибираються в Revit, відповідні рядкам таблиці. Для цих команд корисний налаштований на поверх 3D вид із напівпрозорим тонуванням, на якому відключено категорію **Узагальнена модель.**

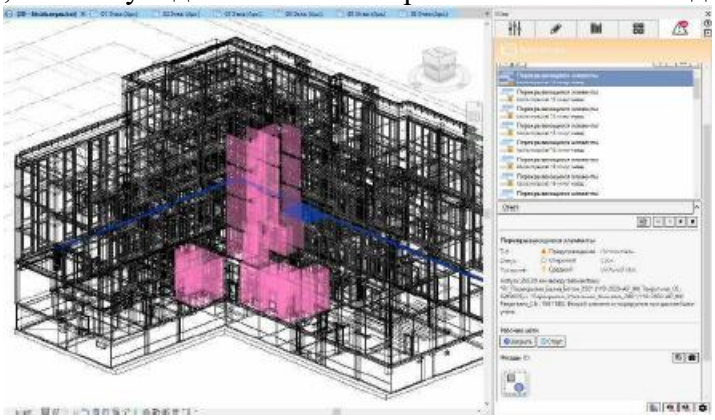


Рис 4.91 - Поширена помилка про накладання елементів АР

Структура будівлі правильна, але в модулі **Теплове навантаження** з'являються повідомлення про коефіцієнти теплопередач, що відсіють. Їх можна ввести в основній таблиці файлів. Для опалювального навантаження всі коефіцієнти теплопередачі, крім елементів, що стикаються з грунтом, можуть бути задані. Для розрахунку динамічного навантаження на охолодження потрібна докладна структура шарів

3.1 Оснащення моделі системою опалення

У цьому розділі розглядаються основні процеси роботи з розробки системи опалення:

- Термічні характеристики будівлі
- Розрахунок тепловтрат будівлі.
- Розрахунок та підбір опалювальних приладів.
- Перенесення приладів у проект.
- Опалення приміщень системою тепла підлога.

- Трасування та розрахунок системи опалення.
- Розміщення генератора тепла.
- Обхід перетинів.

Термічні характеристики будівлі. Розрахунок тепловтрат будинків будуть проводитися в програмі LiNear Building в модулі **Структура будівлі**. Приміщення, деактивовані для розрахунку опалювального навантаження, відображаються у структурі будівлі із символом – червоний кружок із білим мінусом. Таке приміщення було враховано в аналізі, але приміщенням, що межують, передається тільки температура.

Символ червоного трикутника зі знаком оклику вказує на попередження, яке більш детально описано у вікні протоколу в нижньому правому куті вікна програми (рис 92).



Рис 4.92 - Позначення помилок у приміщенні

Праворуч поряд зі структурою будівлі спочатку показані загальні параметри для розрахунку опалювального навантаження.

Аналіз помилок. Натиснувши на кнопку повідомлень зліва на вікні протоколу, можна побачити попередження для активованого модуля. Розглянемо одне із повідомлень, клацнувши на нього (рис4.93). Необхідно перейти до елемента, в якому сталася помилка.

Дане повідомлення слід уважно переглянути, щоб виконати коригування. У разі не заданий коефіцієнт теплопередачі для вікна: К=0.00.

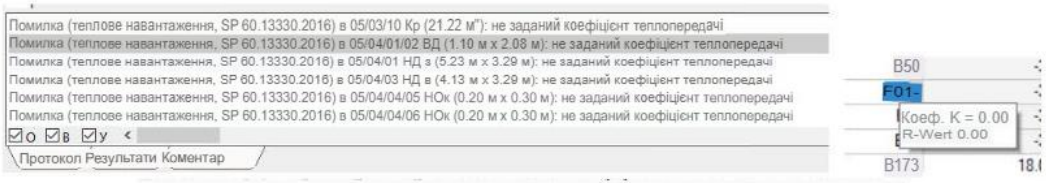


Рис 4.94 - Помилка про відсутність коефіцієнта теплопередачі

Визначається коефіцієнт теплопередачі вікна. Як правило, він знаходиться у списку останніх повідомлень. Після вибору списку програма перейде до основних таблиць файла. Назва змінних залежить від порядку створення елементів на моделі, і тому коефіцієнти теплопередачі елементів, що навіть мають однакове позначення, можуть відрізнятися для кожного проекту.

В основних таблицях файлу знаходиться шукана змінна області елементів Revit. В областях вікна та двері знаходяться ще більше помилок, навіть наявні коефіцієнти теплопередач не відповідають вимогам.

Слухові вікна з коефіцієнтом теплопередачі рівні 5,560 Вт/м2 К не є актуальними. Якщо відповідні норми коефіцієнти теплопередачі від зазначених у Revit, то змінюємо значення (рис 4.95).



Рис 4.95 - Вікно з коефіцієнтами елементів

Аналогічний порядок дій для дверей. Коефіцієнт теплопередачі відсутній лише для одних дверей, але й в інших дверях призначені значення відповідають поточним приписам (рис 4.96). Аналогічні дії виконуються для стін та перекриттів.

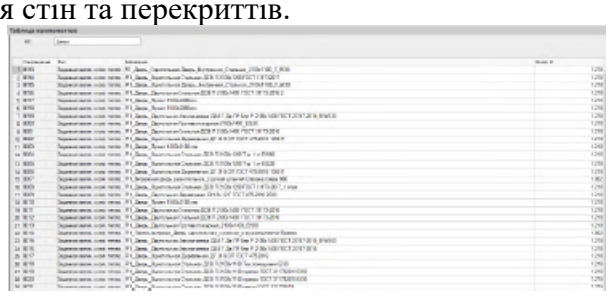


Рис 4.96 - Коефіцієнти теплопередачі для дверей

Залишається лише один невідомий тип елементів. Такі елементи виникають, як правило, внаслідок неакуратної роботи з моделлю АР.

Щоб з'ясувати, де такі елементи знаходяться в моделі, пробують видалити коефіцієнт теплопередачі, його можна видалити лише в тому випадку, якщо він не використовується. Інакше з'явиться підказка, де моделі його можна визначити, в повідомленні вказаний поверх, приміщення і рядок. При видаленні елемента з'явиться попереджувальне діалогове вікно (рис. 4.97).

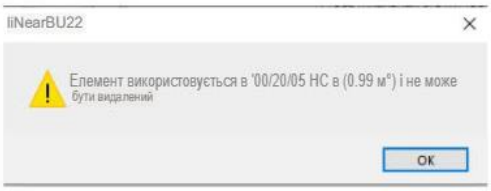


Рис 4.97 - Діалогове вікно видалення невідомого елемента

В такому випадку елемент знаходиться на першому поверсі. Замість стіни була використана лінія роздільника, так як ця область не розраховується, а повністю отримує теплоту з сусідніх приміщень, то в даному прикладі можна проігнорувати це попередження. попередження буде відкладено назавжди.

Оскільки навіть за оновлення даних будівлі, відредаговані вручені коефіцієнти теплопередачі, не перезаписуються. В основних таблицях файлу завершено всі необхідні зміни. Важливо зняти прапорець для передачі термічних властивостей елементів на вкладці **Аналіз даних** будівлі, щоб зміни не були перезаписані під час оновлення даних будівлі (рис. 4.98).

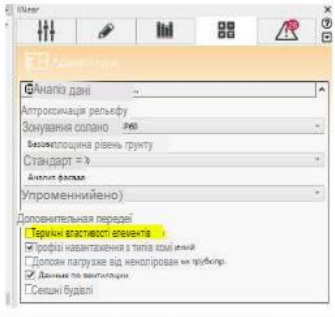


Рис 4.98 -Параметри налаштування для аналізу даних

У списку елементів структури будівлі необхідно деактивувати окремі приміщення, такі як кросова та електрощитова, в яких буде встановлений електрообігрів, та зону коридорів підвалу, прибравши прапорець у заголовку (рис. 4.99).

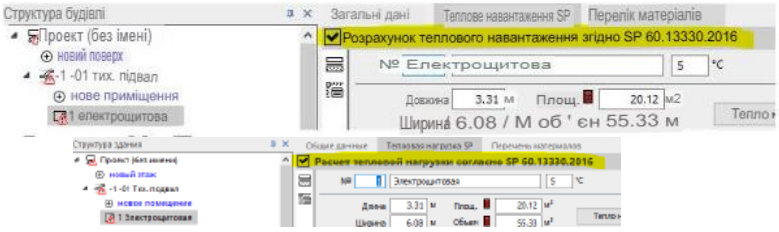


Рис 4.99 -Приміщення, що не опалюються водяним опаленням

Особливості розрахунку тепловтрат будівлі за ДБН В.2.5-67:2013 [26].

Відповідно до нормативу, зонування потрібне для всіх стін і підлог, що стикаються з ґрунтом. Компоненти, що стикаються з грунтом, поділяються на зони I-IV з інтервалом у два метри (рис 4.100).

Зона I примикає до поверхні землі, а зона IV є самою внутрішньою площею, яка простягається вздовж компонентів, що стикаються з грунтом, на відстані більше шести метрів від їх краю. У міру збільшення номера зони для обліку нерівномірного розподілу температур у грунті застосовується сильніший ізоляційний ефект. Якщо для компонента, що стикається з ґрунтом, є структура шарів, то значення визначається за зоною і значенням лямбда ізоляційного матеріалу відповідно до нормативу.

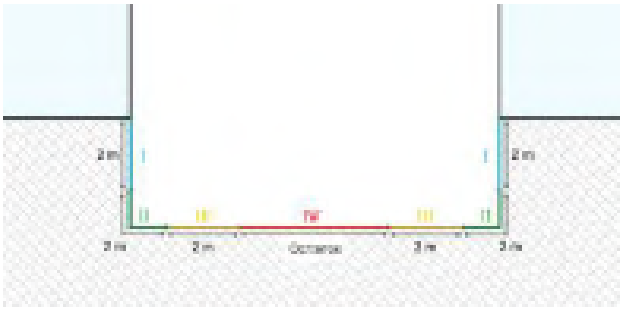


Рис 4.100 -Схема зонування навантаження

На підставі певного значення R і коефіцієнта теплопередачі компонента розраховується загальний коефіцієнт теплопередачі К(о) Якщо структура шарів компонента, що стикається з грунтом, невідома, то з'явиться попередження в протоколі і буде використовуватися числове значення Це попередження можна деактивувати в конфігурації на вкладці **Теплове навантаження СП.**

Окрім трансмісійних втрат у програмі автоматично визначаються потреби в теплоті про нагрівання інфільтраційного повітря, а також вентиляційні норми зовнішнього повітря (рис 4.101). У розрахункових втратах приміщення приймається більша з цих величин.



Рис 4.101 - Значення параметрів навантаження на інфільтрацію та вент. витрат

Переходять в структуру будівлі в програмі Linear Building на рівень проекту, щоб побачити вікно **Результати для загального теплового навантаження**. Підсумок становить 113 386 Вт (рисунок 4.102).

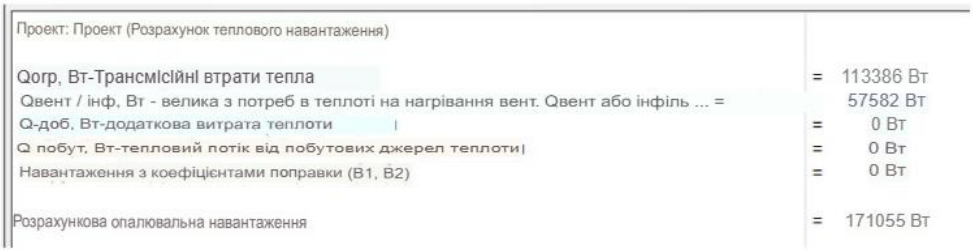


Рис 4.102 - Підсумок результатів розрахунків на опалювальне навантаження будівлі

У результаті порівнюють значення, отримані при розрахунку ручним способом та LiNear Building. Похибка становила 11% у менший бік. При ручному розрахунку навантаження вийшло дещо більшим. Згідно нормативів допускається погрішність 5%.

Приймати отримані дані для проектної документації можна, оскільки розрахунок будівлі зайняв приблизно 60 хвилин робочого часу, від початку завантаження моделі до закінчення розрахунку. Ручний розрахунок із введенням всіх даних про будівлю, обмір кожного приміщення та налаштування, займає близько 3-5 робочих днів, залежно від будівлі. Сюди входить час на перевірку друкарської помилки за людським фактором, що виключено в програмі LiNear.

3.1.1 Розрахунок та підбір опалювальних приладів

Обидва модулі Тепло**ве навантаження** та **Опалювальні прилади** повинні бути запущені, інакше не буде показано розрахунок опалювальних приладів.

Потрібно здійснити попередній вибір обладнання. Приміщення офісів мають бути оснащені плоскими радіаторами. Зі списку технічних даних виробників оберають Kermi модельний ряд приладу Profil-K (рис 4.103). Цей радіатор має певні опції, що дозволяє вибирати способи підключення. Також можуть бути доступні для видачі специфікації додаткові комплектуючі

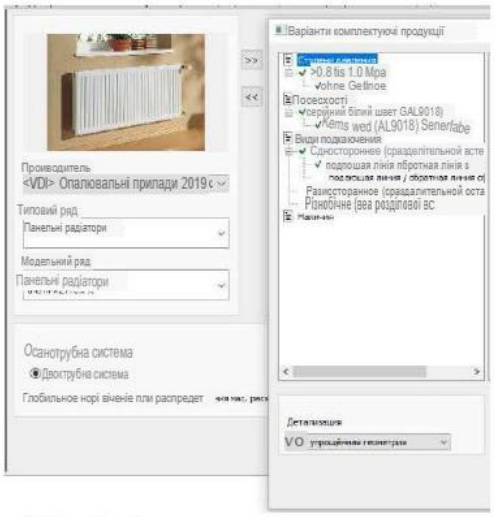


Рисунок 4.103 – Вибір радіатора для системи опалення

У вкладці **Опції** для розрахунку необхідно здійснити попередній вибір опалювальних приладів, які можна скоригувати в кожному окремому випадку. У цьому діалоговому вікні можна обмежити висоту, конструктивну довжину та тип приладу (рис. 4.104).

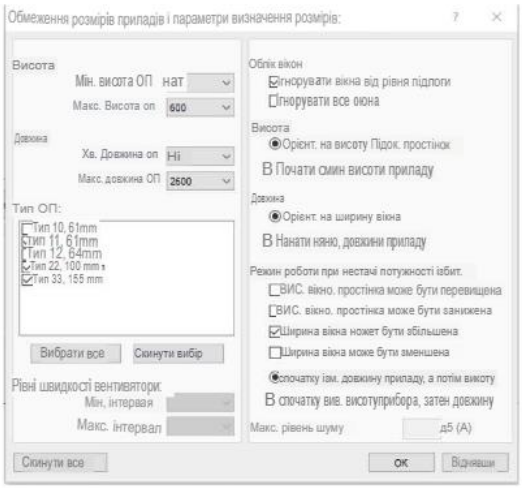


Рис 4.104 - Налаштування обмежувальних характеристик для радіатора

Як правило, для кожного вікна вибирається радіатор за формулою: Довжина радіатора = (Ширина вікна – 250 мм мінімального запасу за довжиною)

У комплекті приєднання можна вибрати додаткові значення для трубопровідних систем конкретних виробників. Налаштування положення приєднання наочно показано на рисунку 4.105.

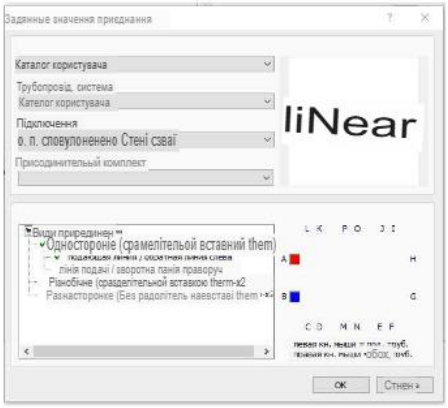


Рис 4.105 - Встановлення значень приєднання радіаторів

Необхідно встановити мету розрахунку. Можливо зафіксована або теплова потужність, або різниця температур. Задані значення розрахунку забезпечуються кожного конкретного котла. Встановлюються значення теплоносія від ЕТК, що підключається до будівлі. Температурний графік на опалення Адміністрації будівлі складає 75/50 градусів.

Мінімальна масова витрата повинна бути не нижче 10 кг/год, 200 кг/год є верхньою межею, починаючи з якої очікується появи шуму в системі Так само для розрахунку доступні однотрубні та двотрубні системи.

Активно використовуються вкладки **Огляд проекту** та **Імпортування набору** даних. За допомогою опції імпорту можна завантажити будь-які набори технічних даних відповідно до міжнародних стандартів, тобто в проектуванні дозволено використання опалювальних приладів будь-якого виробника, що надає відповідний перелік даних.

Вкладка **Огляд проекту** дає змогу побачити всі підібрані опалювальні прилади у загальному поданні, та за бажання виконати заміну деяких з них.

Виконується підбір радіатора в офісі 2 поверху. На підставі тепловтрат у будівлі програмою буде запропоновано кількість необхідних радіаторів. Радіатори планується розміщувати під вікнами. Для медпункту з одним вікном програма підібрала один радіатор типу 33, висотою 400 мм, довжиною 1800 мм (рис 4.106).

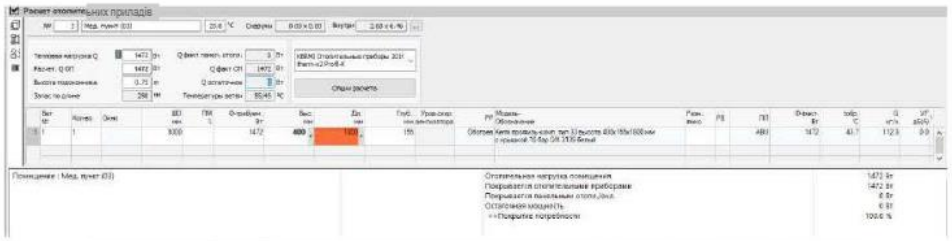


Рис 4.106 – Підібрані радіатори для приміщення мед. пункту

Аналогічним чином підбираємо прилади в інших приміщеннях, в результаті підібрано 3 радіатори, а для іншого приміщення – два. У кожному приміщенні з'являється повідомлення з попередженням про опалювальне навантаження із зазначенням, чи досягнуто межу чи ні. Також можна налаштувати межі попереджень у конфігурації про недосягнення або підвищення покриття опалювального навантаження. При розширенні цих меж зникає червоне маркування рядків, що містять помилки, але в протоколі будуть міститися попередження про можливі наслідки. У конфігурації LiNear Building в області радіатори можна встановити монтажну висоту над підлогою та відстань від стіни (рис 4.107).

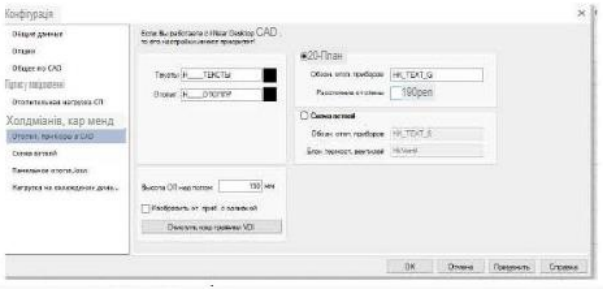


Рис 4.107 - Конфігурація опалювальних приладів

Після цього підібрані опалювальні прилади можуть бути перенесені до Revit.

3.1.2 Додавання радіаторів та перенесення даних до проекту

Необхідно включити відображення дисципліни **Опалення** та план поверху Позначте перший поверх Building та використовуючи символ олівця та клавішу F10, щоб запустити процес побудови радіатори (рис 4.108) У результаті вони будуть автоматично розташовані під відповідним вікном.

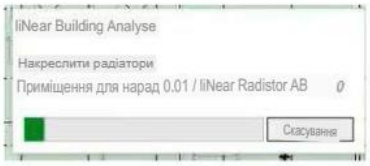


Рис 4.108 - Автоматичне розміщення підібраних радіаторів

Конструктивні довжини деяких радіаторів можуть бути позначені червоним кольором, що означає, що була перевищена довжина ніші. Так як радіатори в даному проекті не розташовуються в ніші, то можна не робити жодних дій для коригування. У радіаторів можна змінювати бік підключення, це вказується в стовпці ПП (положення приєднання).

У діалоговому вікні відображається діалог для зміни положення приєднання, дані будуть передані в Revit. Використовуючи функції **Оновити** . Таким чином, радіатори відредаговані і нанесені на креслення (рис 4.109).



Рис 4.109 - Автоматично розміщені радіатори у приміщеннях

Опалення на першому поверсі зовнішніх офісних приміщень забезпечується внутрішньопідлоговими конвекторами від виробника Arbonia. Усі приміщення, включаючи коридори, деактивовані для розрахунку та підбору. Внутрішньопідлоговий конвектор завжди додається центром під вікном при автоматичному розміщенні і не може перевищувати певні будівельні розміри. У стяжці навколо будівлі встановлений монтажний канал шириною 250 мм і глибиною 120 мм, конвектор підключається з лівого або правого боку приміщення. Його будівельна висота має перевищувати 110 мм. Як тип був заданий ККР81 210 мм, будівельна довжина має перевищувати ширину вікна. Підбір буде розпочато з мінімальної висоти та довжини.

У конфігурації значення висоти від підлоги має бути встановлене в 0 мм і відстань від стіни 20 мм. Підбір здійснюється поверх за поверхом. Почнемо із приміщення на 1 поверсі. Програма пропонує встановити 7 конвекторів завдовжки 2000 м. Після автоматичного розміщення необхідно перевірити позиції та висоти конвекторів. Створивши горизонтальний перетин для приміщення видно, що конвектор знаходиться точно на висоті першого поверху. Прилади, що залишилися, підбираються і встановлюються аналогічно (рис 4.110).



Рис 4.110 - Розміщення внутрішньопідлогових конвекторів

3.1.3 Опалення Тепла підлога

Розраховують панельне опалення для фойє та кафе на 1 поверсі.

У програмі LiNear Building відкривається модуль **Панельне опалення**. На рівні проекту необхідно зробити попередній вибір систем. Як систему оберається виробник Rehau 2024, систему Noppenplatte Varionova.

Дана система має певні параметри, найважливішими з яких є втрати тиску і крок укладання, згідно з виробником 300 мм не можуть бути перевищені. При розрахунку опалювальних контурів програма намагається мінімізувати довжини трубопроводів . специфікацію матеріалів (рис 4.111).

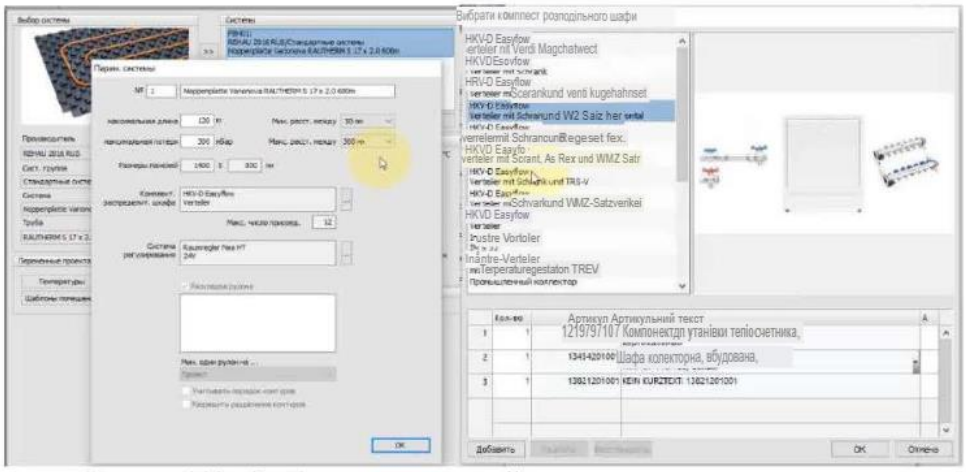


Рис 4.111 - Вибір виробників та матеріалів для теплої підлоги

Справа поряд з вибором системи можна вибрати добавки у стяжку. Вони зазвичай призначені для затвердіння та мінімізації товщини шару стяжки. У загальних попередніх навантаженнях необхідно вказати розрахункові значення: температуру подачі, різниці температур і максимальну температуру підлоги. Поряд з полем з температурою трубопроводу, що подає, є символ калькулятор, що надає допомогу при розрахунку. Можна визначити необхідну температуру в трубопроводі, що подає. Максимальні температури поверхонь завжди перевіряються і дотримуються (рис 4.112).

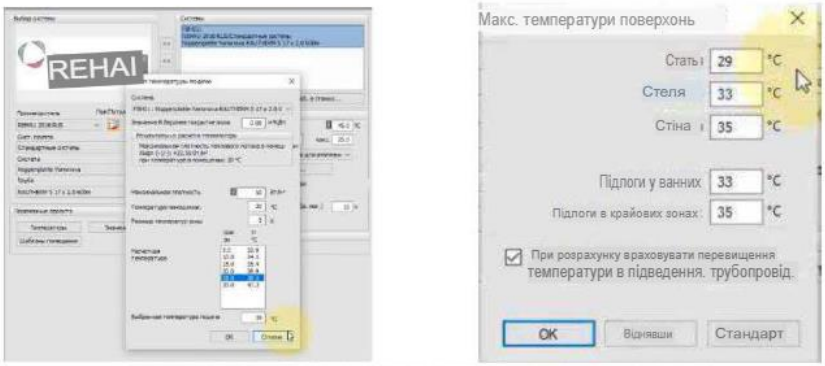


Рис 4.112 - Параметри для розрахунку теплої підлоги

Якщо трубопроводи, приєднані до розподільника, не повинні бути відображені, то може бути вказана середня довжина приєднання на розподільників для трубопроводу, що подає і зворотного 10 м. Таким чином буде скорочено максимальну довжину контуру задану виробником. Після правильного вибору системи всі системи у структурі будівлі деактивуються, окрім вибраних приміщень.

У момент активації вказується чисте опалювальне навантаження. Вибравши один із запропонованих варіантів матеріалів поверхні, але цей список можна редагувати та розширити в основних таблицях файлу (рис 4.113). У стовпці ізоляції потрібно вибрати певний її тип. Виробники передбачили різні товщини ізоляції.

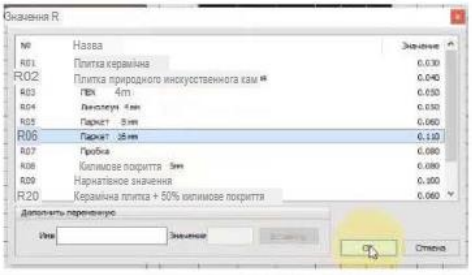


Рис 4.113 - Вибір складу підлоги для розрахунку теплої підлоги

Клацанням ЛКП у рядку площі укладання є можливість додавати граничні та крайові зони, а також сліпі площі та елементи приміщення, в даному прикладі - підлогу.

При виборі робочої зони буде автоматично створено 4 контури опалення. Навантаження 3714 Вт буде рівномірно розподілено, для кожного з них визначено крок укладання, різниця температур, втрата тиску та довжина трубопроводу (рис 4.114). Необхідно враховувати, що з продуктивністю в середину система опалення має втрати тиску назовні. Для їх скорочення потрібно відредагувати систему укладання в основних таблицях файлу і вказати наявність звукоізолюючої підкладки з площею укладання.



Рис 4.114 - Контури, що пропонуються програмою для розміщення підлоги

Крок укладання та значення температур можна редагувати. Для нанесення опалювальних контурів на креслення треба перейти в Revit, активувавши дисципліну **Панельне опалення/охолодження** (рис. 4.115), вибрати поверх та перейти на вкладку **Конструкції**. Спершу створюється план зонування, а далі кожна зона заповнюється контуром підлоги. На трьохмірному вигляді можна побачити, які елементи були розміщені.

Таким чином закінчується встановлення приладів. Трасування та розрахунок розглядається у наступному розділі.

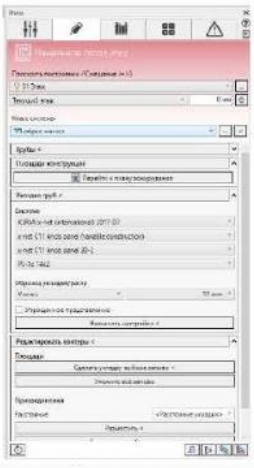


Рис 4.115 - Панель налаштування панельного опалення/охолодження

Якщо план поверхні ще не існує на вибраному рівні, спочатку потрібно створити новий вид, який призначений дисципліні **Панельне опалення/охолодження**. До області площі конструкцій буде додано кілька команд, за допомогою яких можна легко визначити площі укладання. Натисканням на кнопку **Границі** визначаються лінії кордонів для площі. Буде визначено площу укладання в межах заданих кордонів, як альтернативу. **Площа в приміщенні** можна вибрати один з просторів і врахувати всю його площу. Враховану таким чином площу, можна розділити на частини та створити кілька опалювальних контурів у приміщенні.

Використовуючи кнопку **Площа приміщень** і виберемо необхідні простори (Рис 4.16) Натисканням клавіші Esc команда буде закінчена, і площі створено. Розділимо площі відповідно до певного Linear кількістю опалювальних контурів. Команда вимагає вибрати площу та вказати стартову сторону поділу.



Рис 4.116 - Вказівка зон для розміщення теплої підлоги

У зоні розміщені стійки буфету. Якщо площі підготовлені відповідним чином, то можуть бути додані Linear Building. Використовуємо той самий інструмент, що і при розміщенні радіаторів опалення. На рис 4.117 показано результати розміщення контурів теплої підлоги на 1-му поверсі.

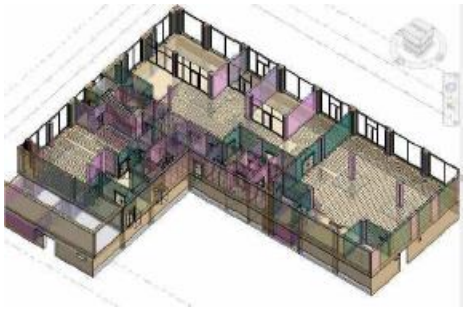


Рис 4.117 - Контури теплої підлоги у приміщеннях 1 поверху

3.1.4 Трасування та розрахунок системи опалення

У цьому розділі буде описано методику трасування трубопроводів, потім будуть підключені радіатори та конвектори, в індивідуальному тепловому пункті (ІТП) буде розміщено джерело тепла та встановлено розподільник для опалювальних контурів. Підлоговий розрахунок буде інтегрований до розрахунку через змішувальний контур і мережу буде встановлено розширювальний бак. Траси та джерело тепла будуть з'єднані з розподільником і мережа буде укомплектована власною запірною арматурою.

Трасування. На панелі управління в дисципліни **Опалення** відкривається перший поверх - підвал будинку. На введенні в будівлю встановлено ІТП, тут буде встановлено джерело тепла, на сусідній стіні буде встановлено розподільник опалення. Розподільник неповного опалення знаходиться зі с/в 1 поверху.

На вкладці **Конструкції** потрібно вказати конструктивну висоту для прокладання труб, для проекту буде30 мм. Поряд із різними трубопровідними системами виробників пропонується ряд нейтральних систем. З нейтральних систем вибирається система сталевих електрозварних труб з діаметрів Ду25 (рисунок 4.118).

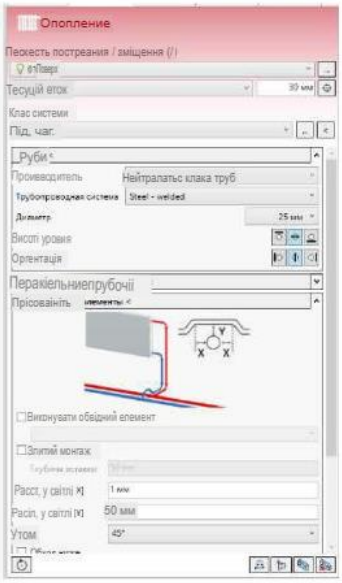


Рис 4.118 - Вибір труб для радіаторного опалення

Параметр **Висота рівня** визначає базовий край труб по відношенню один до одного (рис 4.119).



Рис 4.119 - Таблиця варіантів вирівнювання базового краю труб по відношенню один до другого

Після натискання на кнопку **Труби** будується зворотна магістраль починаючи від радіаторів 1 поверху. Сімейство трубопровідної системи та фітингів завантажені перед малюванням та доступні на кресленні.

Якщо є необхідність дотримати певну відстань від стіни для прокладки трубопроводів, то можна встановити цей розмір. Тимчасові розміри будуть розміщені між віссю трубою і стіною.

Після цього трубопровід буде автоматично пересунутий. Якщо при заданні розмірів заважають числа після коми, їх можна налаштувати, натиснувши на кнопку **Одиниці** на вкладці **Проект.**

Після побудови зворотної магістралі, потрібно створити магістраль, що подає. Для цього може бути використана команда **Паралельний трубопровід** у нижній області вкладки Конструкції (рис. 4.120). Обов'язковою умовою для побудови паралельного трубопроводу є вже створеного трубопроводу. На підставі наявної зворотної магістралі, за допомогою цієї команди можна створити трасу, що містить різні трубопровідні системи з певними матеріалами та відстанями. При цьому дані системи можуть належати до різних дисциплін.

В якості матеріалу для магістралі, що подає, вибирається сталь зварювання, з Ду25 і відстань 100 мм. Складений одного разу список трубопроводів можна зберегти і завантажити в будь-який момент.

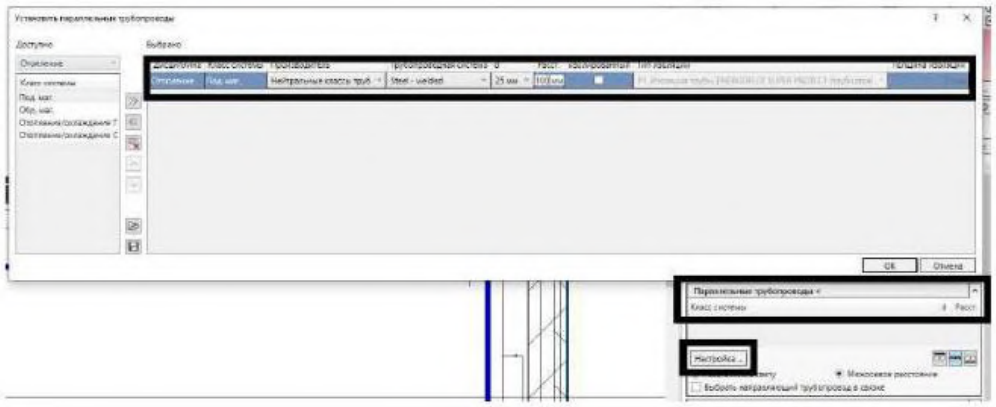


Рис 4.120 - Налаштування створення паралельних трубопроводів

Для створення магістралі, що паралельно подає, необхідно вибрати зворотну магістраль, а потім виконати цю команду. На вибір буде запропоновано варіанти розміщення труби, що подає: спереду, позаду, а також над або під нею. Магістраль, що подає, буде намальована позаду зворотної.

Приєднання елементів системи опалення. Після видалення тимчасових розмірів опалювальні прилади можуть бути підключені безпосередньо до траси. Для цього використовуємо команду **Приєднати елементи**, за допомогою якої автоматично з'єднує елементи з вибраними трубопроводами: подаючі та зворотні.

Ця команда має кілька опцій: підключення настінного радіатора та глибина його вставки, розташування трубопроводів, більш віддалено, над або під ближчим. Також можна встановити мінімальну відстань між трубопроводами. Якщо трубопроводи прокладені в підлозі, то вибирають варіант віддаленого розташування трубопроводу над ближнім.

При підключенні можуть використовуватись окремі фітинги або обвідний елемент. Пропоноване за умовчанням сімейство liNear Cross Over містить відповідні обвідні елементи. Крім нього, функція пропонує завантажені проект сімейства, які також могли б містити обвідні елементи.

При приєднанні із прихованим монтажем труби будуть проведені у стіні (рис 4.121). Щоб програма могла визначити місце розташування стін, використовуються простори MEP.

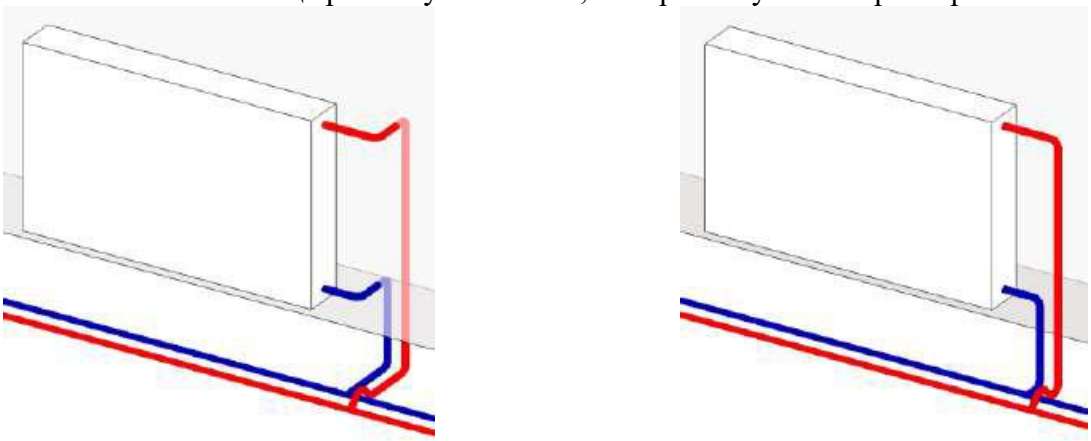


Рис 4.121 - Варіанти монтажу

У випадку активованого положення труби будуть проведені горизонтально в стіну від елемента, при цьому глибина вставки в стіну можуть бути змінені.

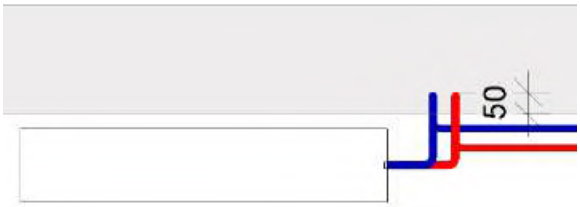


Рис 4.122 - Налаштування глибини вставки

Відстань у світлі [X] визначає відстань у світлі між зовнішнім краєм головного трубопроводу та вигином переходу (рис 123).

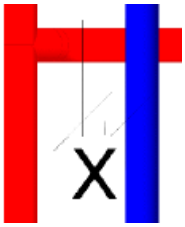


Рис 4.123 - Відстань між трубами [x]

Відстань у світлі [Y] визначає відстань у світлі [Y] між трубопроводом приєднання та головним трубопроводом (рис 4.124).

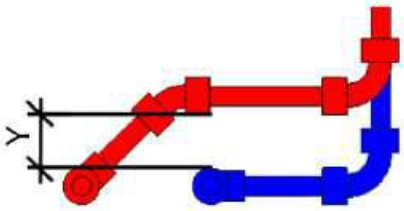


Рис 4.124 - Відстань у світлі [Y]

Кут відведення. Вибирають значення кута відводів, який потрібно використовувати при обході перетинів.

Обхід нижче. Якщо головні трубопроводи пролягають горизонтально, то можна визначити, як повинен проходити обхід - над або під трубопроводом, що перетинається, а також встановити відстань у світлі. Якщо головні трубопроводи проходять вертикально, то можна здійснити обхід перед або позаду трубопроводу, що перетинається (рис 4.125).

У випадку активованої команди приєднання буде проведено під трубопроводом, що перетинається, якщо головний трубопровід розташований паралельно до елемента, інакше - над трубопроводом, що перетинається.

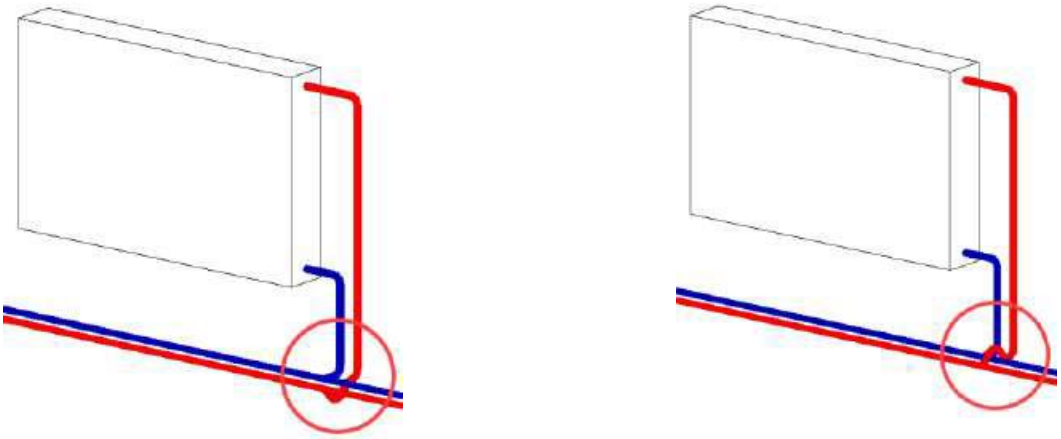


Рис 4.125 - Варіанти розташування трубопроводу

Зберегти фітинги під час обходу. Залежно від просторової ситуації при обході головного трубопроводу, що перетинається, зверху або знизу можуть виникати додаткові фасонні частини. Якщо ця опція активована, то використовуватиметься обвідний елемент (рис 4.126).

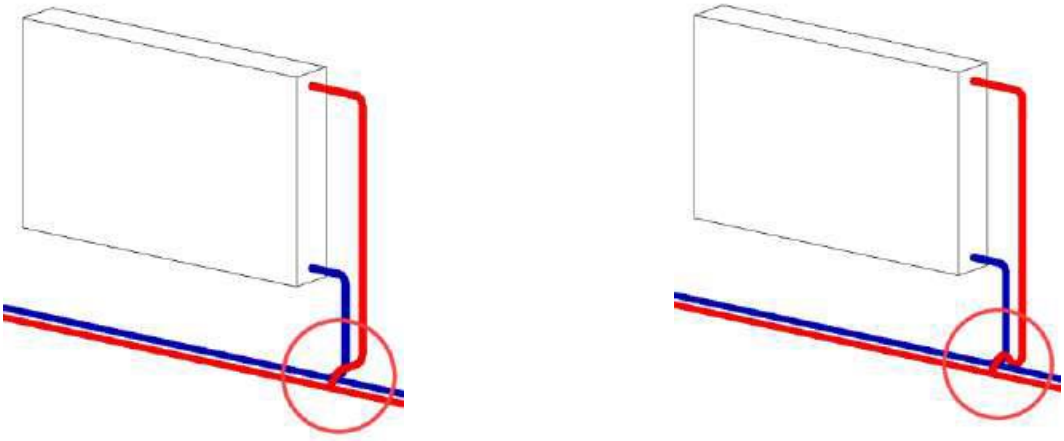


Рис 4.126 - Варіанти розміщення фітингів під час обходу

У випадку активованої команди труби будуть проведені вертикально вниз від елемента. Труба, що перетинає головний трубопровід, не буде проведена до його висоти, а зупиниться дещо вище .

У разі деактивованої команди, труба, що перетинає головний трубопровід, спочатку буде проведена вертикально вниз на висоту головного трубопроводу (рис 4.127). Для реалізації обходу будуть потрібні додаткові фітинги.

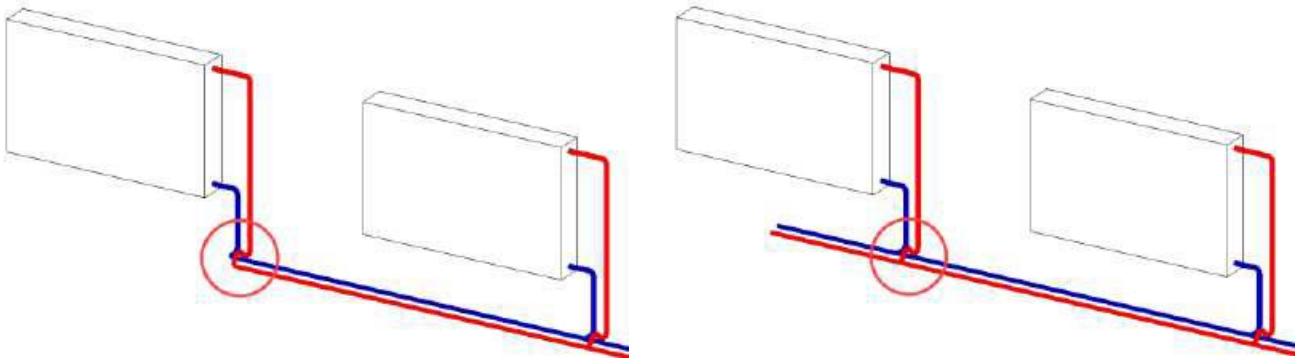


Рис 4.127 - Варіанти підключення трубопроводу

У деактивованому випадку останні елементи будуть приєднані за допомогою трійників, кінець трубопроводу залишиться відкритим. Це має сенс, якщо планується подальша побудова трубопровідної системи.

Виконається підключення всіх радіаторів на першому поверсі. Далі можна розпочати підключення внутрішньопідлогових конвекторів на 2-му поверсі. Алгоритм підключення наступний: позначити контур зворотної магістралі, вказати відстань від стіни до трубопроводів, використовувати інструмент Паралельні трубопроводи, вибрати розташування. Також можна скористатися кодуванням магістралей, виділивши все в буфері обміну за допомогою фільтра, де встановлюються прапорці на трубопроводи та фітинги. За допомогою команд **Копіювати - Вставити з вирівнюємо за вибраними рівнями**, виконується копіювання трубопроводів на різні рівні, наприклад, на 3-му поверсі. У разі зміни положення підключення, наприклад, з лівого на праве для підключення бездоганного підключення до траси. Для цього в програмі LiNear Building, використовуючи функцію **Піпетки**, в стовпці ПП змінюється положення, і дані передаються в Revit, проект буде автоматично приєднаний.

Розміщення теплогенератора/ІТП у підвалі.

На наступному етапі розглядається розміщення теплогенератора в технічному приміщення на 1-му поверсі. Для цього на вкладці дисципліни **Опалення** в бібліотеці встановимо конструктивну висоту 1000 мм. У розділі знаходиться три варіанти теплогенераторів, доступних до завантаження, виберемо підлоговий тип (рис 4.128). Після вибору сімейство буде завантажено, після повторного натискання миші буде прикріплено до курсора. Натискаючи клавішу Пробіл, елемент можна повертати на 90 градусів.

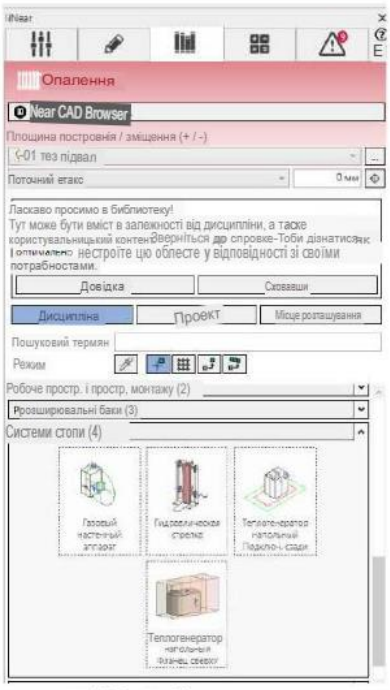


Рис 4.128 - Вибір теплогенератора

Розміщення пристрою виконуємо за технічним завданням. У властивостях цього пристрою є кілька варіантів підключень, редагування розмірів та розміри приєднань (рис 4.129). Указання радіуса подавального та зворотного трубопроводу здійснюється в області **Загальні**.

Для приєднання системи опалення зручніше працювати не з планом, а з вертикальним робочим перетином. На цьому виді видно лише частину приєднань, а інші приховані. Після кліку миші на приєднанні на вибір запропоновані і знаходять під/над ним, а також скасовані позиції. Тут також видно систему приєднання.

Для виконання наступного кроку потрібні розподільники. У групі **Дисципліна** знаходяться чотири конфігуратори: для нейтральних опалювальних приладів, станція для поквартирного розведення та конфігуратор розподільчого колектора. Вибравши колектор, бачимо, що жодна з сімейств поки не завантажена. Спочатку необхідно встановити типи труби розподільника.

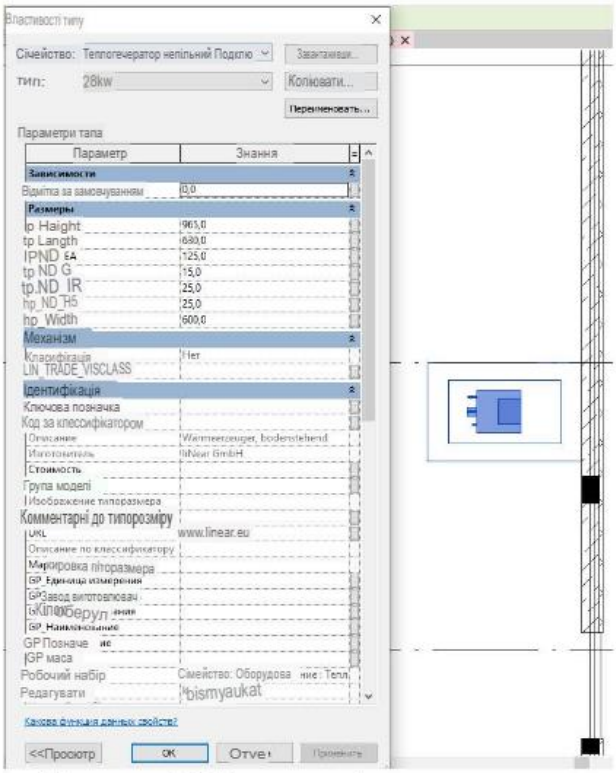


Рис 4.129 - Властивості типу генератора

Залежно від типів труб доступні відповідні діаметри. Також необхідно вказати тип відстані: відстань у світлі або міжосьова відстань; додати чотири пари штуцерів з діаметром 32 для опалювальних приладів опалення підлоги, і одну пару штуцерів в діаметр 40 для теплогенератора. Відстань у світлі між штуцерами має становити 200 мм (рис 4.130). Після натискання ОК необхідно присвоїти назву сімейству. Після цього курсор буде розміщено для вставки на креслення.

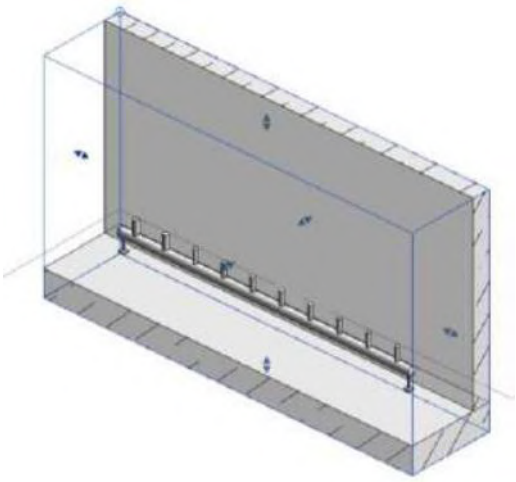


Рис 4.130 - Налаштування параметрів для розподілу тепла

Для розміщення розподільника підлогового опалення треба відкрити програму LiNaer Buildig, вкладка **Перегляд** гілки трубопроводу. У графі створені всі гілки системи опалення, кожну з яких можна позначати Ім'ям та Номером для радіаторів та теплої підлоги (рис 4.131). Контури підлоги приєднуються до колектора при натисканні кнопки **Накреслити розподільники**, побудова буде виконана в Revit.

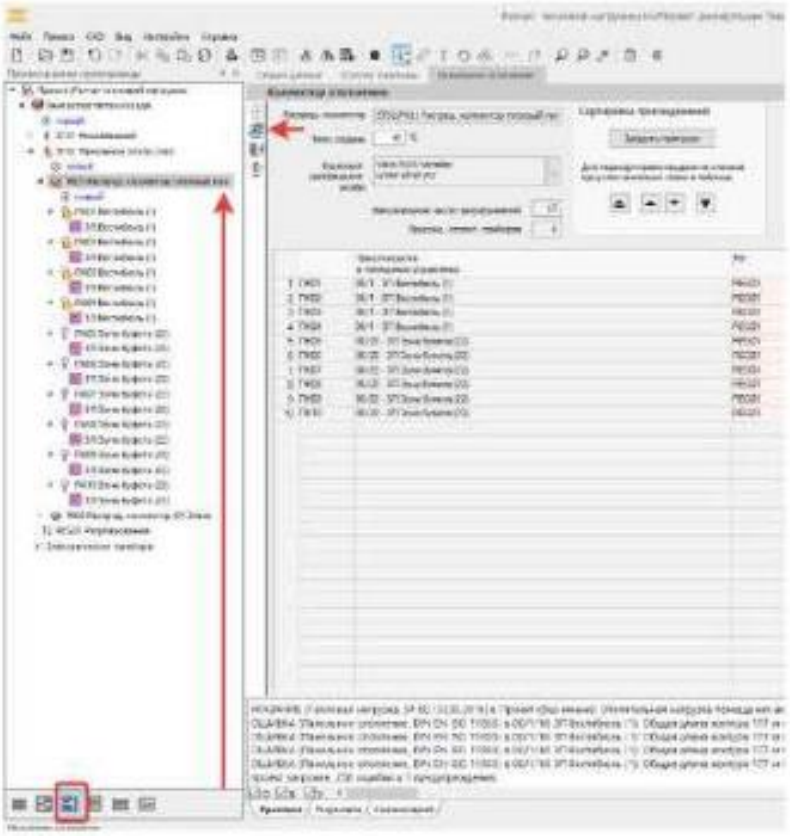


Рис 4.131 - Розподільник для теплої підлоги

У властивостях розподільника задані всі необхідні параметри для окремих опалювальних контурів, а в області дані показані передані потужності, масові витрати та втрати тиску.

Наступний крок: приєднання генератора, розподільників та опалювальних контурів. Необхідно накреслити трубопровід у напрямку котла. Готову схему з'єднання на 3Б вигляді зображено на рис 4.132.

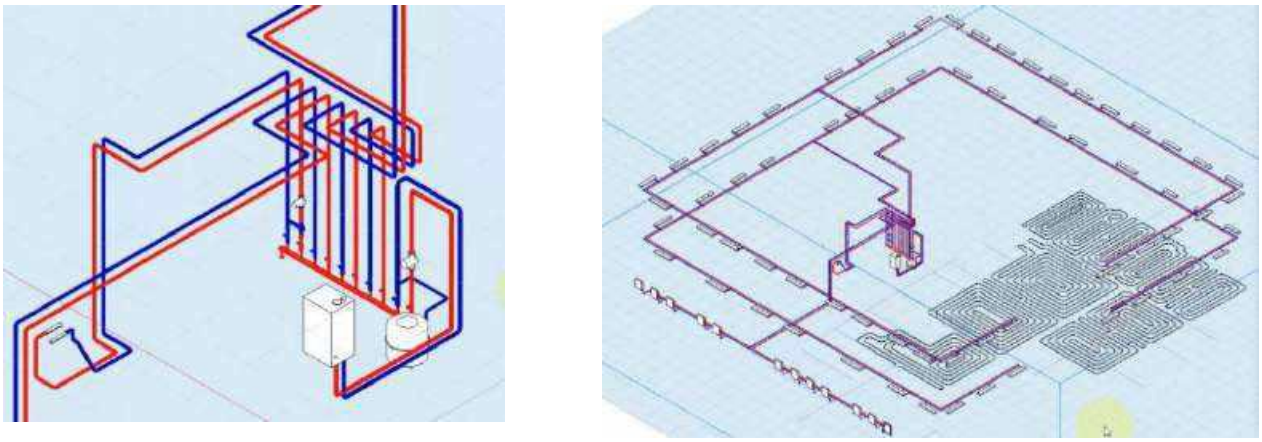


Рис 4.132 - Схема приєднання генератора до розподільника

Обхід перетинів

Якщо трубопроводи перетинаються один з одним з будь-яким елементом або архітектурою, то для вирішення даної ситуації можна використовувати інструмент обходу (рис. 4.133).

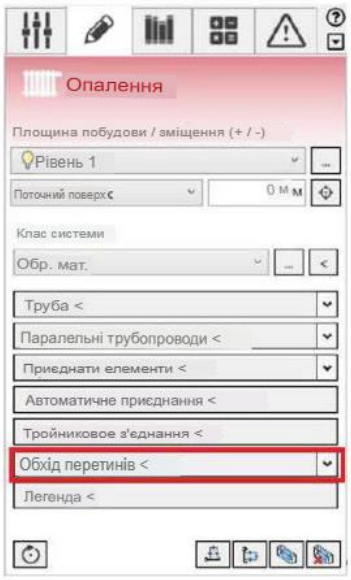


Рис 4.133 - Пункт Обхід перетинів

Для налаштування параметрів вирішення цієї проблеми необхідно:

- Відкрити область **Обхід перетинів** (рисунок 4.134).



Рис 4.134 - Перегляд області перетинів

- Вказати горизонтальну та вертикальну мінімальні відстані (відстань X, відстань Y).
- Вибрати кут обхідного коліна.
- За допомогою прапорців увімкнути бажані опції обходу.
- Активувати режим **Обхід елементів**.
- Вибрати трубопроводи, для яких повинен бути реалізований обхід, та підтвердити натисканням Enter.
- Вибрати елементи, обхід яких має бути здійснений, та підтвердити натисканням Enter.

Буде запропоновано реальні варіанти рішення (рис 4.135).



Рис 4.135 - Варіанти розміщення обходу

Переглядати варіанти можна за допомогою кнопки Перегляд під час визначення відповідного способу вибір підтверджується натисканням кнопки Прийняти. В результаті буде застосований обраний метод і ситуація перетину буде вирішена (рис. 4.136).

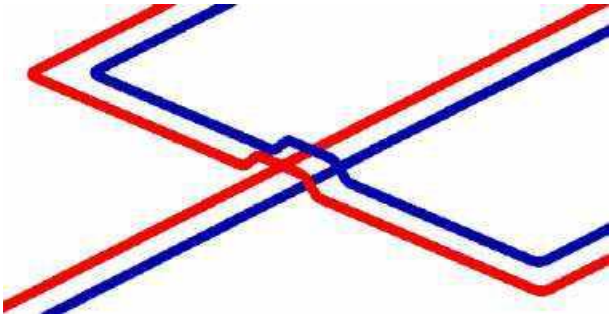


Рис 4.136 - Варіант вирішення проблеми з перетином

У разі активованої опції вже наявні фітинги при необхідності будуть повернені та використані для обходу перетинів. Це дозволяє уникнути використання додаткових фітингів. Відстань X не використовується на прикладі, наведеному вище, тому що фітинги з обох сторін використовуються для обходу. При неактивованому варіанті при обході перетинів буде додано додаткові фітинги.

Функція обліку ізоляції дозволяє у разі ізольованих трубопроводів та повітроводів відстані у світлі x та y можуть бути зазначені як щодо ізоляції, так і щодо трубопроводів чи повітроводів (рис. 4.137).

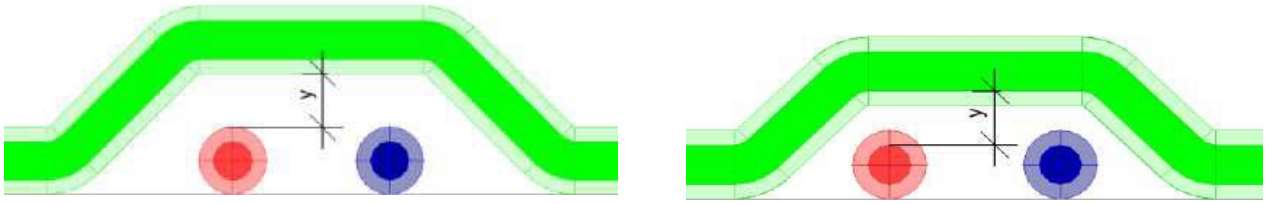


Рис 4.137 - Активована та неактивована команда

При активованій команді обхід перетинів із ізольованими трубопроводами відстані у світлі X та Y зазначені щодо ізоляції трубопроводів та повітроводів. При неактивованій опції обхід перетинів із ізольованими трубопроводами відстані у світлі X і Y зазначені щодо самих трубопроводів та повітроводів, ізоляція не була врахована.

Існує можливість коригувати обхід вручну, наприклад коли трубопроводи перетинаються з елементом (ізометрія, вид зверху) (рис 4.138).

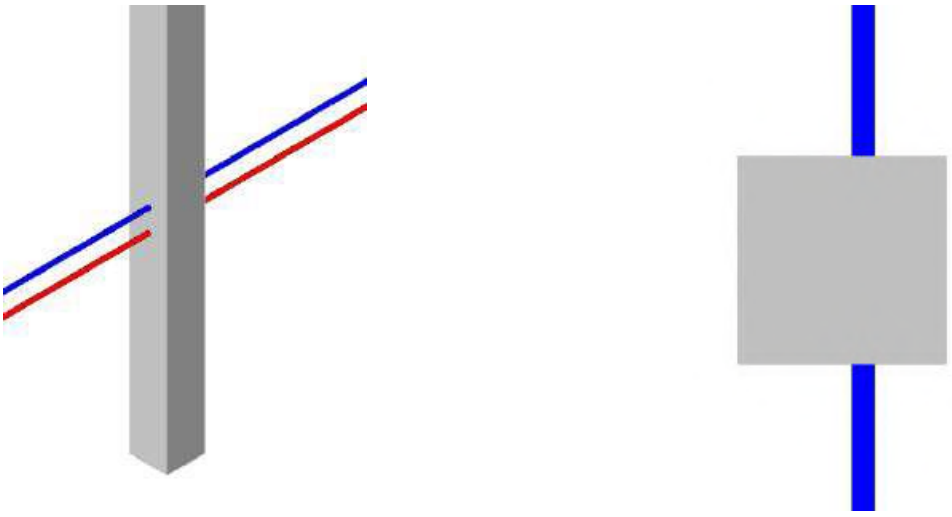


Рис 4.138 - Перетин труб з колоною

Необхідно відкрити область обхід перетинів, вибрати кут обхідного коліна, активувати режим обхід вручну, натиснути на обхід перетинів, вибрати трубопроводи, що перетинають об'єкт, і підтвердити, натиснувши Enter.

З'явиться повідомлення, яке пояснює порядок дій (рис. 4.139). Натиснувши мишу вказують довжину обходу. Базові точки показують довжину елемента, який потрібно обійти. Можна вказати довільну довжину, мінімальна через обмеження конструкції довжина буде дотримана автоматично. За допомогою миші показують відстань, яка повинна бути дотримана між елементом та обходом, та лівою кнопкою підтверджують вибір. Третій клік миші показує відстань по осі X у вигляді зверху. На вигляді розрізу третій клік миші показує відстань по осі Y. Мінімальна через обмеження конструкції довжина буде дотримана автоматично. Ситуацію перетину вирішено.

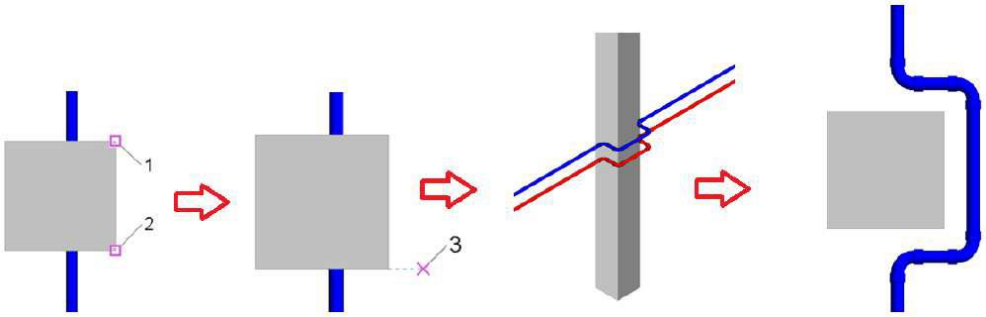


Рис 4.139 - Етапи для виправлення ситуації обходу колони

Наступний варіант обходу перетинів елементів у зв'язаних файлах. Якщо трубопроводи або повітропроводи перетинаються з елементами зв'язків, то для вирішення цієї ситуації можна використовувати інструмент обходу. Повторяють перші кроки минулого способу до вибору активації режиму **Обхід елементів** у зв'язці. Виберають трубопроводи, для яких повинен бути реалізований обхід, та підтверджують, натиснувши Enter. Вибирають елементи у зв'язці, перетинання з якими потрібно уникнути, та підтверджують клавішею Enter. Буде показано різні варіанти.

В результаті було здійснено обхід перетинів з трубопроводами у зв'язці з мережами ВК (рис. 4.140).

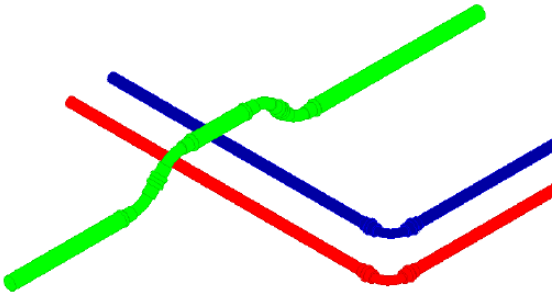


Рис 4.140 - Результат побудови обходу труб ВК

В результаті роботи з оснащення моделі системою опалення вдалося повністю провести розрахунок будівлі. Вдалося розрахувати теплотехнічні параметри будівлі з точністю до 90% порівняно з ручним розрахунком у програмі MS Excel. В результаті цього розрахунку було надано докладний звіт на 130 сторінок про значення огороджувальних конструкцій, що впливають на параметри тепловтрат будівлі. Цей звіт може бути корисним не тільки проектувальнику ОВ та компанії теплопостачання про навантаження, а й замовнику для оцінки енергоефективності будівлі.

В результаті самого розрахунку виявляються помилки в АР або сімействах, які по випадковості або неуважності опинилися в проекті, корегуючи які покращує інформаційну модель, робить її чистою та актуальною.

Тривалість розрахунку навантаження на будівлю у програмі LiNear Building займає до 30 хвилин робочого часу, за умови засвоєння програми та коректної АР моделі, що в свою чергу до 7200% (4 робочих дні) швидше, ніж при ручному розрахунку. Відрізняючи функцію програми підбирати різні варіанти опалення, від радіаторної до теплої підлоги, дозволяє розглядати об'єкт відразу з кількох ракурсів як для замовників, так і для проектувальників. Усі фізичні параметри, такі як втрати тиску, швидкості, температури у трубопроводах тощо. д, враховуються та показується одночасно.

Функції обходу на перетину дозволяють працювати з перетинами в кілька натисків, оскільки при визначенні помилки на перетин з чимось, надаються готові варіанти вирішення проблеми.

Програма повністю адаптована за українським законодавством і спирається на чинні норми та правила. За функціоналом складна та не інтуїтивна для освоєння, для повного переходу на її використання потрібно буде витратити багато часу. У розділі були розглянуті всі технологічні кроки, які можуть допомогти при освоєнні та роботі у програмі. Автори роботи рекомендують програму для проектування систем опалення засобами технологій інформаційного моделювання.

4.2 Оснащення моделі системою вентиляції

Процес роботи з оснащення моделі будівлі системою вентиляції складається з кількох етапів:

- Характеристики приміщень
- Розміщення решіток та повітроводів.
- Приєднання елементів системи вентиляції між собою.
- Розрахунок системи вентиляції.
- Процес розрахунку системи вентиляції.

Створення видів планів для вентиляційної системи, створення просторів та зонування було розглянуто у першій частині підготовки моделі. Можна відразу переходити до характеристик приміщень, проектування та розрахунку системи вентиляції.

Додатковою характеристикою приміщень розрахунку системи вентиляції є значення кількості людей. Цей параметр заповнюється всім просторів виділення необхідних просторів, і далі у властивостях розділу Розрахунок енергоспоживання. Утримуючи клавішу Ctrl, вибрати офісні приміщення та встановити у них кількість людей, заздалегідь задану технічним завданням. Так, наприклад, приміщення номер 8 - зал для глядачів - 150 осіб, офіс - 30 осіб, вбиральня - 2 особи і так далі.

3.2.1 Проектування повітроводів та підключення до системи

Перейти до дисципліни **Вентиляція** на вкладці **Бібліотека** панелі керування. У проекті приміщення буде використовуватися комбінація вентиляційних отворів, які дозволять повітрю протікати через верхній вентиляційний отвір і витяжного повітря через нижній вентиляційний отвір. Такі спеціальні елементи вже містяться в бібліотеці. На панелі адреси вибирається висота сітки і комбінована сітка, яка буде встановлюватися у всіх приміщеннях посередині над дверима. Випускні клапани санітарно-технічних приміщень розмістять на стелі (рис. 4.141).

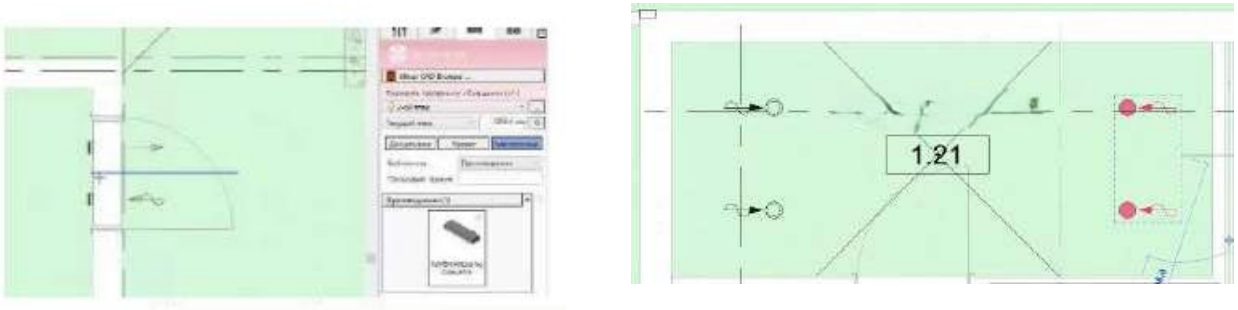


Рис 4.41 - Варіанти розміщення решіток в офісі та с/в

В області **Площина побудови / Зміщення** (+/-) вибирається базова та опорна площина. Якщо базова та опорна площини збігаються, вибирається поточний поверх. Вказується усунення до базової площини. Якщо елемент повинен бути розташований нижче за опорну площину, то вводиться негативне зміщення. Вказується **Клас системи** та відкривається область **Канали** (рис 4.142).

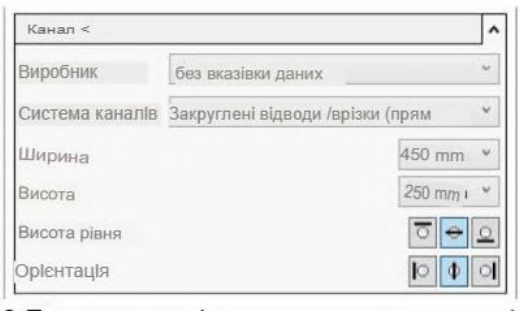


Рис 4.142 - Панель управління для проектування повітроводів

Необхідно вибрати: виробника та систему каналів; діаметр (для круглих каналів) або ширину та висоту (для прямокутних); висоту рівня каналів: верхній край, центр чи нижній край; варіант вирівнювання повітроводу: по лівому краю, по середині або правому краю.

Якщо під час проектування є необхідність створити вертикальні трубопроводи, то рядок опцій у полі Зміщення введіть бажану висоту (рис 4.143). Вертикальний трубопровід буде створений і можна продовжити проектування горизонтальних трубопроводів (рис 4.144).

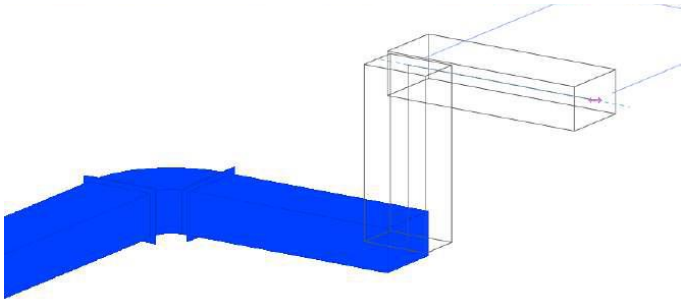


Рис 4.143 - Налаштування зміщення

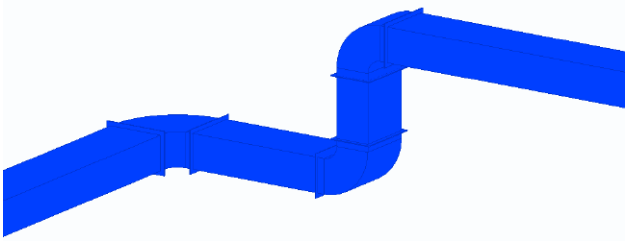


Рис 4.144 - Результат спроектованих повітроводів
з обраною системою та матеріалом

Приєднання елементів

Для цього використовується команда автоматичного з'єднання елементів із вибраними повітропроводами. Приєднання до головного повітропроводу може бути виконане як трійник або з використанням штуцера (рис 4.145).

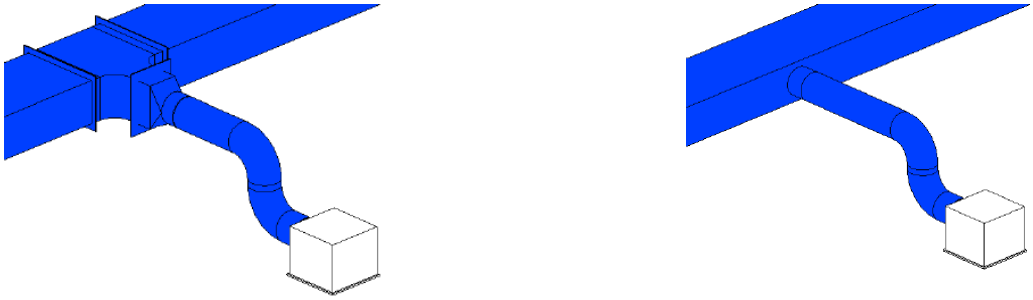


Рис 4.145 - Варіанти приєднання за допомогою трійника чи штуцера

Можливе також гнучке підключення пропускного отвору (рис. 4.146).

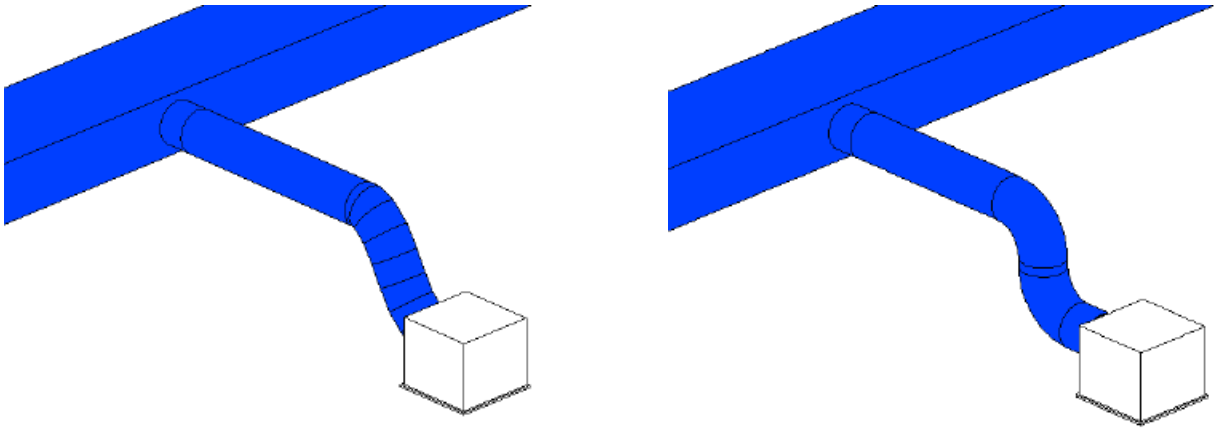


Рис 4.146 - Активована та деактивована команда гнучкого підключення

У разі активованої команди перша від випускного отвору частина приєднання буде гнучким повітроводом. Додатково визначається Довжина [L]. Якщо ввести значення довжини 0 мм, то ця частина повітроводу буде фіксованою. Якщо вказати довжину, що перевищує відстань до каналу, все приєднання буде виконано за допомогою гнучкого повітроводу. У такому разі жодна вставна деталь не буде додана.

У випадку деактивованої опції приєднання повністю виконане з фіксованих повітроводів.

Відведення на останніх елементах

В активованому останні елементи вентиляційної системи будуть підключені за допомогою відводів, таким чином вентиляційна система буде закінчена (рис. 4.147).

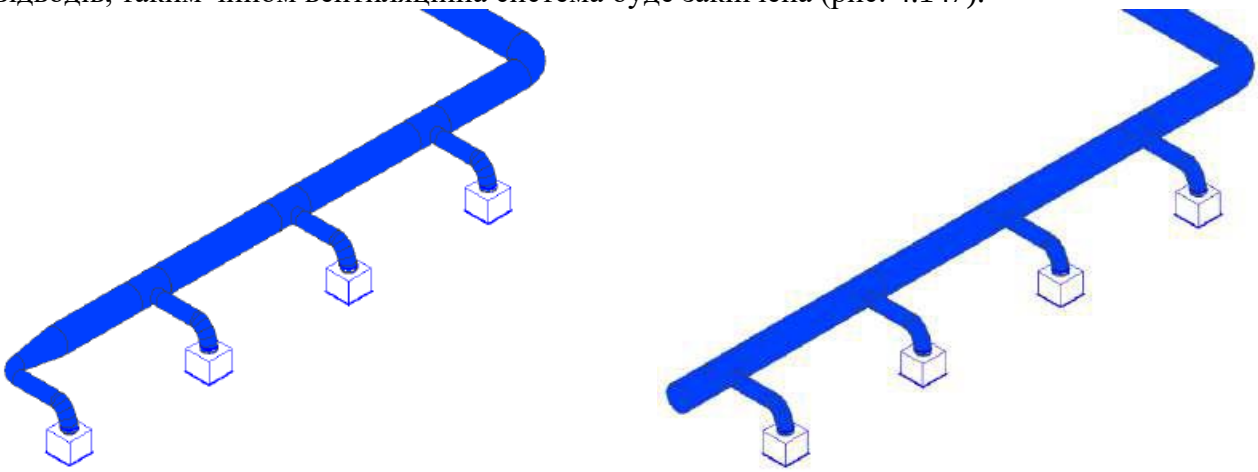


Рис 4.147 - Результат при активованій та деактивованій команді створення відводів

У деактивованому стані останні елементи будуть приєднані за допомогою трійників, кінець повітроводу буде відкритий. Це має сенс у тому випадку, якщо планується подальшу побудову вентиляційної системи.

Після проектування припливного і витяжного повітроводів, навіть без припливної установки, вже можна виконати розрахунок за допомогою додаткових елементів. Для цього потрібно додати обладнання для початку і кінця мережі. для розрахунку вентилятор не потрібний.

Для зовнішнього повітря вибирається вихідний початок мережі, а для припливного - кінцевий. Так як початок частини мережі відповідає вентилятору, є інженерним обладнанням будівлі, то він не переймає систему при установці в трубопровід . витяжний для припливного (рис 4.148). Для запобігання помилкам при подальшому розрахунку необхідно також вказати об'ємні витрати.

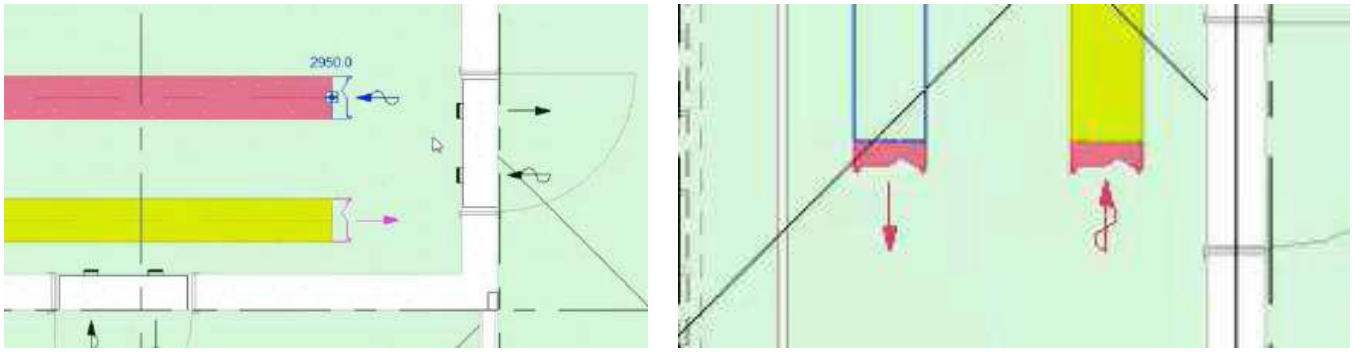


Рис 4.148 - Елементи на початку та в кінці системи

3.2.2 Розрахунок системи вентиляції

Тепер можна перевірити, чи правильно підібрано початкові габарити повітроводів, це можна зробити у вкладці **Аналіз - Конфігурація**. Перед початком розрахунку вентиляційної мережі необхідно виконати аналіз усіх ділянок на моделі. Він буде запущений автоматично, натиснувши кнопку **Розрахунок**. При цьому будуть проаналізовані лише ті елементи, класи систем яких вказані у діалозі **Конфігурація** (рис. 4.149).

Для аналізу геометрії вентиляційної системи в першу чергу будуть розраховані окремі ділянки, обмежені трійниками або елементами, в яких відбувається зміна розміру труби, наприклад, у перехідниках.

Після цього програма здійснить пошук початкового елемента вентиляційної мережі. Таким елементом є вентилятор чи початок частини мережі. Якщо вентилятор відсутній, програма шукає початок частини мережі.

Програма створює інсталяцію, підключену до одного початкового елемента. Вентилятор створює дві установки, а початок частини мережі – одну. Вентилятор та початок частини мережі не повинні встановлюватись в одному шляху потоку. Тип установки визначається відповідно до системи першого каналу після початкового елемента.

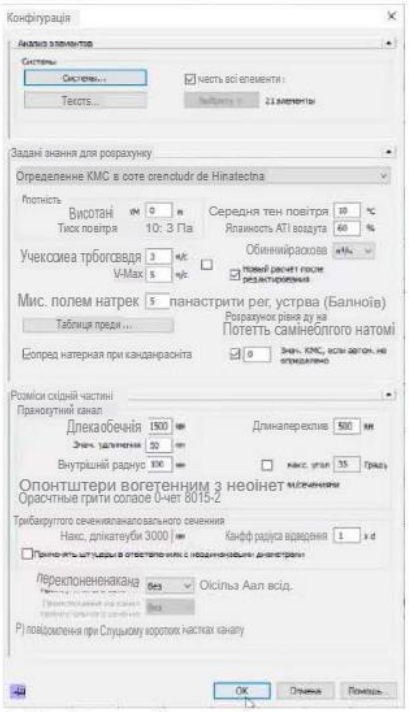


Рис 4.149 - Налаштування конфігурації для розрахунку

Шляхи потоку в системі вентиляції визначаються на основі початкового елемента до однієї зовнішньої захисної решітки. Однак установкам витяжного та припливного повітря потрібен лише один вентилятор на установку.

Результати розрахунку рівня шуму показані в порядку його виникнення: Зовнішні захисні грати роблять шум назовні, результат акустичного розрахунку для шляху потоку із зовнішньою захисною решіткою відносяться до навколишнього середовища. Пропускні отвори роблять шум у приміщеннях, де вони встановлені, тому їх результати виводяться щодо відповідного приміщення.

Перед розрахунком вентиляційної мережі можна встановити деякі параметри в діалоговому вікні **Конфігурація**, наприклад, граничні значення для швидкості і втрати тиску на тертя.

На початку розрахунку для всіх ділянок системи вентиляції з незаданими значеннями діаметрів буде вибрано найменший діаметр Найменшим є перший зазначений прапорцем діаметр у діалозі **Канали та труби**.

На основі об'ємних витрат повітря пропускних отворів та кінців частини мережі від установок припливного та випускного повітря насамперед програмою визначається необхідні об'ємні витрати у вентиляційній мережі. Сукупні об'ємні витрати передаються на установки атмосферного або повітря, що видаляється. Якщо до вентилятора підключено декілька зовнішніх захисних решіток, то об'ємні витрати будуть поділені у відсотковому співвідношенні на кожному відповідному за ними розташованому відгалуженні. Це первинне присвоєння об'ємних витрат повітря може бути змінено користувачем, для цього необхідно зняти прапорець у полі **Розраховано** в діалозі даних елемента зовнішньої решітки захисту або початку частини мережі.

Якщо пропускний отвір або кінець частини мережі установки припливного або витяжного повітря містить лише дані про потужність, об'ємна витрата розраховується за заданою температурою припливного та витяжного повітря.

Опір потоку у вентиляційній мережі розраховується за об'ємною витратою повітря. При перевищенні граничних значень опору на тертя чи швидкості програма призначає такі за величиною діаметри відповідних ділянок, якщо вони були зафіксовані. При цьому програма орієнтується на дані із налаштувань вікна **Канали та труби.**

Найнесприятливіший шлях потоку у вентиляційній мережі автоматично розпізнається програмою, оскільки програма спочатку визначає втрати тиску у всіх шляхах потоку. Цей несприятливий шлях потоку буде відзначений кольором у таблиці **Шляхи потоку** в діалозі **Розрахунок** (рис 4.150). При натисканні клавіші U на клавіатурі шлях потоку буде вибраний у таблиці.

У таблицях представлені всі шляхи потоку, ділянки та елементи розрахованої вентиляційної системи. Таблиця показує розрахункові дані всіх шляхів потоку, наявних у вибраній установці. Таким чином можливий огляд всіх кінцевих елементів, що є в мережі. При виборі шляху потоку будуть показані усі ділянки, що відносяться до нього, в таблиці **Ділянки.**

Найнесприятливіший шлях потоку буде відзначений кольором. Ви можете вибрати найнесприятливіший шлях потоку натисканням на U.

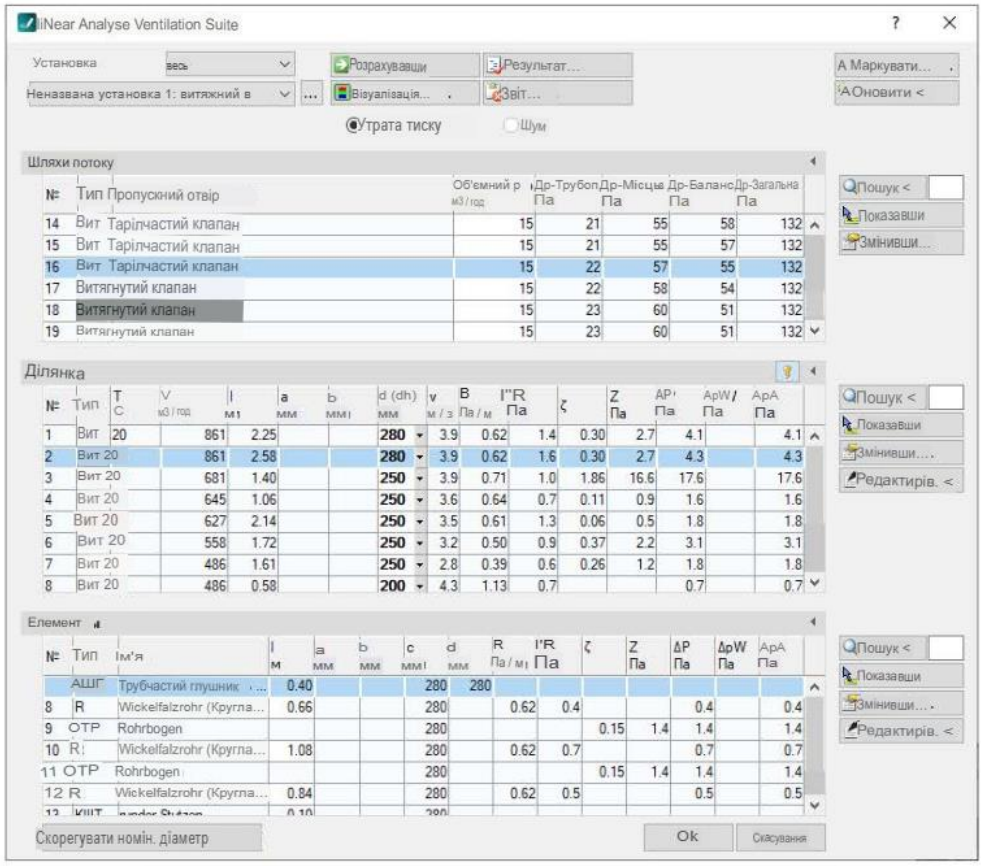


Рис 4.150 - Таблиця характеристик системи вентиляції

Таблиця показує розрахункові дані всіх ділянок, що є в вибраному шляху потоку. При виборі ділянки будуть показані всі відношення до нього елементи у таблиці **Елементи**. Таблиця показує розрахункові дані всіх елементів, що є на вибраній ділянці. Функції для розрахунку та таблиць що відносяться до всієї системи вентиляції представлені таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Функції до розрахунку

Елемент	Значення
Установки	Якщо проект містить кілька установок або частин мережі, ви можете вибрати, яка установка або яка частина мережі повинна бути показана в таблицях діалогу Розрахунку. У списку Установки можна вибирати тільки зовнішні системи або тільки системи, розташовані в приміщеннях.
-	За допомогою цієї кнопки відкриваються технічні дані початкового елемента. Тут Ви також можете змінити назву установки, яка відображається в списку, що розкривається.
Розрахувати	Якщо ви здійснили будь-які зміни, запустіть розрахунок трубопровідної мережі, щоб побачити поточні результати.
Візуалізація	Ця функція показує властивості та результати розрахунку трубопровідної мережі у кольорі на моделі
Результат	Показує додаткову інформацію про трубопровідну мережу, а також результати розрахунку, що видаються на друк.
Звіт	Показує огляд попереджень та помилок, що виникли під час розрахунку. Дізнатися, чи йдеться про попередження чи помилку, можна за кольором кнопки: - білий: помилки чи попередження відсутні. - помаранчевий: у звіті містяться попередження. - червоний: є помилки при розрахунку.
Маркувати	Запис результати розрахунку елементів та ділянок мережі.

Оновити	Якщо елементи або ділянки вже підписані, а результати розрахунку змінилися, Ви можете оновити маркування та заповнити його актуальними даними.
Коригувати номінальні діаметри	Якщо розраховані номінальні діаметри відрізняються від спроектованих, можна перенести розраховані діаметри на модель. Коригування номінальних діаметрів можна виконувати як для цілої мережі, так і для окремих її частин.
Втрата тиску, Рівень шуму	Кнопка-перемикач відображає результати розрахунку втрати тиску або акустичного розрахунку. У таблиці шляхів потоку показані відповідно втрати тиску або результати акустичного розрахунку.

Тепер можна створити вентиляційну установку, для цього у вентиляції у конфігураторі вибирається установка та створюється новий компонент.

Конфігурацію припливної установки можна задати будь-яку, наприклад, камера з вентилятором, самі камери і т.д. д, із списку підбору від постачальників. Там же вказується верхній та нижній рівень, і габарити ширини та висоти (рис 4.151). Після натискання кнопки ОК можна ввести назву установки. Далі, видаливши вище встановлені часові елементи імітації установки, можна під'єднати повітроводи.

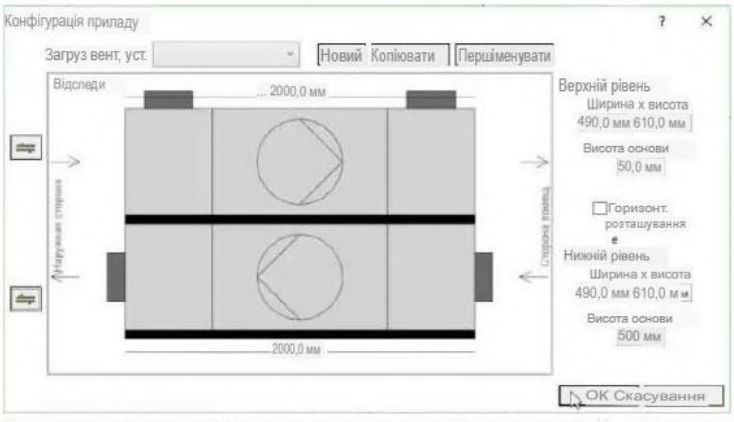


Рис 4.151 - Конфігурація припливної та витяжної установки

Виведення результатів. З програми розрахунку можна винести дані у вигляді підбірного звіту, в якому відображаються перелік матеріалів розрахованих установок, об'ємні витрати, тиску вентилятора, рівень шуму, збалансований список втрат тиску всіх пропускних отворів (рис. 4.152)

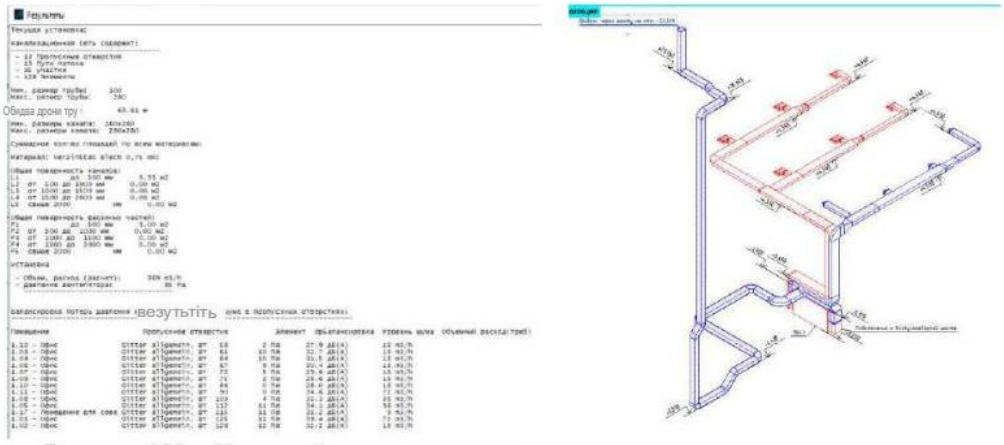


Рис 4.152 - Підсумковий звіт розрахунку та спроектована система вентиляції

В результаті Linear здатний на багато корисних функцій для автоматизації проектування систем вентиляції. Розраховано аеродинаміку вентиляційної системи, підібрано обладнання припливної та витяжної установки, канали, грати.

Linear читає побудовану систему, розуміє її фізичні параметри, бачить розбиті ділянки і шляхи потоку, пропонує рекомендовані габарити для систем, візуалізує отримані дані. визначає, що можна приєднати між собою у різний спосіб.

Також, як і в розділі Опалення, корисним інструментом у програмі, це можливість аналізу на колізії, а також виправлення їх. Всі системи, елементи та зв'язки, що проходять поруч, зчитуються, і пропонується обхід для них у пару натисків. У розділі були розглянуті всі технологічні кроки, які можуть допомогти при освоєнні та роботі у програмі.

Висновки про можливості програми LiNear

Дане ПЗ є повноцінною заміною всіх програм, які використовують проектувальники ОВ у своїй роботі. LiNear здатний адаптований під стандарти і правила, що робить це ПЗ унікальним на сьогоднішній день на ринку. Бібліотека програми має в собі величезну базу обладнання від різних виробників, і прості сімейства з низьким LOD, що спрощує роботу і знижує навантаження на комп'ютер. Великим мінусом і те, що LiNear досить складний і інтуїтивний освоєння. Для повного переходу на його використання необхідно витратити багато часу.

Основним і головним плюсом є можливість моделювати всі фізичні процеси, що заощаджує час для створення проекту, здійснює найбільш точний розрахунок. Отримані дані доступні всім учасникам проекту, що дозволяє суміжним розділам також збільшувати ефективність роботи, а замовнику та керівнику компанії отримувати готові звіти з розрахунків.

5. ПОРІВНЯЛЬНИЙ РОЗРАХУНОК ЗАЛІЗОБЕТОННОЇ БАЛКИ ЗА УКРАЇНСЬКИМИ (ДБН) ТА ЄВРОПЕЙСЬКИМИ (EN 1992-1-1) НОРМАМИ

В.І. Шеховцов
В.В. Малахов

ВСТУП

Інтеграція України в європейський технічний та економічний простір висуває нові вимоги до будівельної галузі, ключовою з яких є гармонізація нормативної бази. Перехід від національних Державних Будівельних Норм (ДБН) до системи європейських стандартів (Єврокодів) є не просто технічним оновленням, а стратегічною необхідністю. Цей процес сприяє міжнародній співпраці, забезпечує сумісність проєктних рішень на європейському ринку та підвищує загальні стандарти безпеки та надійності споруд. Впровадження Єврокоду 2, що регламентує проєктування залізобетонних конструкцій, у вигляді національного стандарту ДСТУ-Н Б EN 1992-1-1:2010, є центральним елементом цієї трансформації.

Фундаментальною відмінністю між двома системами є їхня філософія забезпечення надійності конструкцій. Підхід, закладений у ДБН В.2.6-98, базується на використанні заздалегідь визначених «розрахункових опорів» матеріалів, які вже враховують певні коефіцієнти надійності. Цей метод, що походить з детерміністичної традиції, пропонує прямий шлях до розрахунку, однак прозорість закладених у нього запасів міцності є обмеженою.

На противагу цьому, Єврокод 2 використовує напівімовірнісний метод. Він оперує поняттям «характеристичної міцності» матеріалів (f_{ck} для бетону, f_{yk} для арматури). Для отримання розрахункових значень міцності ці характеристичні величини діляться на явні часткові коефіцієнти надійності за матеріалом (γ_c для бетону, γ_s для арматури). Такий підхід робить концепцію безпеки більш, гнучкою та адаптивною.

Метою даного завдання є проведення паралельного, покрокового розрахунку типової залізобетонної балки, що працює на згин, за обома нормативними системами. Ця практична вправа дозволить зрозуміти теоретичні розбіжності та кількісно оцінити їхній вплив на кінцевий результат проєктування, а саме на необхідну площу робочої арматури (A_s).

1. ТЕОРЕТИЧНЕ ПІДҐРУНТЯ ТА ОСНОВНІ ПРИПУЩЕННЯ

В основі як ДБН, так і Єврокоду лежить єдина філософія проєктування за методом граничних станів. Цей метод має на меті забезпечення того, що конструкція протягом усього проєктного терміну експлуатації не стане непридатною для використання. Перевірка виконується за двома групами граничних станів: перша група (Ultimate Limit State, ULS), що пов'язана із руйнуванням або втратою несучої здатності (безпека), та друга група (Serviceability Limit State, SLS), що стосується функціональності та комфорту користувачів (прогини, тріщини). Даний кейс зосереджений на розрахунку за першою групою граничних станів (ULS).

Незважаючи на спільну мету, формати забезпечення надійності в обох системах суттєво відрізняються.

1.1 МЕТОД ДБН

Цей підхід використовує «коефіцієнти надійності за навантаженням» (γ_{fm}), щоб збільшити характеристичні (нормативні) значення навантажень до їх розрахункових значень. Далі, для матеріалів використовуються заздалегідь визначені в таблицях «розрахункові опори». Ці значення, по суті, є характеристичними міцностями, які вже були зменшені з урахуванням (неявного) коефіцієнта надійності за матеріалом та інших коефіцієнтів, наприклад, коефіцієнта умов роботи бетону γ_{b2}. Основна умова перевірки міцності має вигляд:

вплив від розрахункових навантажень ≤ несуча здатність, визначена за розрахунковими опорами.

1.2 МЕТОД ЄВРОКОДУ 2

Цей підхід є більш деталізованим і прозорим. Для визначення розрахункового впливу (E_d) використовуються часткові коефіцієнти для дій (γ_G для постійних, γ_Q для змінних). Окремо визначаються характеристичні міцності матеріалів (f_{ck}, f_{yk}), які базуються на статистичному 5% фрактилі, тобто значенні, нижче якого очікується не більше 5% результатів випробувань.

Для отримання розрахункових міцностей (f_{cd}, f_{yd}) ці характеристичні значення діляться на явні, чітко визначені часткові коефіцієнти надійності за матеріалом: γ_c для бетону та γ_s для арматури. Формула для розрахункової міцності бетону на стиск є центральною в цьому підході:

$$f_{cd}=\alpha_{cc}\cdot f_{ck}/\gamma_c.$$

Основна умова перевірки має вигляд:

$$E_d \leq R_d,$$

де R_d – розрахунковий опір перерізу, обчислений на основі розрахункових міцностей f_{cd} та f_{yd}. Розділення коефіцієнтів для навантажень і матеріалів дозволяє гнучкіше керувати надійністю. Наприклад, Єврокод 2 встановлює стандартні значення γ_c=1.5 та γ_s=1.15, але також надає методологію для їх *зменшення* за умови гарантованого та задокументованого підвищеного контролю якості на виробництві. Наприклад, при зменшенні відхилень у геометричних розмірах перерізу та положенні арматури, а також при зниженні варіабельності міцності бетону, коефіцієнт γ_c може бути знижений до 1.4. Це створює прямий економічний стимул для підвищення якості будівельних робіт, оскільки дозволяє проєктувати більш економні конструкції (з меншими перерізами або меншим армуванням) без зниження цільового рівня надійності. У системі ДБН, де розрахункові опори є фіксованими табличними величинами, такий гнучкий, заснований на ризиках підхід, практично відсутній.

2. ПРАКТИЧНЕ ЗАВДАННЯ ДЛЯ СТУДЕНТІВ

2.1 КОНТЕКСТ

Українська будівельна компанія розпочинає реалізацію проєкту відбудови зруйнованого внаслідок бойових дій житла в м. Покровськ Херсонської області. Фінансування проєкту здійснюється за участю європейського інвестиційного фонду. Згідно з вимогами українського законодавства, проєктна документація має бути розроблена у відповідності до чинних ДБН для проходження державної експертизи та отримання дозволу на будівництво. Водночас, інвестори, керуючись власними протоколами управління ризиками та вимогами міжнародних страхових компаній, вимагають проведення паралельної верифікації ключових несучих конструкцій за нормами Єврокоду. Ця ситуація створює реальну практичну потребу в інженерах, що володіють компетенціями для роботи в обох нормативних системах.

Студенту пропонується виступити в ролі інженера-конструктора, відповідального за проєктування типової балки перекриття в цьому житловому будинку. Завдання полягає у розрахунку балки (рис.3.1) за першою групою граничних станів (ULS) на дію згинального моменту.



Рис. 5.1 Відновлення пошкодженого житлового в будинку місті Покровськ Херсонської області

Завдання: Виконати та задокументувати два паралельні розрахунки для визначення необхідної площі поздовжньої розтягнутої арматури (A_s):

1. Розрахунок відповідно до вимог ДБН В.2.6-98 та пов'язаних з ним стандартів (зокрема, ДБН В.1.2-2:2006 для навантажень).
2. Розрахунок відповідно до вимог ДСТУ-Н Б EN 1992-1-1 (Єврокод 2).

Кінцевим результатом роботи має стати порівняльний звіт, що містить опис методологій, детальні розрахунки з використанням ПК LIRA-CAD, зведені результати та аналітичні висновки. Вихідні дані до цієї вправи містяться в Додатку.

2.2 МОЖЛИВИЙ АЛГОРИТМ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ

Відразу після запуску модуля САПФІР ПК LIRA-CAD стають доступними елементи інтерфейсу програми: меню команд, піктограми, панелі інструментів, службові вікна з деревовидними списками, графічне вікно, тощо.



Для завдання координаційних осей використовується команда меню **«Осі»** у вкладці **«Створення»**. Використовуємо піктограму **«Параметри»** для активації діалогового вікна **«Координаційні осі»**.

Обираємо тип сітки: **«Прямокутна»**. Задаємо точку прив'язки і її координати. В групі **«Інтервали»** надано дві таблиці, за допомогою яких задаємося інтервалами між осями та їх позиціями в двох напрямках. Щоб додати ось до сітки тиснемо «Додати інтервал» під відповідною таблицею. Натискаємо кнопку **«ОК»**: діалог завершується і програма утворює сітку координаційних осей, яку ми можемо спостерігати в графічному вікні. За допомогою лівої кнопки миші вказуємо місце розташування утвореної сітки координаційних осей.

Для побудови кожного елементу конструкції призначений свій особливий інструмент. Виклик інструменту зручно здійснити, використовуючи кнопки на панелі інструментів.



Обираємо інструмент **«Стіна»** натисканням кнопки **«Стіна»** во вкладці **«Створення»**, внаслідок чого у верхній частині вікна програми з'являється панель властивостей інструменту **«Стіна»**. Виберіть спосіб побудови осьової лінії **«Відрізки прямих»**, **«Ланцюжок»**, тощо. Використовуйте розкривний список **«Матеріал»** в вікні властивостей побудови і оберіть матеріал стіни. Важно відмітити, що для внутрішніх перегородок слід встановити в розкривному списку **«Функція»** значення **«Перегородка»** та в розкривному списку **«Інтерпретація»** значення **«Навантаження»**. Задаємо товщину в залежності від матеріалу, рівень основи та спосіб прив'язки до осі. Використовуючи тривимірний локатор, керований маніпулятором «миша», послідовно введіть декілька точок осьової лінії.



Обираємо на панелі **«Інструменти»** інструмент **«Двері»**. На панель властивостей інструменту завантажуються властивості дверей. Розміри отвору, глибина розміщення дверного полотна (відстань від площини стіни до площини встановлення двері), рівень відносно підлоги можуть бути задані у відповідних вікнах редагування. Розміщення отворів на стінах відбувається за допомогою тривимірного локатора. Локатор визначає положення базової точки отвору в моделі. Проріз може бути прив'язаний відносно своєї базової точки одним з трьох способів: точка ліворуч, точка посередині, точка праворуч. Спосіб прив'язки перемикається піктограмами на панелі властивостей інструменту **«Двері»**. Заповнення отвору можна обрати за допомогою відповідного діалогового вікна. В діалоговому вікні **«Заповнення отвору»** вкажіть елементи заповнення дверного отвору, оберіть готову модель полотна з бібліотеки та підтвердить свій вибір за допомогою кнопки **«Заповнити отвір»**.

Використовуйте локатор для розміщення декількох отворів на фасаді будівлі. Для цього розташуйте курсор на зображенні стіни, переміщуючи «мишу», керуйте локатором, знайдіть потрібне положення, зафіксуйте проріз одноразовим клацанням лівої кнопки «миші».

Алгоритм додавання вікон до моделі будівлі повністю повторює наведений вище алгоритм додавання дверей. Оберіть інструмент **«Вікно»**, налаштуйте основні параметри вікна, вкажіть заповнення отвору та за допомогою тривимірного локатора розмістить дверний проріз в межах стіни моделі будівлі.



Оберіть інструмент **«Колона»**. Натисніть кнопку **«Переріз»** та в вікні, що відкрилося призначте параметри перерізу. В списку **«Матеріал»**, що розкривається, в вікні властивостей побудови оберіть матеріал колони. Визначте місце розташування колони за допомогою тривимірного локатора.

Щоб додати в модель будівлі балку, натисніть піктограму **«Балка»** на панелі **«Інструменти»**. При цьому в області панелей властивостей з'являється панель властивостей інструменту **«Балка»**. У графічному вікні включається локатор для введення точок.



За допомогою списків, що розкриваються в вікні **«Властивості побудови»** визначте матеріал і шар моделювання. Для вибору перерізу балки використовуйте кнопку **«Переріз»**. Потім, використовуючи локатор, введіть у графічному вікні точки, що визначають осьову лінію балки (Рис. 2.2). На панелі властивостей

інструменту **«Балка»** можливо задати фіксацію рівня розташування балки в залежності від низу або верху поверху.

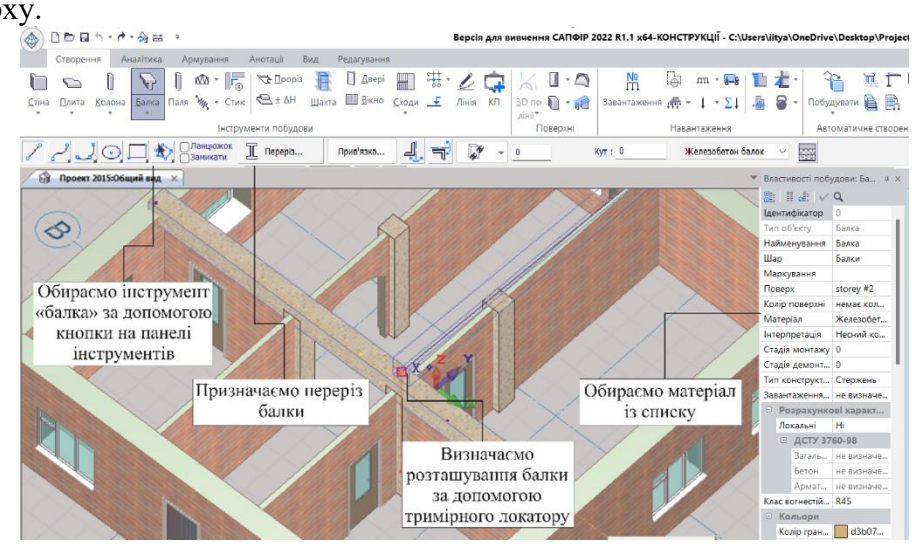
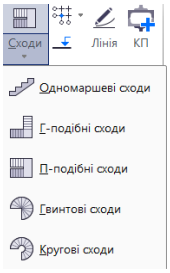


Рис. 5.2 Створення моделі балки



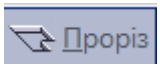
Оберіть інструмент **«Сходи»** та вкажіть тип сходів. Задайте геометричні параметри сходового маршу. Задайте розміри сходинки та поручнів, вкажіть колір конструкцій сходів та визначте місце розташування сходів на плані поверху. В розрахунково-графічній роботі допускається не враховувати сходовий марш в розрахунковій схемі, тож в вікні **«Властивості побудови»** напроти графи **«Інтерпретація»** виставляємо **«Ігнорувати»**.



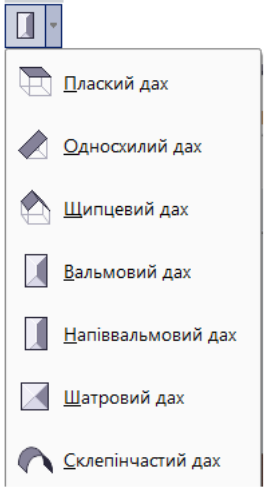
Використовуйте кнопку **«Плита»**, щоб викликати відповідний інструмент. Задайте товщину плити перекриття. Задайте навантаження, що діють на плиту, оберіть матеріал зі списку в вікні властивостей побудування. Потім за допомогою тривимірного локатора введіть точки контуру плити перекриття. В процесі введення точок можна перемикати спосіб побудови, щоб чергувати прямі і радіусні ділянки контуру. Режими **«Ланцюжок»** і **«Замкнути»** для побудови контуру перекриття включені за замовчуванням, відключити їх не можливо, оскільки це об'єкт замкнутого контуру.



Якщо при створенні плити перекриття включена кнопка **«Фіксація рівня»**, то незалежно від того, на якій висоті вводяться точки контуру, побудова плити виконується на рівні, заданому цифрою в вікні редагування залежно від низу або верху поверху. Якщо відключити фіксацію рівня (віджати кнопку **«Фіксація рівня»**), то висотна відмітка верхньої площини перекриття визначається поточним положенням тривимірного локатора. Локатор, переміщуючись в просторі, задає рівень перекриття. Використовуйте комбінацію клавіш **Shift + Z**, щоб включити рух по вертикалі. Для налаштування прив'язки перекриття по висоті використовуйте керуючі елементи, зібрані у групи **«Рівень»**.

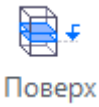


Щоб створити отвір в плиті, натисніть піктограму **«Проріз»** на панелі **«Інструменти»**. При цьому в області панелей властивостей з'являється панель властивостей інструменту **«Проріз»**. У графічному вікні з'являється курсор, що дозволяє виконувати вказування об'єктів. За допомогою курсору оберіть об'єкт, в якому потрібно виконати отвір. При цьому локатор переходить до режиму введення точок, а площина побудови орієнтується паралельно зазначеної площині об'єкта. Шляхом введення точок за допомогою 3D локатора сформуйте контур отвору.



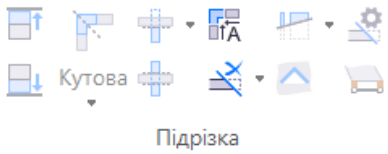
Щоб змоделювати дах, оберіть пункт меню **«Створити»** / **«Дах»** або натисніть піктограму **«Дах»** на панелі **«Інструменти»**. При цьому в області панелей властивостей з'являється панель властивостей інструменту **«Дах»**. У графічному вікні локатор переходить до режиму введення точок. Для створення моделі даху слід вибрати тип, задати кут схилу, товщину, величину звісу, висотну прив'язку відносно рівня поверху (група **«Рівень»**), матеріал і шар моделювання. Потім за допомогою 3D локатора ввести у графічному вікні точки, що визначають контур підстави даху без урахування звісу. В розрахунково-графічній роботі допускається не враховувати навантаження від даху в розрахунковій схемі, тож в вікні **«Властивості побудови»** напроти

графи **«Інтерпретація»** виставляємо **«Ігнорувати»**. До моделювання даху слід підходити після створення нового поверху.



Для побудови несучих конструкцій другого поверху та горища надалі буде потрібно створити новий поверх. Оберіть команду **«Створити/копіювати поверх»**. При цьому зініціюється діалог з назвою **«Створити новий поверх»**. Задайте кількість поверхів, їх висоту та місце розташування. Поставте відмітку навпроти функції **«Копіювати елементи»** та використовуючи фільтр оберіть елементи для копіювання. Після підтвердження вибору слід видалити зайві елементи з архітектурної моделі будівлі.

Виконавши побудову стін приміщення горища для підрізки останніх покрівлею відкриваємо вкладку меню **«Редагування»** виділяємо елементи типу **«Стіна»** і елементи типу **«Дах»**, між якими потрібно виконати підрізку. Стіну та покрівлю вказуємо в будь-якому порядку. Другий об'єкт слід вказувати, попередньо натиснувши і утримуючи в натиснутому стані клавішу **Shift**. Обрані об'єкти підсвічуються кольором виділення.



Підрізка стіни під дах зазвичай виконується для стін. Однак, ця операція може бути виконана і для об'єктів типу **«Дах»**. В цьому випадку підрізка виконується для об'єкта **«Дах»**, зазначеного першим. Підрізка може бути здійснена, якщо об'єкти перетинаються по висоті. Якщо стіна нижче, то вона не нарощується до висоти даху. Тому, щоб не було зазорів, початкову висоту стіни задавайте із запасом.

Робота с розрахунковою моделлю. У вкладці **«Аналітика»** пропонуються інструменти для створення та редагування аналітичної моделі, призначеної для подальшого розрахунку за методом скінчених елементів і аналізу напружено-деформованого стану конструкції.

У цьому режимі доступні специфічні інструменти для роботи з розрахунковою моделлю, що не представлені на панелі інструментів вкладки **«Створення»**, призначені для створення і редагування об'єктів відповідних типів.

Якщо в існуючому проєкті аналітичні моделі ще не створювалися, то при спробі перейти до розрахункової моделі з'явиться діалог **«Створити нову розрахункову модель»**. При натисканні кнопки **«ОК»** цього діалогу в складі проєкту в розділі під назвою **«Аналітика»** буде створена нова розрахункова модель. Може бути створено декілька аналітичних моделей, кожна з яких буде характеризувати якийсь аспект роботи конструкції, тому розрахункові моделі отримують імена **«варіант 1»**, **«варіант 2»**, тощо. Створити новий варіант аналітичної моделі будівлі можна в будь-який момент, наприклад, обравши зі стрічки меню **«Створити» / «Розрахункова модель»** або скориставшись кнопкою **«Оновити» / «Створити нову розрахункову модель»** в блоці інструментів **«Розрахункова модель: створення»**.

Аналітична модель являє собою комбінацію конструкцій (у вигляді стрижнів і пластин) і навантажень розрахункової схеми будівлі. В роботі для нанесення на стрижні і пластини кінцево-елементної сітки використовуються наступні кнопки:

Команда **«Налаштування параметрів тріангуляції»** відкриває діалогове вікно, яке дозволяє налаштовувати параметри кінцево-елементної мережі, що генеруються. САПФІР має три генератори кінцево-елементних сіток: один трикутний і два чотирикутних. Обидва чотирикутних генератори можуть окрім чотирикутних елементів сіток генерувати також і трикутні елементи. Різниця між двома чотирикутними генераторами полягає в тому, як вони ведуть себе біля опор та в середині прольоту. Сітки, згенеровані чотирикутним генератором, є регулярними в прогонових зонах, а сітки, згенеровані як адаптивні чотирикутні контури опор.

Основним параметром генерації сіток пластин є **«Крок»**, який визначає максимальну довжину ребра трикутника або чотирикутника сітки. Крім цього параметра корисним є параметр **«Додати нові точки»**, який в положенні **«Ні»** дозволяє створити кінцево-елементну мережу, об’єднуючи тільки існуючі опорні точки і відрізки. Для генерації сіток стрижнів передбачений тільки один параметр: **«Розбивка стрижнів по довжині»**, що визначає максимальну довжину кінцевого елемента, на які дробиться стрижень. Команда **«Тріангулювати обрані стрижні и пластини»** проводить тріангуляцію, тобто створює на елементі кінцево-елементну

Після виконання наведених вище операцій розрахункову схему слід перевірити та відкрити в ПК ЛІРА-САПР, використовуючи відповідні кнопки в блоці **«Розрахунок в ЛІРА- CAD»** стрічкового меню. Це викличе відкриття основного модуля програмного пакету.

В програмному комплексі передбачено автоматичне формування розрахункових сполучень зусиль, відповідне нормативним документам, що діють в проєктуванні об'єктів будівництва. Слід виконати паралельний розрахунок за українськими та європейськими стандартами. Результати обох розрахунків слід звести в таблицю для наочного порівняння.

Таблиця 5.2

Приклад порівняльної зведеної таблиці розрахунків та результатів (ДБН vs. Єврокод 2)

Етап розрахунку	Позначення / Формула	ДБН В.2.6-98	EN 1992-1-1	Різниця, %
Розрахунок навантажень				
Розрахункове навантаження	q_d / q_{Ed}	24.73 кН/м	30.56 кН/м	+23.6%
Розрахунковий згин. момент	M_d / M_{Ed}	111.26 кНм	137.52 кНм	+23.6%
Міцність матеріалів				
Розрахункова міцність бетону	f_{cd}	14.5 МПа	11.33 МПа	-21.9%
Розрахункова міцність сталі	f_{yd}	435.0 МПа	434.8 МПа	-0.05%
Необхідна площа арматури	**$A_{s,req}$**	**606.8 мм²**	**788.1 мм²**	**+29.9%**

Засвоєна в цьому кейсі порівняльна структура аналізу (Коефіцієнти навантажень → Розрахункові зусилля → Міцність матеріалів → Розрахунок опору → Кінцевий результат) є універсальним інструментом. Цей підхід може бути застосований для порівняння будь-яких двох будівельних норм для будь-яких типів конструктивних елементів (колон, плит, фундаментів) та для будь-яких видів впливів (поперечна сила, крутний момент, осьове зусилля).

ЛІТЕРАТУРА

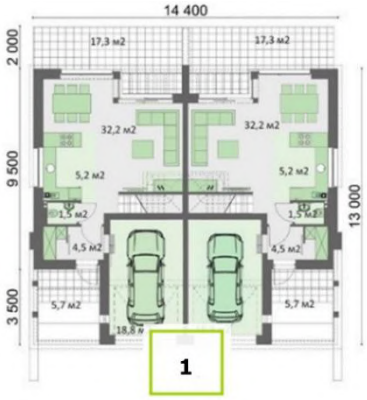
Використана

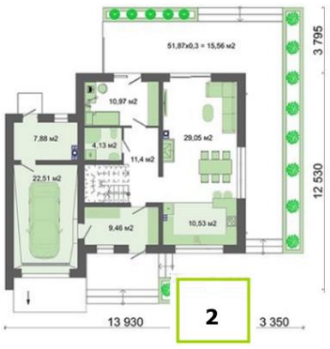
1. ДБН В.2.6-98:2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення.
2. ДСТУ-Н Б EN 1992-1-1:2010. Єврокод 2: Проектування залізобетонних конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила і правила для споруд (EN 1992-1-1:2004, IDT).
3. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування.
4. ДБН В.1.2-14:2018. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд.

Рекомендована для самостійного вивчення студентами

1. Клименко Ф.Є., Барабаш В.М., Стороженко Л.І. Залізобетонні та кам’яні конструкції: Підручник. – Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2009.
2. Бамбура А.М., Валовой Д.В. та ін. Проектування залізобетонних конструкцій за єврокодами. Посібник з проектування до ДСТУ Н Б EN 1992-1-1:2010. – Київ: ДП "НДІБК", 2012.
3. Mosley B., Bungey J., Hulse R. Reinforced Concrete Design to Eurocode 2. – 7th ed. – Palgrave Macmillan, 2012.
4. The Concrete Centre. "How to design concrete structures using Eurocode 2" (серія посібників та прикладів розрахунків).
5. Офіційні навчальні матеріали та посібники з LIRA-CAD.

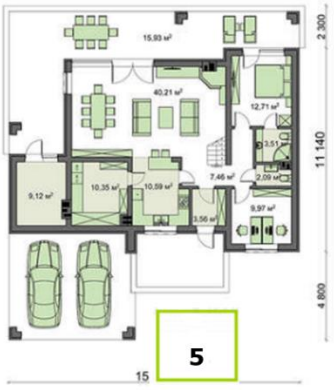
Вихідні дані для Case study 2













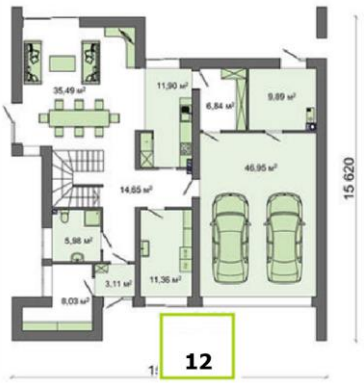












6. РОЗРАХУНОК НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ РАМ З ВИКОРИСТАННЯМ ПК ЛІРА-САПР

М. Г. Сур'янінов,
М. М. Сорока,
Н. В. Пущіна

ВСТУП

Даний практикум розроблений у рамках дисципліни «Інформаційне моделювання в будівельній механіці» освітньо-наукової програми «BIM інжинірінг».

Метою практикума є засвоєння методики використання ПК ЛІРА-САПР для розрахунку несучої здатності рам.

Коротко наведені теоретичні положення та припущення, методика визначення граничного навантаження прямим методом з прикладом розрахунку.

При викладанні методики використанні ПК ЛІРА-САПР описано покроковий алгоритм дій при виконанні розрахунку.

У додатку наведені вихідні дані, за якими здобувачі повинні самостійно виконати розрахунок несучої здатності рам з використанням ПК ЛІРА-САПР.

1. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ТА ПРИПУЩЕННЯ

Розрахунок несучої здатності рами виконується в рамках наступних припущень [1].

1. Розглядається плоска рама, що знаходиться в умовах простого статичного навантаження.
2. Поперечний переріз рами переходить в пластичний стан тільки під впливом згинальних моментів, вплив поздовжніх та поперечних сил не враховується.
3. Перерізи, в яких згинальний момент менше граничного, працюють в умовах закону Гука.
4. Пластичний шарнір утворюється в перерізі, де діє граничний момент.
5. Взаємний поворот перерізів, прилеглих до пластичного шарніру, необмежено зростає без зростання згинального моменту.
6. При дії граничного навантаження рама, або її частини не втрачають стійкості.
7. При визначенні граничного моменту для залізобетонного перерізу враховується тільки розтягнута арматура.

Для визначення параметру граничного навантаження і побудови граничної епюри моментів і схеми пластичного руйнування рами можуть бути використані декілька методів.

В даному практикумі розглянутий прямий метод [2], оснований на поетапному розрахунку рами при зростанні параметру навантаження з встановленням на кожному етапі простого шарніру в перерізі, де утворився пластичний шарнір. Метод дозволяє розглянути всі стадії роботи рами: її пружну роботу, пружно-пластичну роботу і стадію руйнування, але потребує багаторазових статичних перерахунків.

2. МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ГРАНИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ПРЯМИМ МЕТОДОМ

Алгоритм розрахунку несучої здатності рами прямим методом коротко можна описати так:

1. Статичний розрахунок рами з параметром навантаження ΔF.

2. Для кожного з розрахункових перерізів рами записується умова пластичності

$$|M_j| \le M_{0j} \quad (j=1,2,\ldots,s), \tag{2.1}$$

де M_{0j} – величина граничного моменту в перерізі "j"; M_j – момент, що виникає в перерізі "j" від дії навантаження з параметром ΔF; s – кількість розрахункових перерізів рами.

Встановлюється величина навантаження ΔF^1, що відповідає появі першого пластичного шарніру

$$\Delta F^1 = min\left(\frac{M_{0j}}{|M_j|}\right) \quad (j=1,2,\ldots,s), \tag{2.2}$$

Перший пластичний шарнір утворюється в перерізі, де виконується умова (2.2).

3. Будується епюра моментів $M^1_{\text{гр}}$, що відповідає навантаженню ΔF^1.

$$M^1_{\text{гр},j} = \Delta F^1 M_j, \qquad (2.3)$$

4. В перерізі, де утворився пластичний шарнір, встановлюється простий шарнір. Тим самим усувається можливість зміни згинального моменту в даному перерізі при подальшому зростанні параметру навантаження.

5. Якщо рама, чи її частина стала геометрично змінною, перейти до п. 10.

6. Виконується статичний розрахунок рами із встановленим шарніром при дії параметру навантаження ΔF.

7. Встановлюється переріз, де утворюється наступний пластичний шарнір і приріст параметру навантаження ΔF^i, що призводить до його появи. Для цього використовується залежність

$$\left|M^{i-1}_{\text{гр},j} + \Delta F^i M_j\right| \le M_{0,j}, \text{ або } \begin{cases} +\left(M^{i-1}_{\text{гр},j} + \Delta F^i M_j\right) \le M_{0,j} \\ -\left(M^{i-1}_{\text{гр},j} + \Delta F^i M_j\right) \le M_{0,j} \end{cases} \qquad (2.4)$$

З використанням (2.4) визначається найменше додатне значення ΔF^i і переріз, де утворюється пластичний шарнір.

8. Будується епюра моментів $M^i_{\text{гр}}$, що відповідає параметру навантаження $F = \sum_{k=1}^{i} \Delta F^k$:

$$M^i_{\text{гр},j} = M^{i-1}_{\text{гр},j} + \Delta F^i M_j \qquad (2.5)$$

9. Розрахунок повторюється, починаючи з п. 4.

10. Параметр навантаження і епюра моментів, одержані в п. 8, є граничними для даної рами.

Приклад 1. Розрахунок рами прямим методом

Визначити параметр граничного навантаження, побудувати граничну епюру моментів і механізм пластичного руйнування для рами, зображеної на рис. 2.1, а.

Ступінь статичної невизначуваності рами n=1. Для утворення повного пластичного механізму руйнування необхідно виникнення двох пластичних шарнірів.

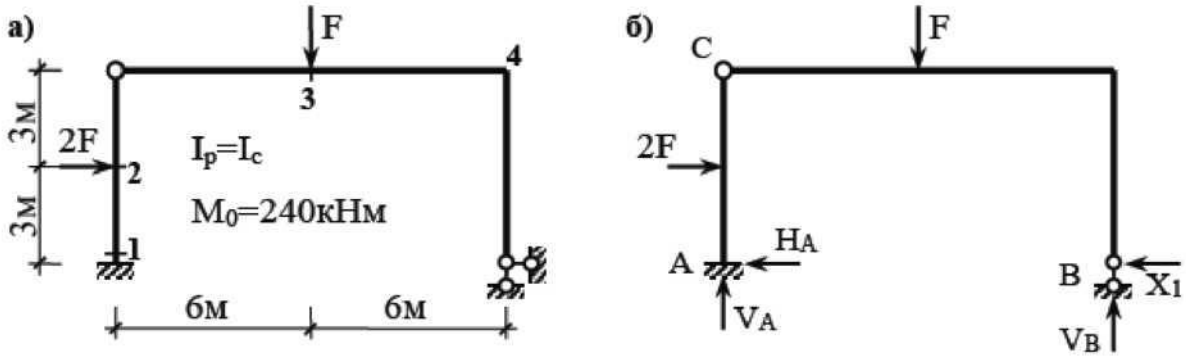


Рис. 6.1. Вихідні дані для розрахунку (а) і основна система методу сил (б)

Перший етап розрахунку

Основна система методу сил показана на рис. 2.1б, одинична і вантажна епюри моментів – на рис. 2.2а.

Канонічне рівняння методу сил:

$\delta_{11}\text{X}_1 + \Delta_{1f} = 0.$

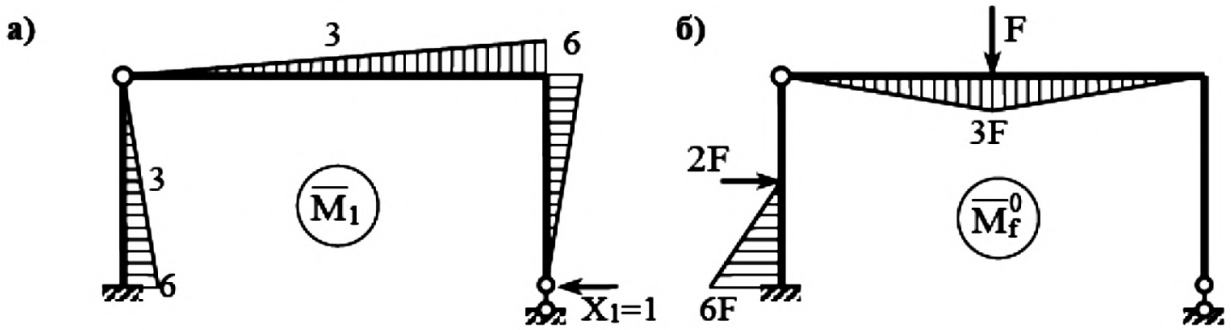
Обчислюємо одиничне і вантажне переміщення:

$$\delta_{11} = \sum \int_0^l \frac{\bar{M}_1^2}{EI} dx = \frac{1}{EI}\left[\left(\frac{1}{2}6\cdot 6\cdot\frac{2}{3}6\right)\cdot 2 + \frac{1}{2}6\cdot 12\cdot\frac{2}{3}6\right] = \frac{288}{EI};$$

$$\Delta_{1f} = \sum \int_0^l \frac{\bar{M}_1 M_f^0}{EI} dx =$$

$$= -\frac{1}{EI}\left[\frac{1}{2}6F\cdot 3\cdot\left(3+\frac{2}{3}3\right) + \frac{1}{2}3F\cdot 6\cdot\frac{2}{3}3 + \frac{1}{2}3F\cdot 6\cdot\left(3+\frac{1}{3}3\right)\right] = -\frac{99F}{EI}.$$

Рис. 6.2. Одинична (а) і вантажна (б) епюри моментів



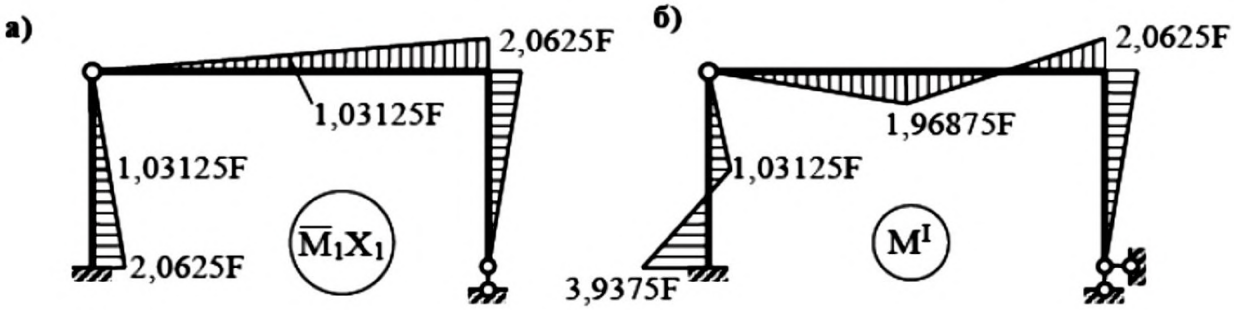
Визначаємо невідоме методу сил:

$$X_1 = -\frac{\Delta_{1f}}{\delta_{11}} = \frac{99F}{288} = 0,34375F.$$

Будуємо «пружну» епюру моментів першого етапу $M^1 = \overline{M}_1 X_1 + M_f^0$ (рис. 2.3).

Рис. 6.3. «Пружна» епюра моментів першого етапу

Визначаємо параметр граничного навантаження першого етапу. Максимальний згинальний момент виникає в перерізі 1, значить, перший пластичний шарнір утворюється в цьому ж перерізі.



Прирівнюємо згинальний момент у перерізі 1 до граничного моменту і визначаємо граничне навантаження першого етапу F^1.

$$3,9375F^1 = M_0;$$

$$F^1 = \frac{M_0}{M_1^1} = \frac{240}{3,9375} 60,95238кН.$$

$$M_{zp}^I = M^I F^I.$$

Будуємо граничну епюру моментів першого етапу розрахунку (рис. 6.4).

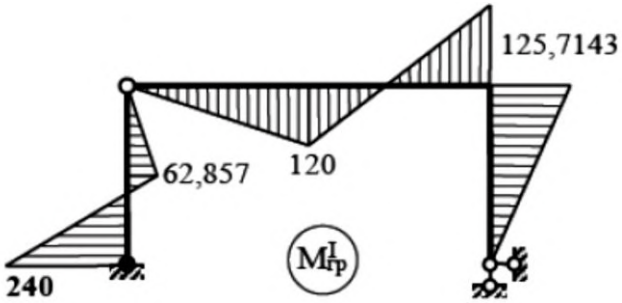


Рис. 6.4. Гранична епюра моментів першого стану

Другий етап розрахунку

Встановлюємо в перерізі 1, де утворився пластичний шарнір, простий шарнір і будуємо «пружну» епюру моментів від завантаження рами приростом навантаження ΔF (рис. 6.5). після установки простого шарніра рама стала статично визначувана.

Опорні реакції:

$$\sum m_C^{лев} = 6H_A - 3 \cdot 2\Delta F = 0;$$

$$H_A = \Delta F.$$

$$\sum X = 2\Delta F - \Delta F - H_B = 0;$$

$$H_B = \Delta F.$$

$$\sum m_A = 3 \cdot 2\Delta$$

$$V_B = \Delta F.$$

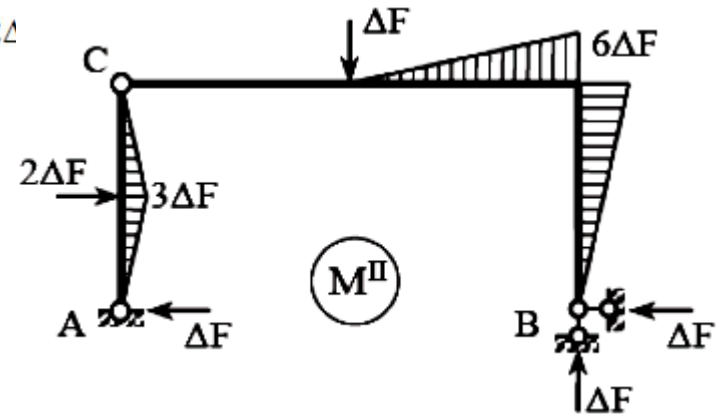


Рис. 6.5. «Пружна» епюра моментів другого етапу

Аналізуючи епюри моментів $M^{\text{I}}_{\text{гр}}$ і M^{II}, відмічаємо, що найбільші моменти виникають у перерізі 4. Виходячи із цього,визначаємо приріст параметру навантаження, при якому створюється другий пластичний шарнір:

Параметр граничного навантаження дорівнює:

$$6\Delta F + 125,7143 = 240 \Rightarrow \Delta F = 19,04762 кН.$$

$$F_0 = F^I + \Delta F = 80 кН.$$

Будуємо граничну епюру згинальних моментів (рис. 6.6).

$$M_{гр} = M^{II}\Delta F + M^I_{гр}$$

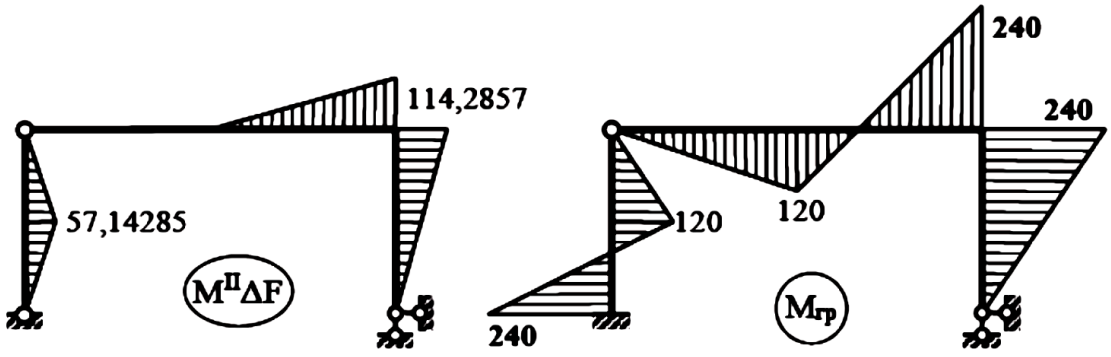


Рис. 6.6. Гранична епюра згинальних моментів

Зображаємо пластичний механізм руйнування рами (рис. 6.7) і будуємо залишкову епюру згинальних моментів (рис. 6.8), яка виникає в процесі пластичного деформування рами і не зникає після зняття зовнішнього навантаження.

$$M_{зал} = M_{гр} - M^I$$



Рис. 2.7. Пластичний механізм руйнування рами

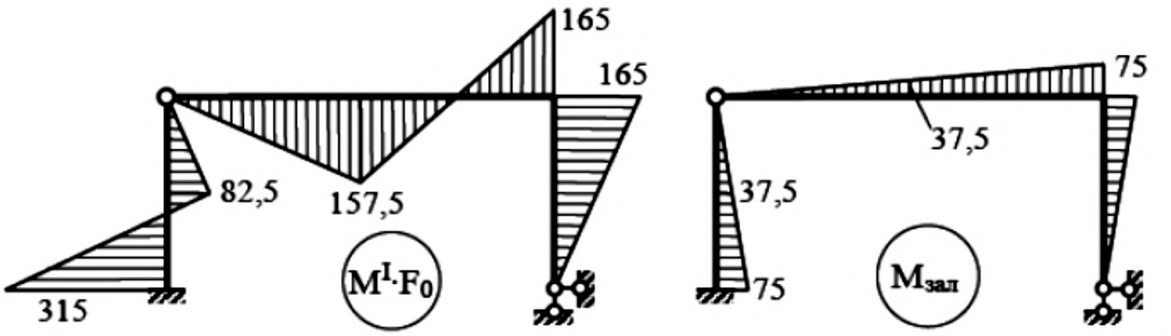


Рис. 6.8. Залишкова епюра моментів

Так епюра $M_{зал}$ створюється після зняття навантаження, то в місцях, де були прикладені зосереджені сили, не повинно бути зломів.

3. МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ГРАНИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ПК ЛІРА-САПР

У програмному комплексі ЛІРА-САПР [3] граничні зусилля у перерізах конструкції контролюються за допомогою спеціального двохвузлового елемента СЕ-255, який дозволяє моделювати як лінійну, так і кутову податливість відносно місцевих координатних осей. Величини граничних зусиль, після перевищення яких у даному елементі почнеться текучість, вводяться у параметрах жорсткості елемента. Такі елементи потрібно вводити в розрахункову модель у тих місцях, де прогнозується утворення пластичних шарнірів.

Для знаходження граничного навантаження використовується ітераційний процес оснований на простому крокovому методі. Точність розрахунку залежить від кількості ітерацій і кроку навантаження.

Приклад 2. Розрахунок рами з використанням ПК ЛІРА-САПР

Виконати розрахунок рами, зображеної на рис. 2.1.а.

До виконання розрахунку потрібно провести деяку підготовчу роботу. Визначаємо перерізи рами де можливе утворення пластичних шарнірів. Це місця, де встановлені жорсткі в'язи, місця прикладення зосереджених сил, місця жорсткого з'єднання стрижнів рами. У таких місцях потрібно створити два вузли, розташовані на відстані 1см один від одного (рис. 3.1)

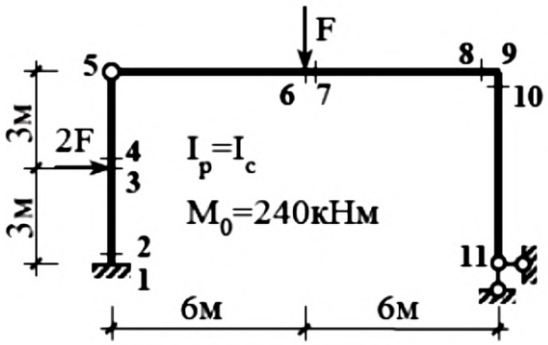


Рис. 3.1 Нумерація вузлів рами

Призначивши початок координат у вузлі 1, формуємо таблицю координат вузлів рами (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Координати вузлів рами

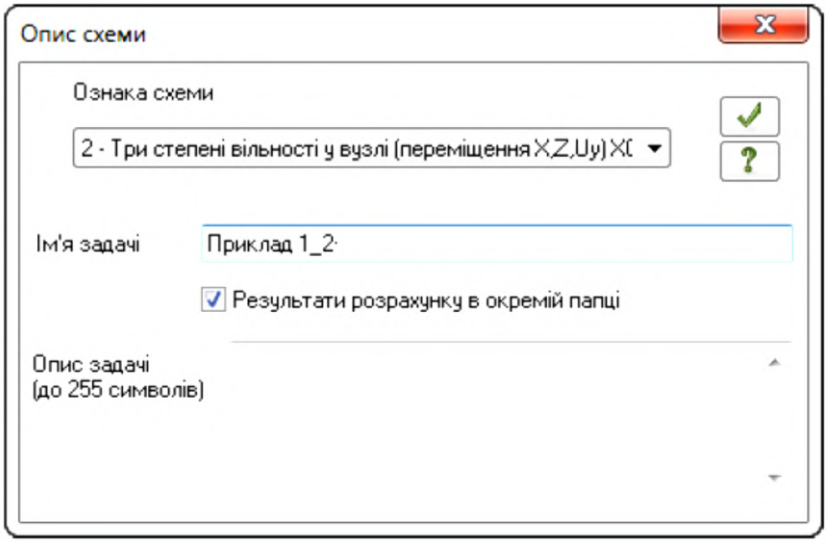
№ вузла	Координати вузла (*м*)	
	x	*z*
1	0,00	0,00
2	0,00	0,01

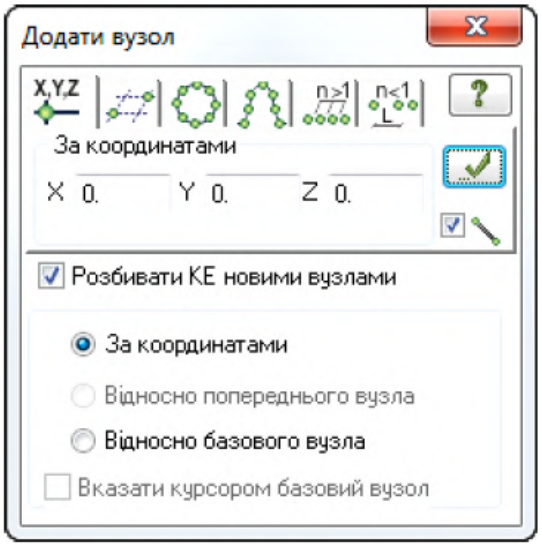
3	0,00	3,00
4	0,00	3,01
5	0,00	6,00
6	6,00	6,00
7	6,01	6,00
8	11,99	6,00
9	12,00	6,00
10	12,00	5,99
11	12,00	0,00

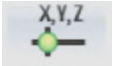
Після запуску ПК ЛІРА-САПР вибираємо тип схеми – 2 (рис. 3.2), вводимо ім'я задачі і натискаємо кнопку .

Рис. 3.2 Вікно вибору типу схеми

На панелі **«Створення»** (закладка **«Створення та редагування»**) натискаємо кнопку







і послідовно вводимо координати вузлів із табл. 3.1 (рис. 2.11). після вводу координат чергового вузла натискаємо кнопку .

Рис. 3.3 Вікно введення координат вузлів

На панелі **«Створення»** натискаємо кнопку  і з'єднуємо стрижнями вузли 1-5, 5-9, 9-11. Таким чином, у рамі створюються стрижні, що мають «нормальну» довжину і стрижні довжиною 1 см.

У вузлі 1 встановлюємо жорстке закріплення. Для цього виділяємо вузол 1 (кнопка на нижній панелі) натискаємо кнопку  – **«В'язі»**  вибираємо в'язи по X, Z,



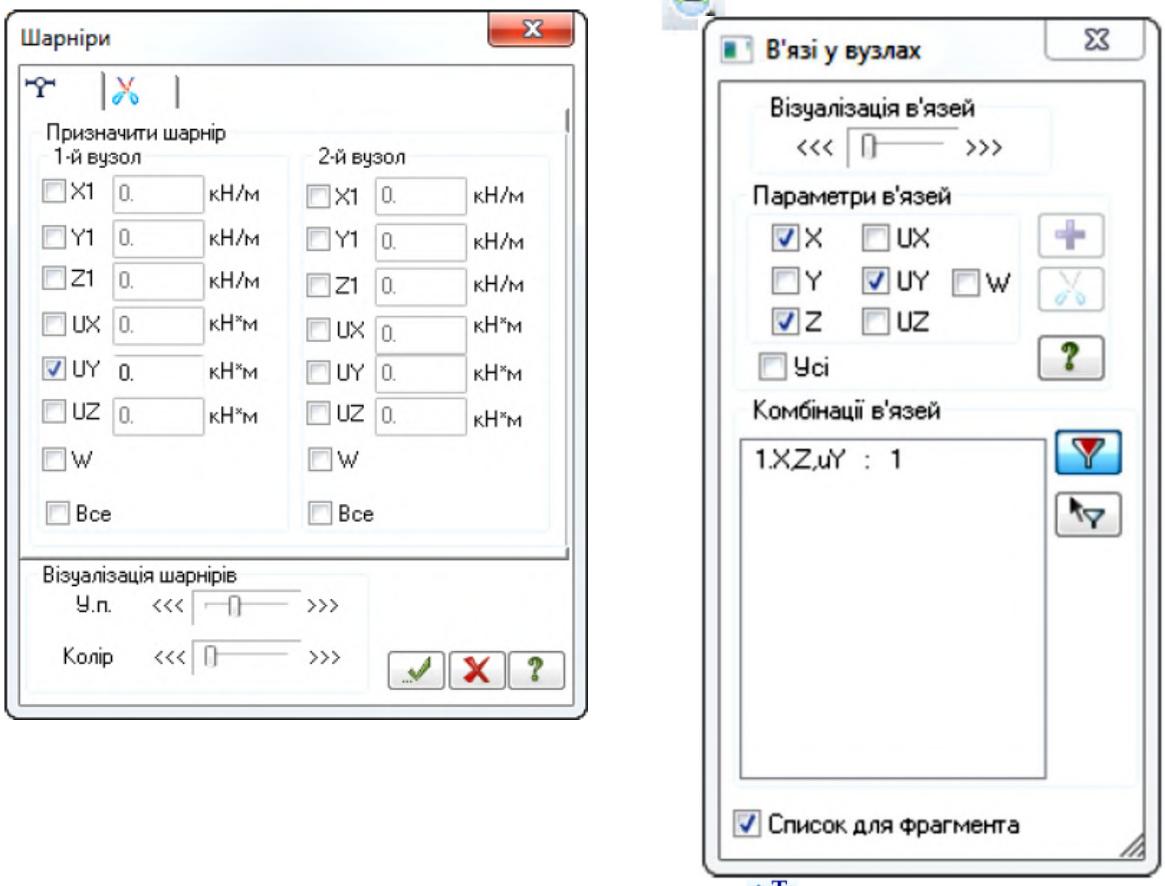
UY і натискаємо кнопку (рис. 3.4). У вузлі 11 встановлюємо лінійні в’язи по X і Z. Для цього виділяємо вузол 11, у вікні **«В’язі у вузлах»** знімаємо позначку із в’язи UY і натискаємо кнопку .

Рис. 3.4 Вікно введення опорних в’язів

Встановлюємо шарнір у вузлі 5. Шарнір може бути встановлений, або в стояку, або в ригелі. Виділяємо стрижень ригеля, переходимо на закладку **«Стержні»**, натискаємо кнопку , ставимо позначку UY у 1-му вузлі (рис. 3.5) і натискаємо кнопку .

Рис. 3.5 Вікно встановлення шарнірів

Виділяємо усі стрижні рами (кнопка на нижній панелі), переходимо на



закладку **«Розширене редагування»** і натискаємо кнопку Зміна типу КЕ. У вікні (рис. 3.6) вибираємо **«Тип 2 – СЕ пласкої рами»** і натискаємо кнопку .

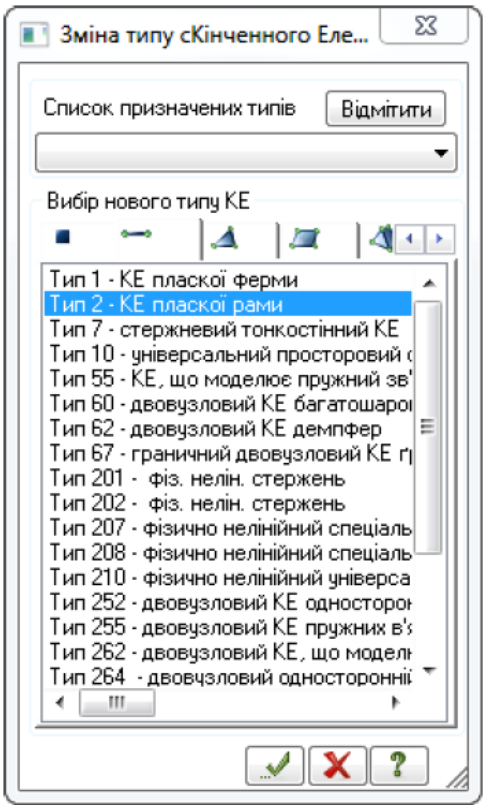


Рис. 3.6 Вікно зміни типу скінченного елемента

Переходимо на вкладку **«Створення та редагування»** і натискаємо кнопку Жорсткості на панелі **«Жорсткості та в'язі»**. У вікні **«Жорсткості та матеріали»** (рис. 3.7) натискаємо кнопку Додати>>, переходимо на закладку *EF* і 2 рази клацаємо кнопкою мишки на КЕ 2 чисельне.

У вікні введення чисельних значень жорсткостей (рис. 3.8) вводимо

$$EF = 1e8кН;\ \ EI = 1e6кН \cdot м^2$$

і натискаємо кнопку Ці довільні значення жорсткостей вводяться тільки для того, щоб рама могла сприймати зовнішнє навантаження, так як на обчислення граничного навантаження в даному випадку (I_p=I_c) величини жорсткостей не впливають. Виділяємо стрижні рами, крім стрижнів, що мають довжину 1 см і у вікні **«Жорсткості та матеріали»** натискаємо кнопку .

Цим самим виділенням стрижням рами буде присвоєна введена жорсткість.

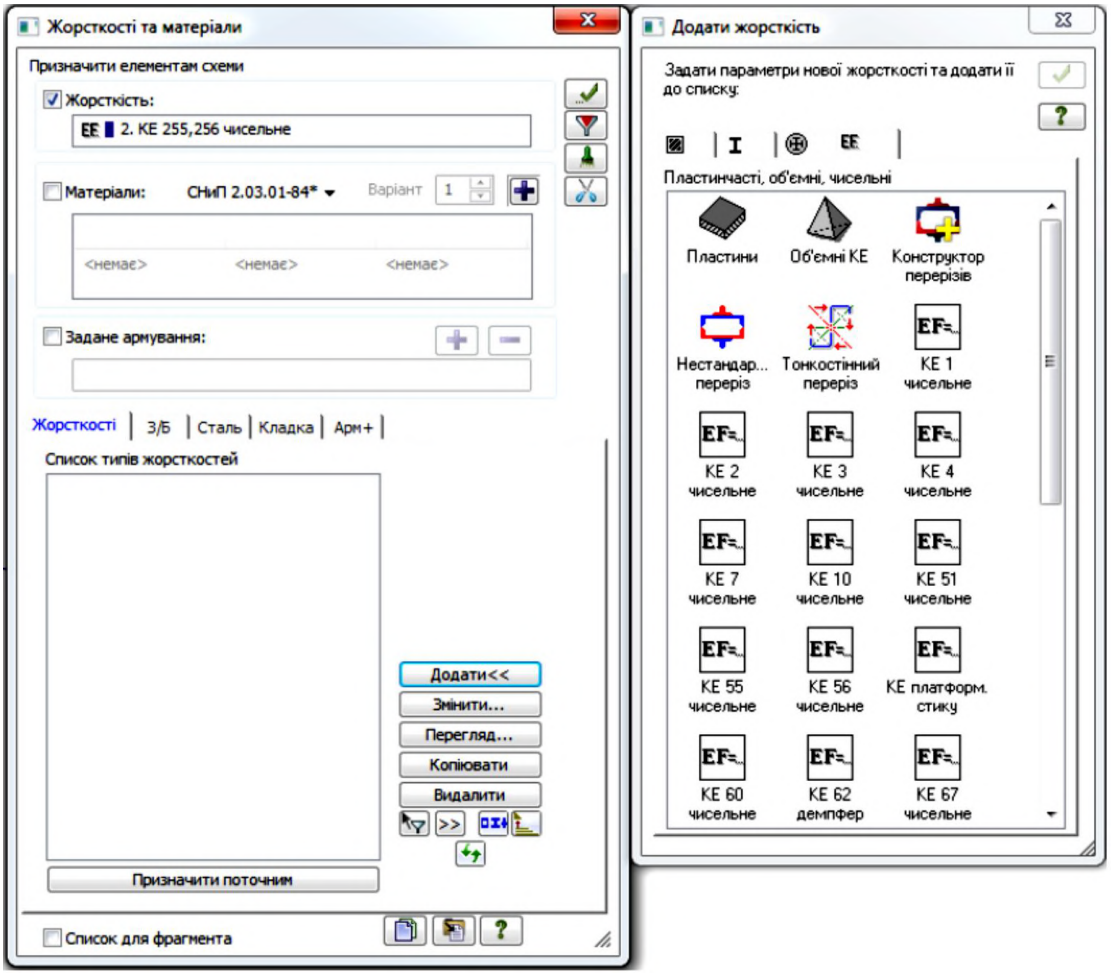


Рис. 3.7 Вікно введення жорсткостей скінченних елементів

Стрижневим СЕ, що мають довжину 1см, потрібно змінити тип на СЕ255. Для їх виділення на нижній панелі натискаємо кнопку – **«Поліфільтр»**. У вікні **«Поліфільтр»** переходимо на закладку **«Фільтр для елементів»**, ставимо позначку **«За типом жорсткості»**, вибираємо **«Ні»** і натискаємо кнопку (рис. 3.9). Це призведе до того, що будуть виділені стрижні, яким не була присвоєна жорсткість, тобто, стрижні довжиною 1 см. Далі переходимо на закладку **«Розширене редагування»** і натискаємо кнопку У вікні (рис. 3.6) вибираємо **«Тип 255 - двовузловий СЕ пружних в'язів з урахуванням граничних зусиль»** і натискаємо кнопку .

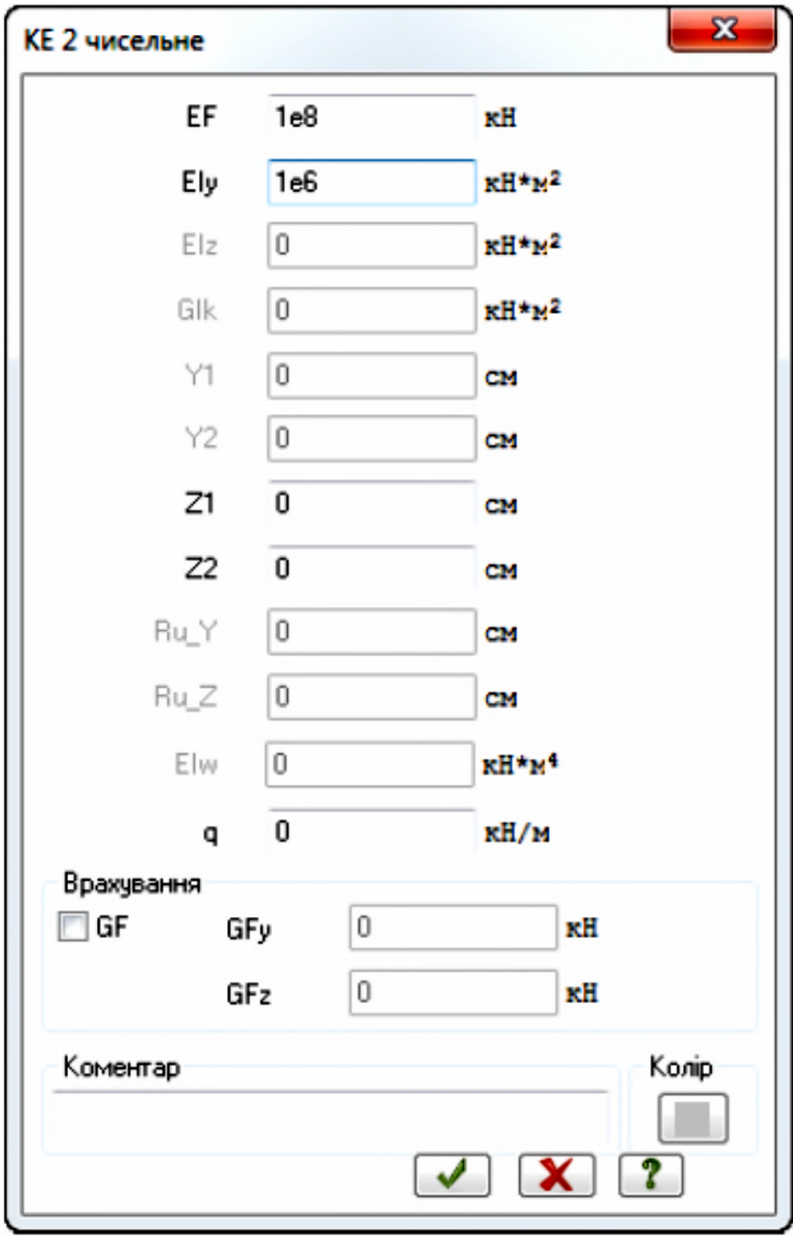


Рис. 3.8 Вікно введення значень жорсткостей

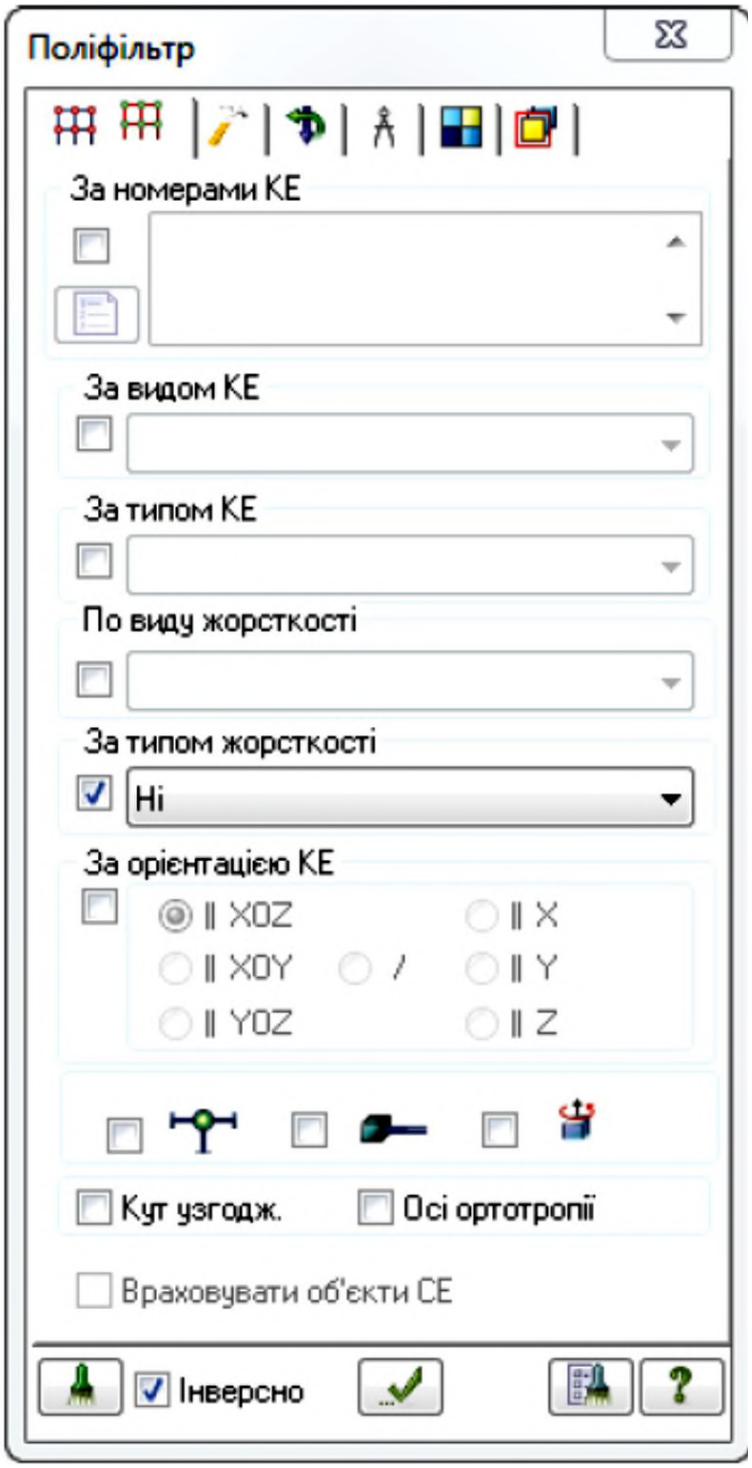


Рис. 3.9 Вікно фільтра для елементів

Виділяємо СЕ 255. Для цього натискаємо кнопку – **«Поліфільтр»**. У вікні **«Поліфільтр»** переходимо на закладку **«Фільтр для елементів»**, ставимо позначку **«За типом СЕ»**, вибираємо **«Тип 255 - двовузловий...»** і натискаємо кнопку .

Переходимо на закладку **«Створення та редагування»** і натискаємо кнопку на панелі **«Жорсткості та в'язі»**. У вікні **«Жорсткості та матеріали»** натискаємо кнопку Додати>>, переходимо на закладку *EF* і два рази клацаємо лівою кнопкою мишки на КЕ 255,256 чисельне. Вводимо жорсткості СЕ 255 (рис. 3.10) і натискаємо кнопку . Погонні жорсткості *R* і граничне значення поздовжніх сил вводяться довільно, але потрібно слідкувати, щоб граничні значення поздовжніх сил були значно більшими, ніж виникаючі у стрижнях поздовжні сили від навантаження. У вікні **«Жорсткості та матеріали»** натискаємо кнопку .

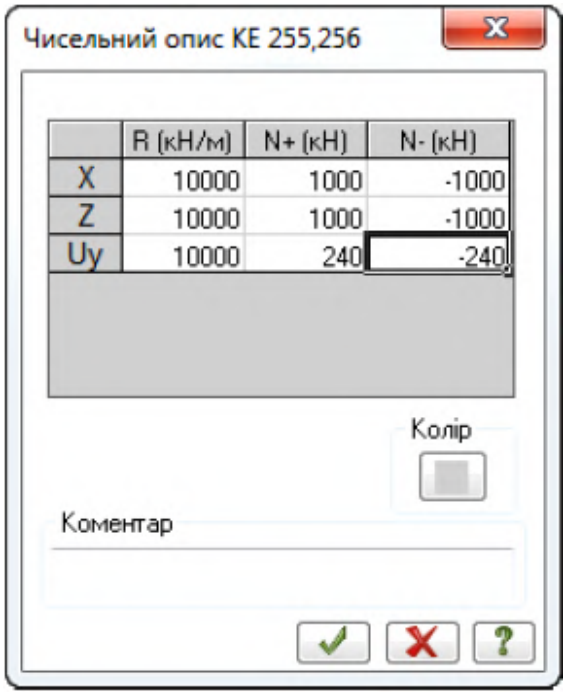


Рис. 3.10 Вікно введення жорсткостей СЕ 255

Переходимо на закладку **«Створення та редагування»** і натискаємо кнопку – **«Навантаження на вузли»** на панелі **«Навантаження»**. Для введення горизонтальної зосередженої сили у вузлі 3 вибираємо напрям сили X, натискаємо кнопку , вводимо значення сили -2 (рис. 3.11) і натискаємо кнопку . Виділяємо вузол 3 і натискаємо кнопку у вікні **«Завдання навантажень»**.

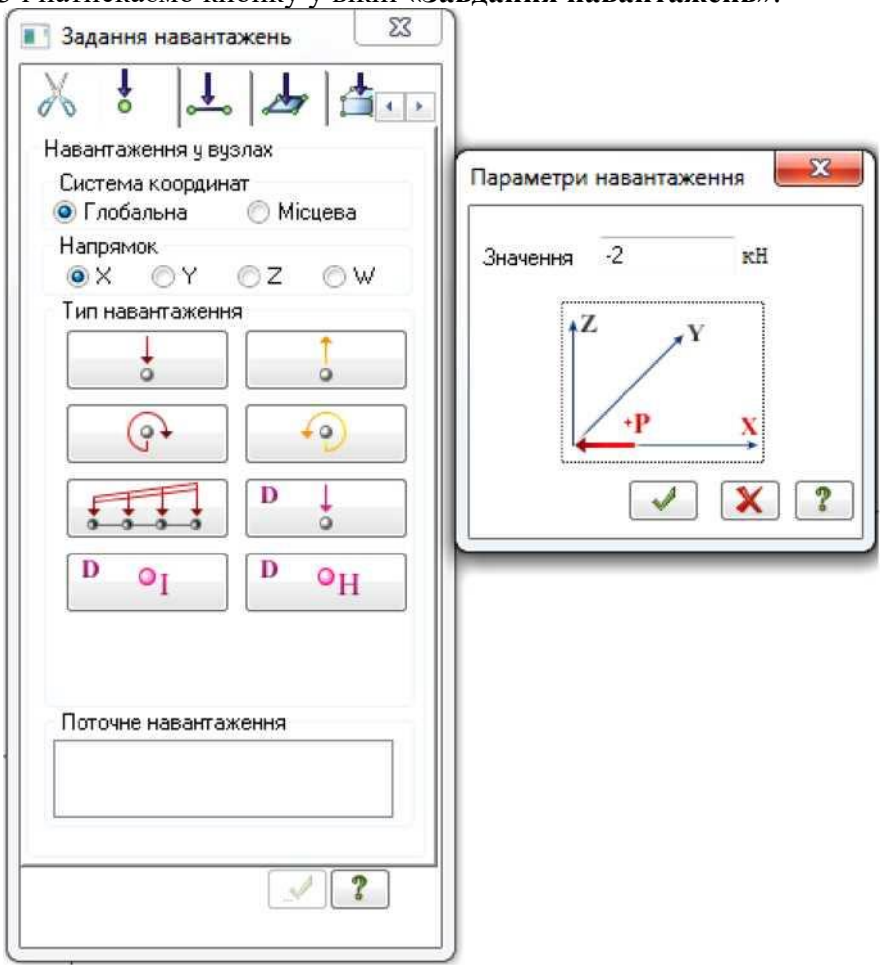


Рис. 3.11 Вікно введення навантаження

Для введення вертикальної сили у вузлі 6 вибираємо напрям сили Z, натискаємо кнопку , вводимо значення сили -1 і натискаємо кнопку
Виділяємо вузол 6 і натискаємо кнопку у вікні **«Завдання навантажень»**.

Далі переходимо на закладку **«Розрахунок»**, на панелі **«Нелінійність»** вибираємо тип нелінійної процедури Крокова. У вікні «Моделювання нелінійних завантажень конструкції» натискаємо кнопку для того, щоб додати нелінійне завантаження, вводимо номер завантаження - 1, вводимо кількість кроків - 500, вибираємо вводимо сумарний коефіцієнт 200, який, в даному випадку, означає максимальне значення навантаження, що може бути досягнуте в процесі розрахунку (рис. 3.12).

Рівномірні кроки, Оскільки величина граничного навантаження попередньо невідома, в якості сумарного коефіцієнту вводимо значення, що завідомо перевищує граничне навантаження. Так як програма не припиняє розрахунок при досягненні граничного навантаження, коли рама перетворюється у механізм, а продовжує розрахунок до досягнення заданого навантаження, потрібно зберегти проміжні результати, аналіз яких дозволить визначити граничне навантаження. Для цього у меню **«Виведення проміжних результатів»** встановлюємо **«Виводити все»**. Встановлюємо позначку **«_Считать пошагово, даже если отсутствуют шаговые элементы»** і натискаємо кнопку **«Підтвердити»**.

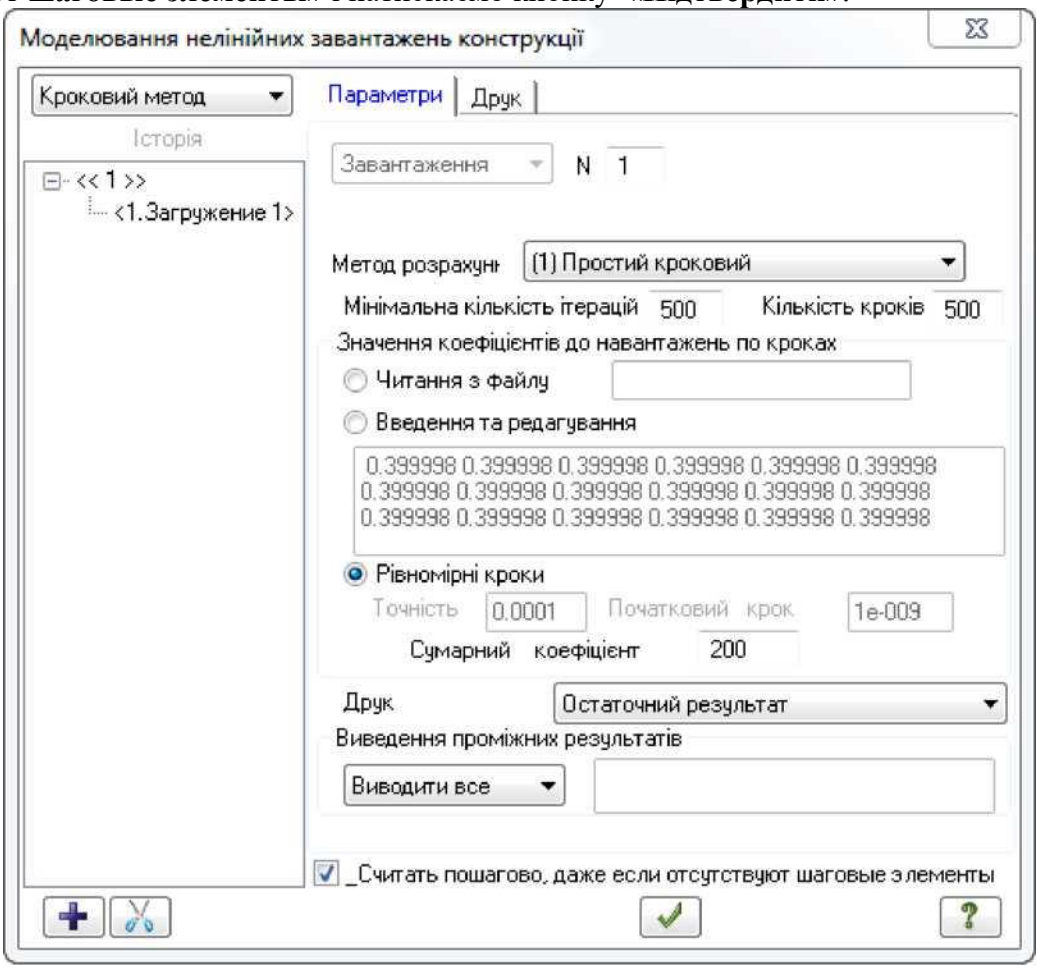


Рис. 3.12 Вікно моделювання нелінійних навантажень

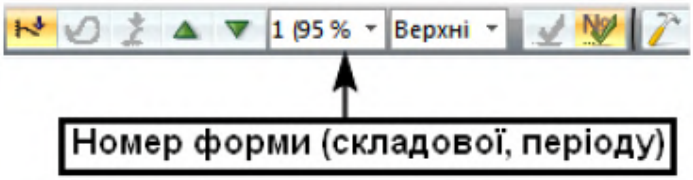
На панелі **«Розрахунок»**, або на панелі швидкого доступу, натискаємо кнопку – **«Виконати повний розрахунок»**, і чекаємо завершення розрахунку. При невдалому завданні «сумарного коефіцієнту» (рис. 3.12) розрахунок може виконуватись досить тривалий час оскільки після досягнення граничного навантаження програма буде намагатись виконувати розрахунок геометрично змінної системи. Для економії часу можна зупинити розрахунок і у протоколі знайти останнє навантаження, при якому ітераційний процес закінчився успішно. Це навантаження із збільшенням на величину кроку навантаження потрібно ввести в якості «сумарного коефіцієнту»

(рис. 3.12) і виконати розрахунок. Після завершення розрахунку переходимо на закладку **«Аналіз»** і виводимо на екран епюру згинальних моментів (кнопка  на панелі **«Зусилля у стержнях»**).

Далі на нижній панелі відкриваємо меню (рис. 3.13), де вибираємо навантаження, яке вказане у відсотках від «сумарного коефіцієнту».

Рис. 3.13 Вибір проміжних результатів розрахунку

Відповідно до вибраного навантаження на екрані буде змінюватись епюра згинальних



моментів. Визначивши із протоколу розв'язку задачі найбільше навантаження, при якому ітераційний процес закінчився успішно, вибираємо відповідний відсоток навантаження у меню **«Номер форми (складової, періоду)»**. Для уточнення результату вибираємо сусідні (більші) значення відсотку навантаження і слідкуємо за тим, щоб згинальні моменти у рамі не перевищували граничних моментів. Найбільше навантаження, при якому згинальні моменти не перевищують граничних, приймаємо в якості граничного. Оскільки на екрані відображається навантаження, яке було введене в якості «сумарного коефіцієнту», величину граничного навантаження одержимо як відсоток від «сумарного коефіцієнту». Для даного прикладу граничне навантаження F_0=200*0,4=80*кН* співпадає із результатом аналітичного розрахунку. Пластичні шарніри утворюються у перерізах 1-2, де M = 240 *кНм*, і у перерізах 8-10, де M = 239*кНм* (рис. 3.14).

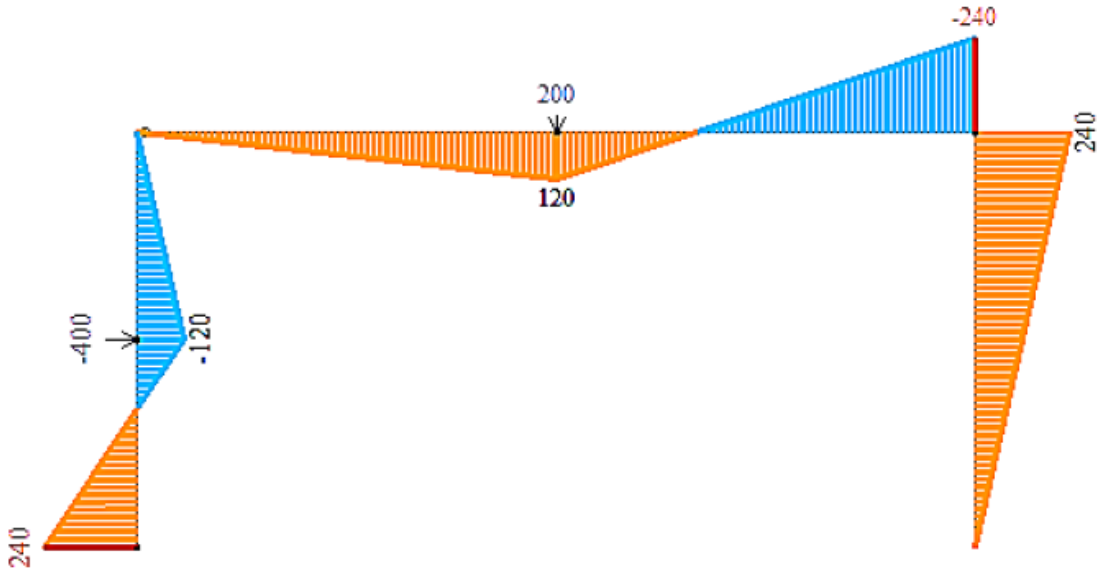


Рис. 3.14 Епюра згинальних моментів у граничному стані (кНм)

Схема пластичного руйнування рами показані на рис. 3.15.

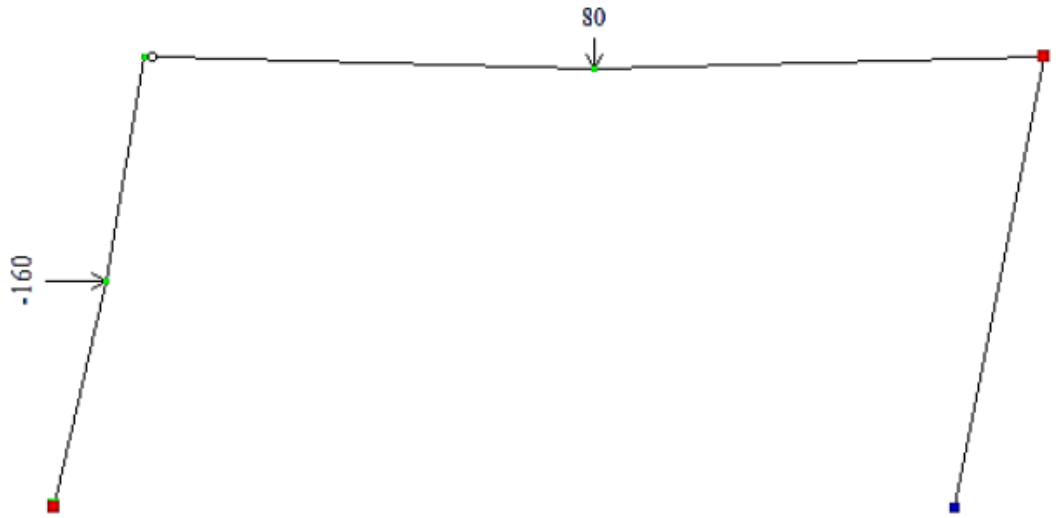


Рис. 3.15 Схема пластичного руйнування рами

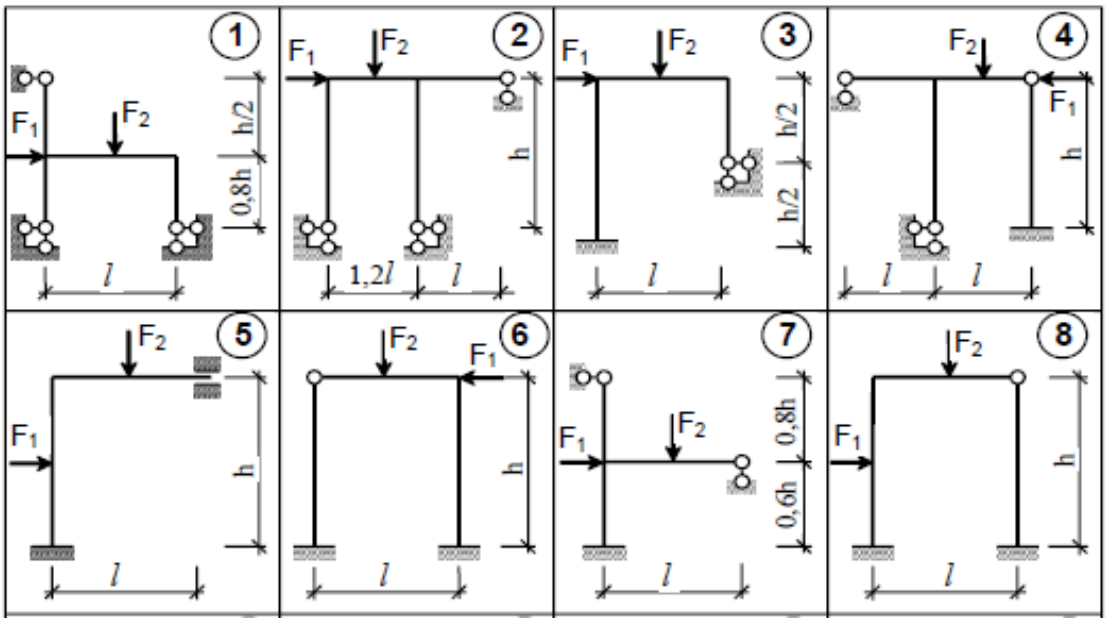
ЛІТЕРАТУРА

1. Чихладзе Е.Д. Будівельна механіка: Підручник. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – 320 с., рис. 234, табл. 14
2. Нелінійна будівельна механіка з ПК ЛІРА-САПР. М.С. Барабаш, М.М. Сорока, М.Г. Сур'янінов. – Київ, 2018. -246 с.
3. Программный комплекс ЛИРА-САПР. Руководство пользователя. Обучающие примеры. Водопьянов Р.Ю., Титок В.П., Артамонова А.Е., Ромашкина М.А. Под ред. академика РААСН Городецкого А.С. Электронное издание. — 2017. — 535с.

ДОДАТОК

Схеми та вихідні дані до розрахунково-проєктувальної роботи

Розрахункові схеми



Вихідні дані

Таблиця 1

№ з/п	Розміри					Коефіцієнти армування (ар-ра класу А400С)	
	l (м)	***h*** (м)	***bp=bc*** (м)	h_p (м)	h_c (м)	ρ_p	ρ_c
1	4	4	0,20	0,40	0,30	0,012	0,013
2	6	5	0,30	0,40	0,30	0,015	0,015
3	8	6	0,30	0,40	0,35	0,013	0,012
4	9	8	0,30	0,40	0,35	0,014	0,014
5	10	5	0,40	0,45	0,40	0,016	0,013
6	12	8	0,35	0,45	0,40	0,015	0,014
7	6	6	0,35	0,40	0,30	0,014	0,017
8	12	10	0,40	0,40	0,35	0,013	0,016

Таблиця 2

Клас бетону	F_1/F_2
С16/20	2,0
С20/25	0,4
С20/30	3,0
С30/35	0,8
С32/40	2,0
С16/20	0,5
С20/25	2,5
С25/30	0,25

Характеристики бетону

Для арматури класу А400С f_{yd}=365000 кН/м^2.

Клас бетону	$E_{см}$ (кН/м^2)	f_{cd}
С16/20	$2.7\cdot10^7$	11500
С20/25	$3.0\cdot10^7$	14500
С20/30	$3.2\cdot10^7$	17000
С30/35	$3.45\cdot10^7$	19500
С32/40	$3.6\cdot10^7$	22000

7. РОЗРАХУНКИ ТА ПРОЄКТУВАННЯ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ У TEKLA STRUCTURES

І. І. Давидов
В. П. Чабан

1. Вступ

Основною метою застосування Tekla Structures у навчальному процесі є формування у майбутніх майбутніх фахівців з будівництва та проєктування сучасних професійних компетентностей у галузі проєктування, моделювання та розрахунку металевих конструкцій з використанням технологій BIM (Building Information Modeling). Мета полягає не лише у вивченні програмного продукту, а й у комплексній підготовці фахівців нового покоління, здатних працювати з цифровими моделями, проводити розрахунки з урахуванням національних норм та Єврокодів, впроваджувати BIM-технології у практику проєктування та експлуатації будівель.

З цією метою передбачено виконання таких завдань.

Навчити студентів працювати в інтегрованій среді, де поєднуються 3D-моделювання, автоматизований розрахунок та випуск робочої документації. Показати переваги BIM-підходу порівняно з традиційним проєктуванням (зменшення помилок, автоматизація рутинних процесів, підвищення точності).

Ознайомити студентів із національними нормами (ДБН, ДСТУ) та європейськими стандартами (EN, Eurocode).

Навчити адаптувати програмне забезпечення до вимог чинних норм.

Забезпечити можливість перевірки інженерних розрахунків за допомогою реальних розрахункових комплексів (SCAD Office, LIRA-SAPR).

Навчити студентів співставляти результати автоматичного розрахунку з ручними методами та критично оцінювати адекватність розрахункової схеми.

Сприяти розумінню проблеми переходу від BIM-моделі до розрахункової схеми (формалізація правил, урахування жорсткості з'єднань, особливості інтерпретації вузлів).

Створити базу для наукових досліджень у сфері цифрових моделей конструкцій, автоматизації проєктування та інтеграції норм у програмні комплекси.

Сформувати у студентів навички, необхідні для роботи в сучасних проєктних організаціях, де використовується BIM. Підготувати їх до участі у виконанні курсових та дипломних проєктів з використанням Tekla Structures як основного інструменту.

Після вивчення курсу «Розрахунки та проєктування металевих конструкцій у Tekla Structures» студенти повинні набути конкретних знань, вмінь і компетенцій, що дозволять їм якісно виконувати проєктні та дослідницькі завдання у сучасному BIM-середовищі. Нижче - детальний перелік очікуваних результатів, сформульований у вигляді вимірюваних навчальних результатів та прикладів доказів їх досягнення.

Студент отримає теоретичні знання та знатиме:

- принципи роботи BIM-платформи і роль Tekla Structures у комплексному проєктуванні;
- розумітиме основи моделювання стержневих і пластинчатих систем, концепцію перетворення BIM - розрахункова схема;
- володітиме поняттями жорсткості та поведінки вузлів, їх впливом на розрахунок конструкцій;
- орієнтуватиметься у національних нормах та у європейських стандартах.

Докази знань: теоретичний тест, усна відповідь, конспект лекцій.

Студент отримає професійно-технічні навички та зможе:

- створювати коректну 3D-модель металевої конструкції в Tekla Structures (колони, ферми, вузли, умови опирання);
- налаштувати та використовувати локалізовані бази профілів і матеріалів (ДСТУ/EN);

- формувати розрахункові схеми з урахуванням реальної геометрії вузлів та експортувати їх у розрахункові комплекси (SCAD Office, LIRA-SAPR) або внутрішні модулі;
- моделювати жорсткість і поведінку з'єднань (болтові, зварні) та враховувати їх у розрахунках;
- генерувати робочі креслення, специфікації та перелік матеріалів зі збереженням маркування.

Докази навичок: практичні роботи (модель + креслення), експорт/імпорт файлів, специфікації.

Студент сформує аналітичні та дослідницькі компетенції, що дозволять йому:

- порівнювати результати розрахунків при різних підходах до побудови схеми (жорсткі, шарнірні та напівжорсткі вузли, спрощена та детальна модель) і робити висновки про вплив допущень;
- виконувати перевірку адекватності розрахункової схеми шляхом порівняння: Tekla - ручний розрахунок - зовнішній розрахунковий комплекс;
- проводити аналіз чутливості (вплив жорсткості вузлів, параметрів матеріалу, комбінацій навантажень) на критичні показники конструкції;
- розробляти та перевірити прості алгоритми або правила автоматичного переходу від BIM-моделі до розрахункової схеми.

Докази компетенцій: порівняльний звіт, дослідницька робота, аналіз чутливості - оцінити, наскільки сильно змінюється результат розрахунку при зміні певних вхідних параметрів (матеріалів, навантажень, жорсткості вузлів тощо).

Студент сформує проєктні та організаційні вміння, що дозволять йому:

- організовувати робочий процес у рамках BIM-проєкту: шаблони, параметри проєкту;
- готувати пакет робочої документації (вузлові креслення, загальна схема, специфікації) відповідно до вимог замовника та норм;
- вести технічну документацію по моделях (коментарі, позначення, журнал змін);
- координуватися у команді: інтегрувати частини моделі, виконувати базову перевірку просторових накладанньб або конфліктів між елементами моделі.

Докази вмінь: груповий проєкт, журнал змін, перевірка конфліктів між елементами моделі.

Студент сформує цифрові (BIM) компетенції, що дозволять йому:

- застосовувати Tekla як інструмент цифрового подання конструкції для подальшого моніторингу та експлуатації;
- виконувати експорт/імпорт даних, налаштовувати відповідність атрибутів і картування профілів;
- автоматизувати часті операції за допомогою шаблонів, параметричних елементів та, за потреби, базових скриптів/плагінів.

Докази: інтеграція в модель конструкції перетворюється у «універсальний опис» елементів (балок, колон, з'єднань, матеріалів тощо), який може бути прочитаний іншими програмами - ArchiCAD, Revit, LIRA-SAPR, LIRA-SAPR та ін., використання шаблонів, приклади автоматизації.

Студент сформує нормативні компетенції, що дозволять йому:

- знати, які норми й стандарти застосовуються при проєктуванні та розрахунках;
- правильно користуватися ними під час розрахунків і проєктування;
- уміти пояснити, чому саме обрано певний нормативний підхід і звідки він взятий.

Докази: захист курсового/дипломного проєкту з аргументованим вибором та застосуванням нормативних схем розрахунку під час проєктування, із перевіркою відповідності вимогам ДБН/ДСТУ.

Рівні освоєння (рекомендована градація):

- базовий рівень: створення простих моделей, генерування креслень, базове розуміння норм;

- професійний рівень: коректна побудова розрахункових схем, інтеграція з розрахунковими комплексами, моделювання вузлів;
- дослідницький/експертний рівень: формалізація правил BIM-розрахунок, проведення валідації моделей, оптимізація конструкцій.

2. Опис проблемної ситуації

Традиційна підготовка фахівців-будівельників здебільшого зосереджена на окремих етапах проєктування (розрахунок, моделювання, креслення), що ускладнює формування комплексних професійних компетентностей. Водночас сучасна практика будівництва вимагає від фахівців уміння працювати у середовищі BIM, інтегруючи 3D-моделювання, розрахунки та випуск робочої документації.

Використання Tekla Structures у навчальному процесі відкриває можливість формування у студентів системного бачення проєктного процесу: від створення цифрової моделі конструкції до її перевірки на відповідність ДБН/ДСТУ та Єврокодам. Це забезпечує наближення освітнього процесу до реальної інженерної практики та підвищує конкурентоспроможність випускників.

Завдання інтегрування BIM-орієнтованого навчання у підготовку:

- навчити студентів працювати з цифровими моделями конструкцій у Tekla Structures;
- поєднувати 3D-моделювання, автоматизовані розрахунки та підготовку креслень;
- адаптувати розрахункові схеми до національних норм (ДБН, ДСТУ) та Єврокодів;
- формувати навички перевірки розрахунків у SCAD Office, LIRA-SAPR та інших комплексах;
- навчити студентів критично оцінювати результати автоматичного розрахунку та впроваджувати BIM-технології у практику проєктування.

3. **Теоретичне підґрунтя**

Пояснення ключових понять теми предмету, на які спирається кейс:

- BIM (Building Information Modeling) - технологія інформаційного моделювання будівель, яка поєднує в собі 3D-моделювання, розрахунок і документацію в єдиній цифровій моделі;
- Tekla Structures - сучасна BIM-платформа для проєктування та розрахунку металевих конструкцій, створення креслень та специфікацій;
- розрахункова схема - спрощене відображення конструкції (стержні, плити, вузли), яке використовується для інженерних розрахунків;
- жорсткість і поведінка вузлів - ключові параметри, що визначають реальну роботу конструкції (шарнірні, жорсткі, напівжорсткі з’єднання);
- ДБН/ДСТУ, Єврокоди (EN) - нормативна база, за якою виконується проєктування та перевірка конструкцій;
- інтеграція з розрахунковими комплексами (SCAD Office, LIRA-SAPR) - перенесення моделі з Tekla до спеціалізованих програм для перевірки розрахунків;
- цифрова компетентність у BIM - здатність працювати з 3D-моделлю конструкцій, документувати зміни, виконувати експорт/імпорт даних і автоматизувати процеси.

Курс забезпечує зв’язок між навчальною програмою та реальними потребами сучасної будівельної індустрії. Пререквізити дисципліни - «Фізика», «Теоретична механіка», «Вища математика», «Опір матеріалів», «Будівельна механіка», «Будівельне матеріалознавство», «Металеві конструкції», «Залізобетонні і кам'яні конструкції'», «Дерев’яні конструкції'» «Основи теорії пружності та пластичності», «Метали та зварювання», «Основи і фундаменти».

Постреквізити дисципліни - «Комп’ютерне моделювання металевих конструкцій, будівель і споруд», «Технічна діагностика та підсилення металевих конструкцій будівель і споруд», «Технологія зведення будівель і споруд», «Проєктування металевих конструкцій будівель і споруд підвищеного рівня відповідальності».

4. **Аналіз ситуації**

У процесі традиційного навчання студенти часто виконують розрахунки, креслення та моделювання (у т.ч. 3D-модель конструкції на екрані ПК). Але моделювання, розрахункові схеми та розрахунки, креслення віднесені до окремих етапів, що ускладнює формування комплексних навичок (див. рис. 1). Студенти змушені окремо вчитися розрахунку, кресленню й моделюванню, і тільки потім «склеювати» це у практиці.

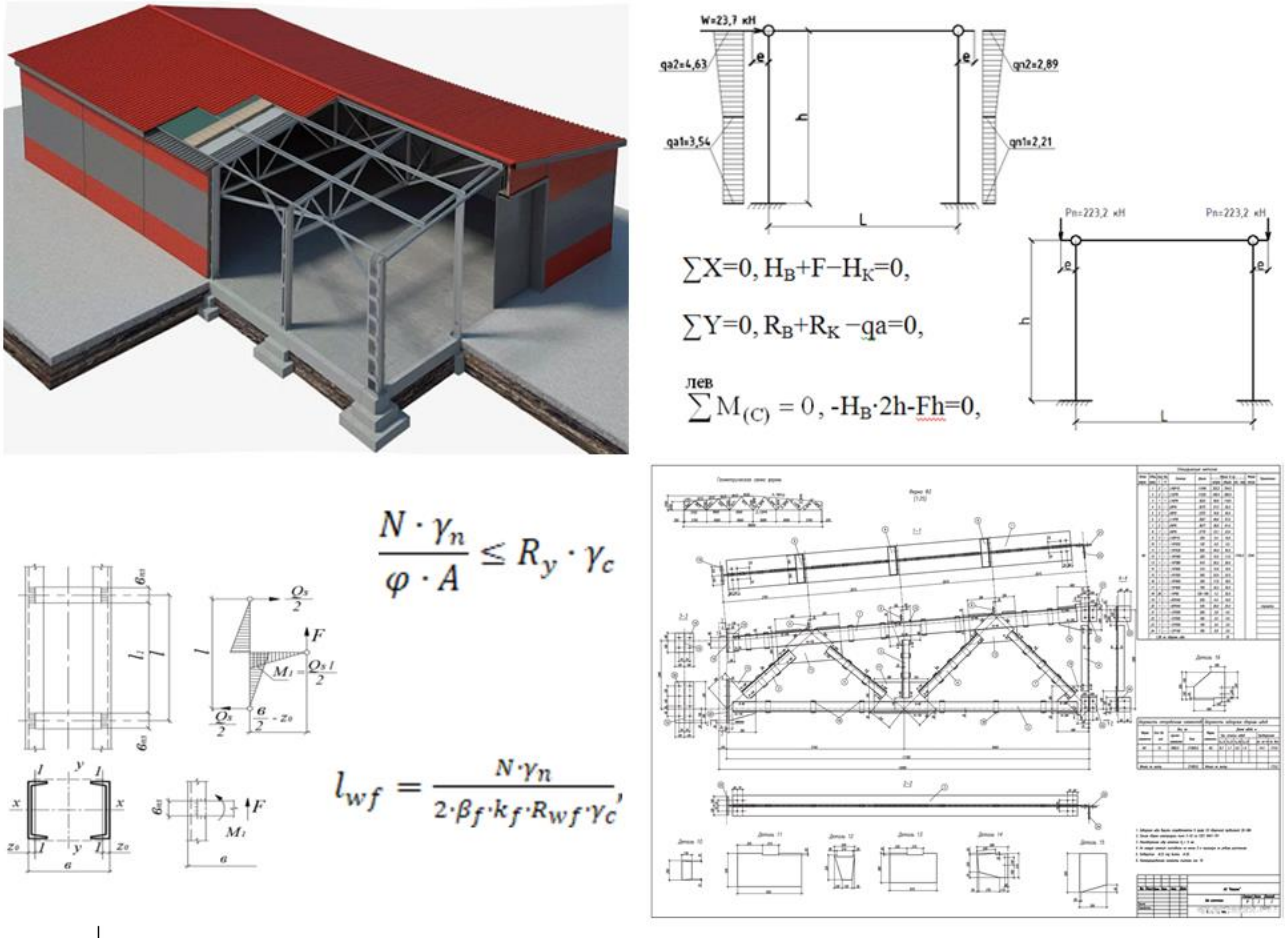


Рис. 7.1. «Традиційний» підхід: етапи розрахунку та проєктування розділені

У реальних проєктних організаціях вимагається робота в середовищі BIM, де ці етапи об’єднані. Виникає питання: як забезпечити інтеграцію розрахунку та моделювання у навчальному процесі?

4.1. Основні конфігурації Tekla Structures

Почнемо з огляду основних конфігурацій Tekla Structures (Trimble) - це різні пакети можливостей, які вибирає організація в залежності від завдань [1-5]. Tekla Structures завжди працює з єдиною моделлю (BIM), але кожна конфігурація відкриває лише певний набір інструментів (див. рис. 7.2). Tekla Structures Drafter (див. рис. 4.2,а) використовується як допоміжна: обмежений доступ до моделювання; основний акцент на оформлення креслень та документів. Tekla Structures Steel Detailing (див. рис. 4.2,б) для конструкторів металевих конструкцій: створення моделей КМ, КМД; повна бібліотека сталевих профілів, вузлів та з'єднань; автоматична генерація креслень (КМ, КМД) та специфікацій. Tekla Structures Concrete Detailing (див. рис. 4.2,в) для монолітних та збірних залізобетонних конструкцій: створення моделей КЗ, КЗВ; армування елементів (ручне та автоматичне); створення креслень залізобетонних конструкцій та специфікацій арматури. Tekla Structures Engineering (див. рис. 4.2,г) для Проєктувальників: створення розрахункових схем; експорт до розрахункових комплексів (SCAD, ЛІРА, Robot, SAP2000); перевірка несучої здатності елементів прямо в Tekla. Tekla Structures Full

(All configurations) містить всі можливості (сталь, залізобетон, розрахункові моделі, управління проєктом, рис. 4.2,д).

а

б

в

г

д

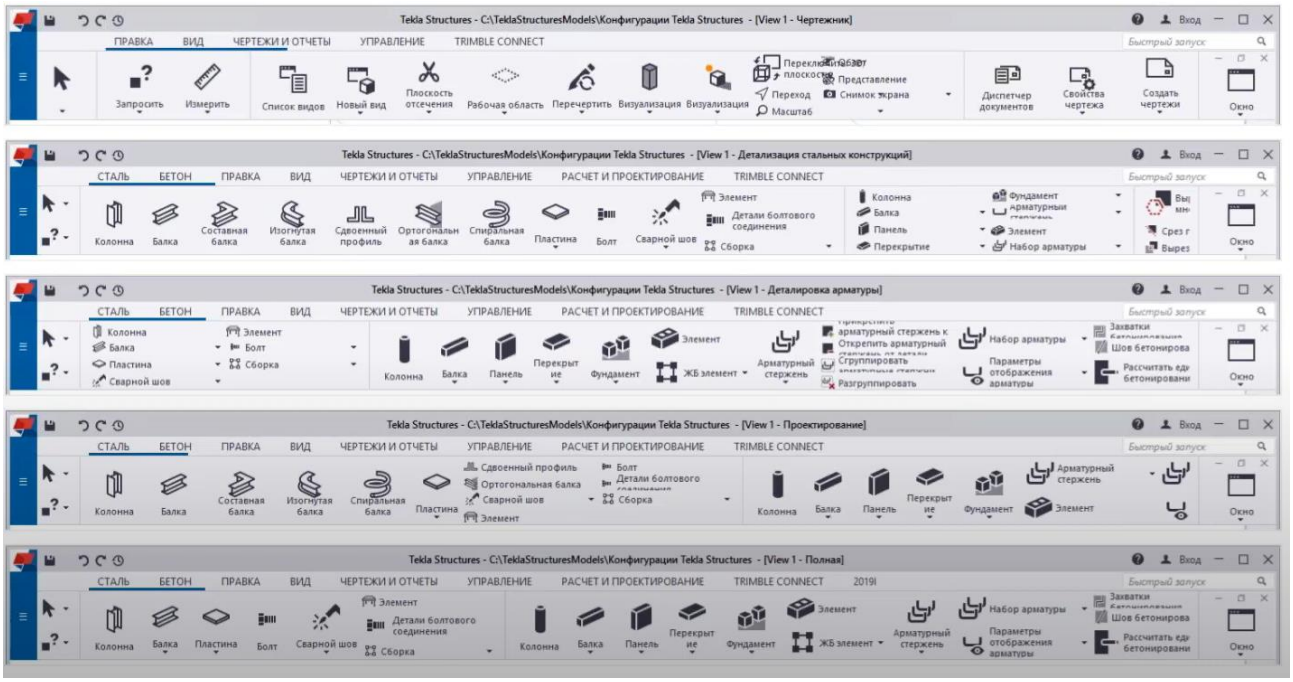


Рис. 7.2. Основні панелі інструментів для конфігурацій Tekla Structures (Trimble) [1]

Також застосовуються Tekla Structures Precast Concrete Detailing - спеціалізоване для збірного залізобетону, Tekla Structures Rebar Detailing - вузькоспеціалізована версія для арматурних креслень, Tekla Structures Project Management - для менеджерів Проєктів, Tekla Structures Contractor - для підрядників (будівельних організацій), Tekla Structures Viewer (Free) - тільки перегляд моделей формату.tekla [1-3].

4.2. Розрахунки при проєктуванні металевих конструкцій у Tekla Structures

Після аналізу технічного завдання у Tekla Structures формується концептуальна модель, яка є основою для деталізації та подальшого випуску креслень КМ [2]. Виконується прийняття вихідних рішень, що включає:

- вибір матеріалів - сталі необхідних марок за нормами (ДСТУ, EN);
- прийняття технічних рішень - типи вузлів з'єднання (болтові, зварні, комбіновані), способи монтажу та сполучення;
- визначення профілів - двотаври, швелери, кутники, труби, листи та їх стандартні серії;
- задання геометрії - розміри елементів, відстані між колонами та балками, висота поверхів;
- розташування прорізів - отвори, технологічні ніші, прорізи для інженерних систем;
- інші параметри моделі - монтажні зазори, початкові прив'язки, система координат, осі.

Другий етап проєктування розділу КМ у Tekla Structures - прорисовка каркасу (створюються основні елементи - колони, балки, ригелі, ферми, зв'язки, див. рис. 4.3) відповідно до осьової схеми [5]. Призначення попередніх перерізів для кожного елемента, які можуть бути уточнені пізніше. Формування попередніх вузлів закладка типів з'єднань (наприклад, болтові фланцеві з'єднання, накладки, зварні стики). Організація моделі за рівнями та осями побудова в системі координат, із врахуванням прив'язки до сітки.

Далі виконуємо формування розрахункової моделі в Tekla Structures [3]:

- переходимо у вкладку «Розрахунок» - моделі розрахунку та Проєктування (див. рис. 4.4);
- натискаємо «Створити», вибираємо застосунок SCAD_Tekla - експорт розрахункової моделі у SCAD Office (див. рис. 4.5).

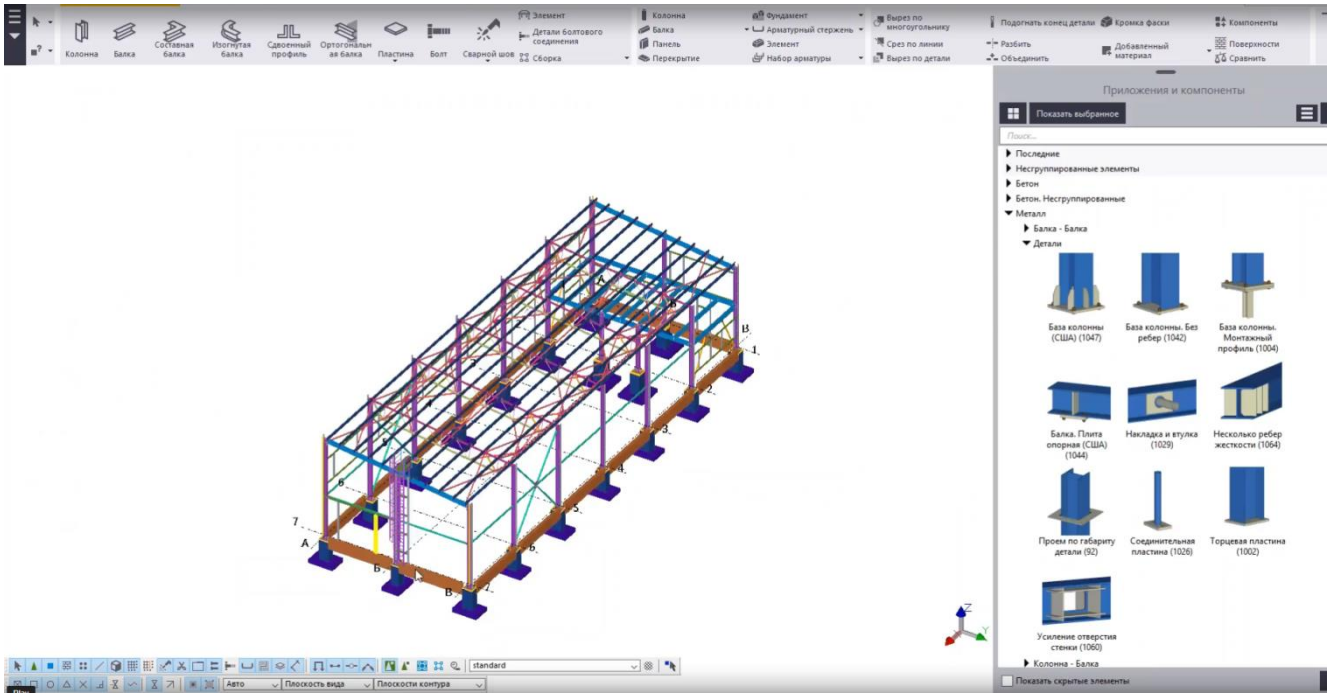


Рис. 7.3. Аналітична модель у Tekla Structures

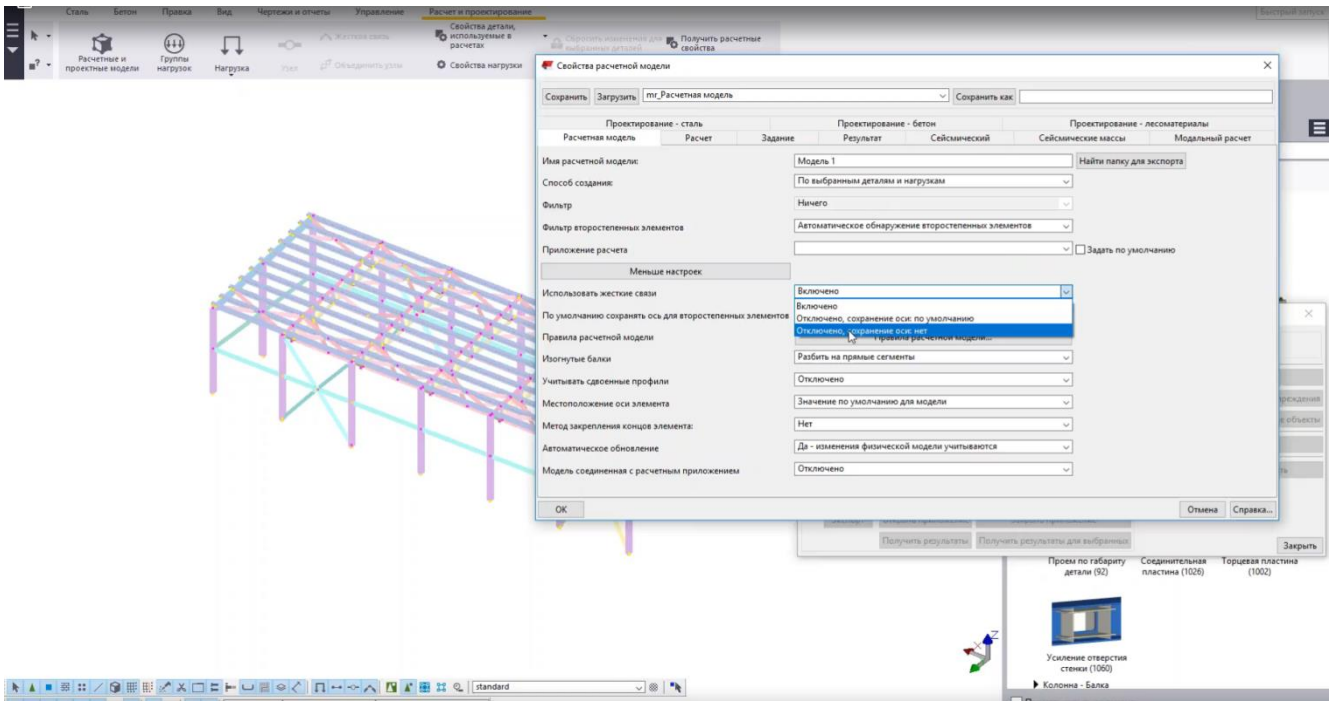


Рис. 7.4. Перехід у вкладку «Розрахунок» - моделі розрахунку та Проєктування

Далі виконуємо налаштування експорту в SCAD Office. Натискаємо «Експорт», відкривається вікно експорту. Налаштовуємо типи елементів, вузли, опори, навантаження, перерізи з Tekla.

Під час роботи з розрахунковими додатками (у тому числі SCAD Office) можна організувати експорт по-різному - або експорт всієї моделі цілком, або фрагментами при розрахунку локальних вузлів, окремих балок, вильотів, фрагментів покриття або окремих рам.

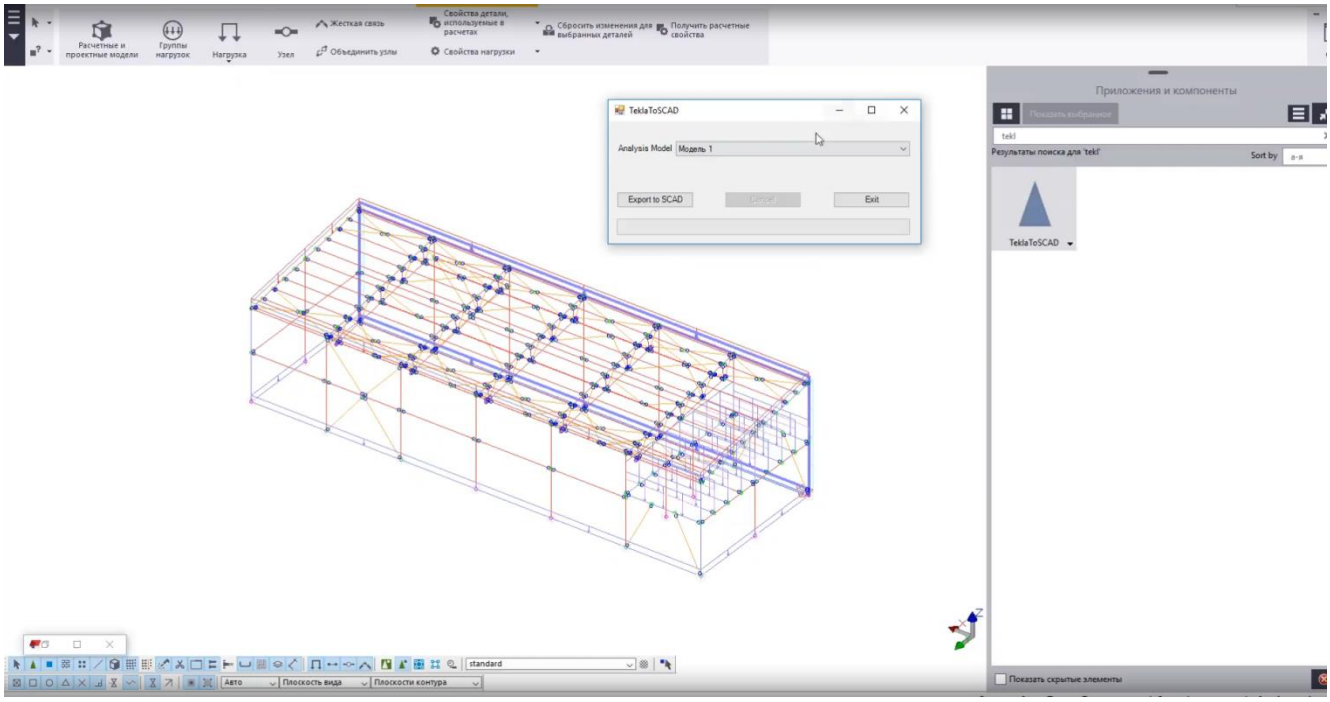


Рис. 7.5. Формування розрахункової схеми, налаштування експорту розрахункової моделі та експорт у SCAD Office

Відкриваємо розрахункову моделль в SCAD Office (див. рис. 4.6) [21] та коригуємо (за необхідностю): умови закріплення, умови жорсткості та інш. Експортуємо з Tekla Structures або створюємо завантаження, їх комбінації та сполучення.

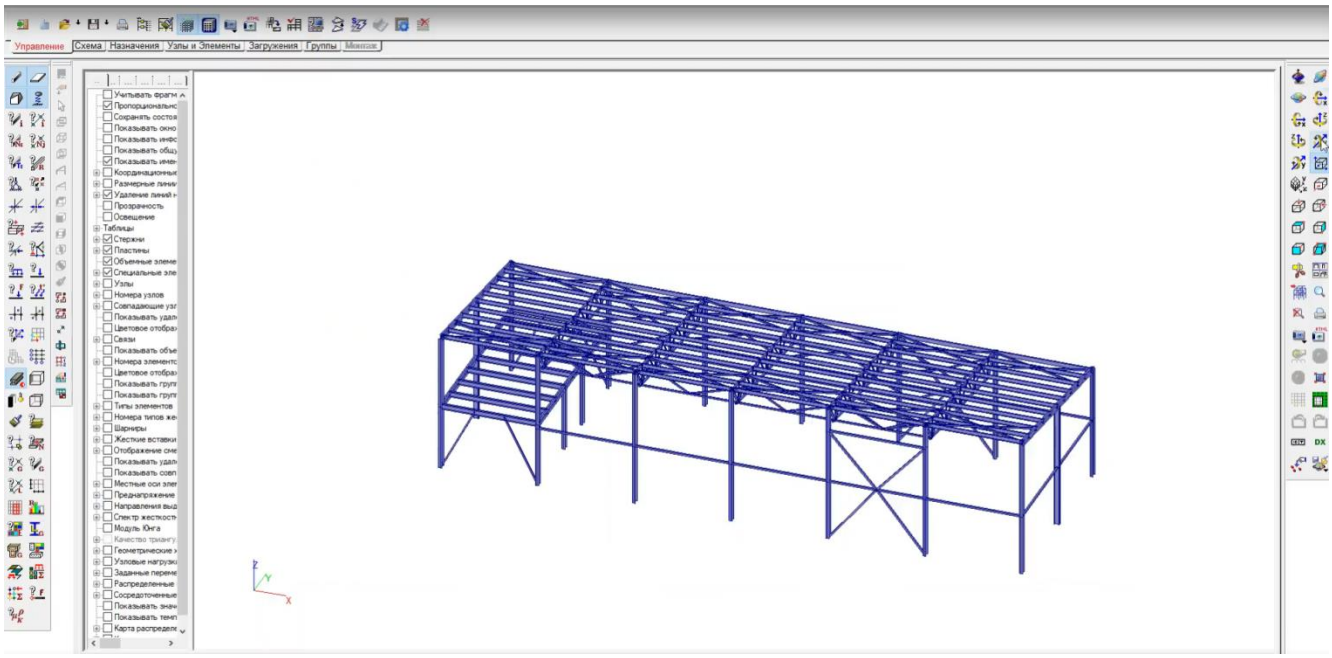


Рис. 7.6. Розрахункова модель у SCAD Office

Так, саме в Tekla Structures для експорту аналітичної або розрахункової моделі в ЛІРА-САПР [20] (як і в SCAD) використовуються спеціальні плагіни/конвертери, які забезпечують правильну передачу даних (див. рис. 7.7).

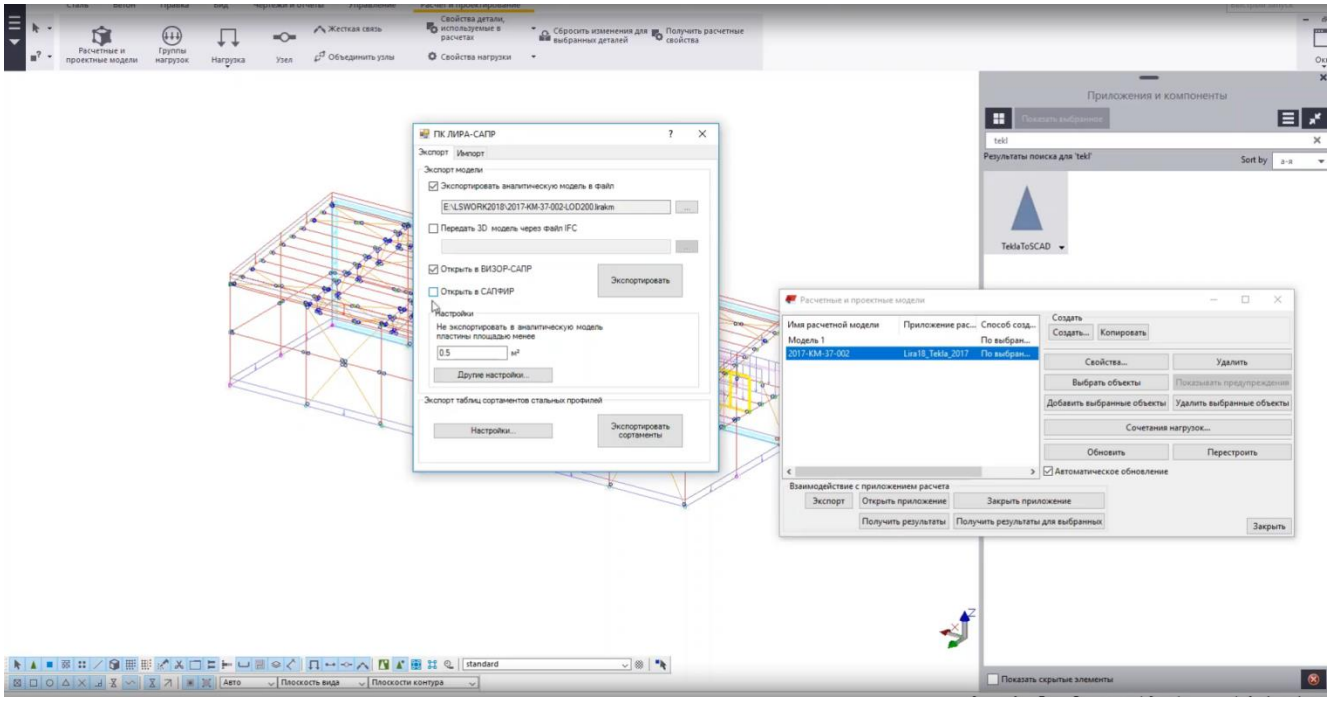


Рис. 7.7. Формування розрахункової схеми, налаштування експорту розрахункової моделі та експорт у ЛИРА-САПР (ВИЗОР-САПР для металевих конструкцій)

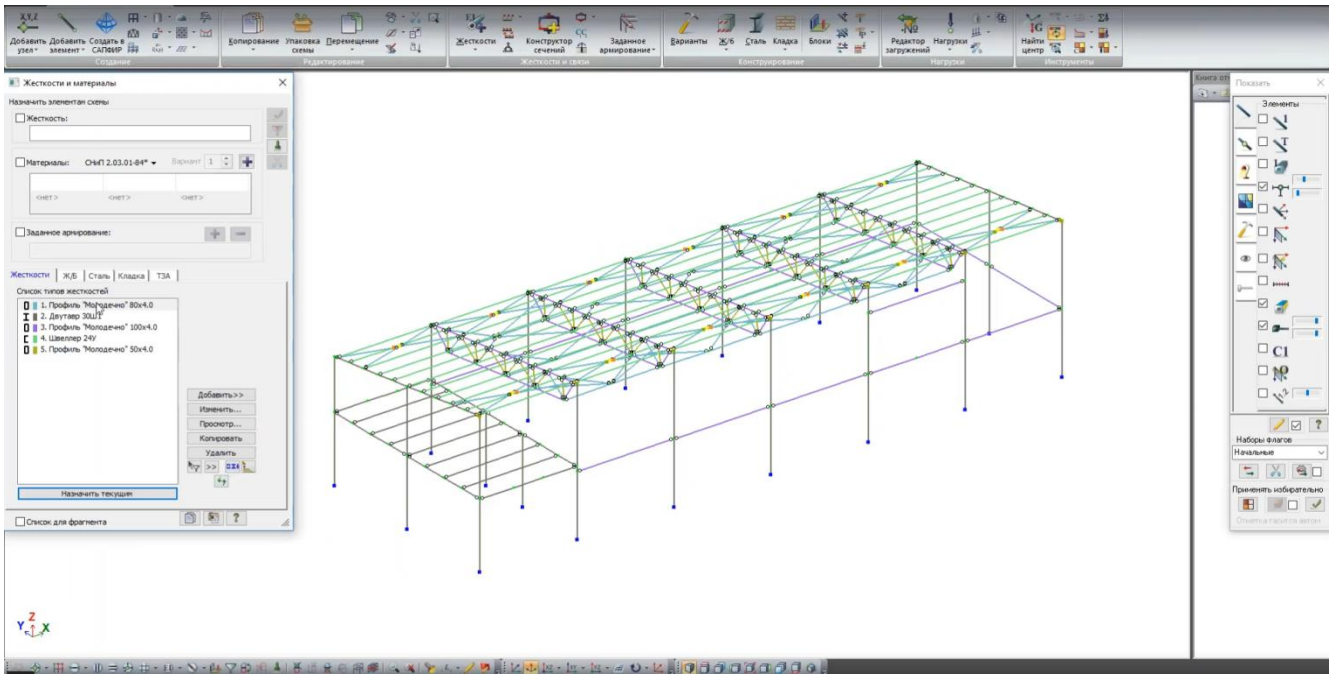


Рис. 7.8. Розрахункова модель у ЛИРА-САПР

У Tekla відкриваємо вкладку Analysis - Analysis & Design Models. Створюємо нову модель для експорту - вибираємо LIRA як додаток Налаштовуємо опції експорту.

В Tekla існує вбудована аналітична сітка, яка є основою для статичного розрахунку. На вкладці Analysis - Load application - додаємо типи навантажень: постійні; тимчасові, особливі [2]. Формуємо групи навантажень і комбінуємо їх у розрахункові комбінації. Tekla автоматично генерує аналітичні комбінації, які потім передаються в розрахунок. Вибираємо вкладку Analysis - Run Analysis / Solve. Tekla використовує власний механізм розрахунку аналітичної моделі (метод скінченних елементів для стержневих і пластинчатих конструкцій). Після завершення розрахунку можна отримати: зусилля в елементах (N, Q, M - поздовжні, поперечні, згинальні); прогини елементів і вузлів; напруження та коефіцієнти використання перерізу. Для коректних розрахунків за національними нормами знадобляться спеціально виконані плагіни.

4.3. Створення з’єднань у Tekla Structures

Tekla Structures має вбудовану бібліотеку стандартних вузлів, яка включає: кутові та Т-подібні з’єднання; балкові та колонові вузли; вузли із фасонними елементами (пластини, лапки, шви) [5].

Переваги використання стандартних вузлів: швидке моделювання конструкцій; зменшення ризику помилок у розташуванні болтів та фасонок;

відповідність міжнародним нормам (EN, ISO).

Після створення з’єднання можна переглянути модель у 3D-вікні Tekla (див. рис. 4.9):

- відобразити балкову клітку із усіма вузлами;
- перевірити правильність розташування фасонок, болтів та швів;
- виконати перевірку колізій і відстаней між елементами.

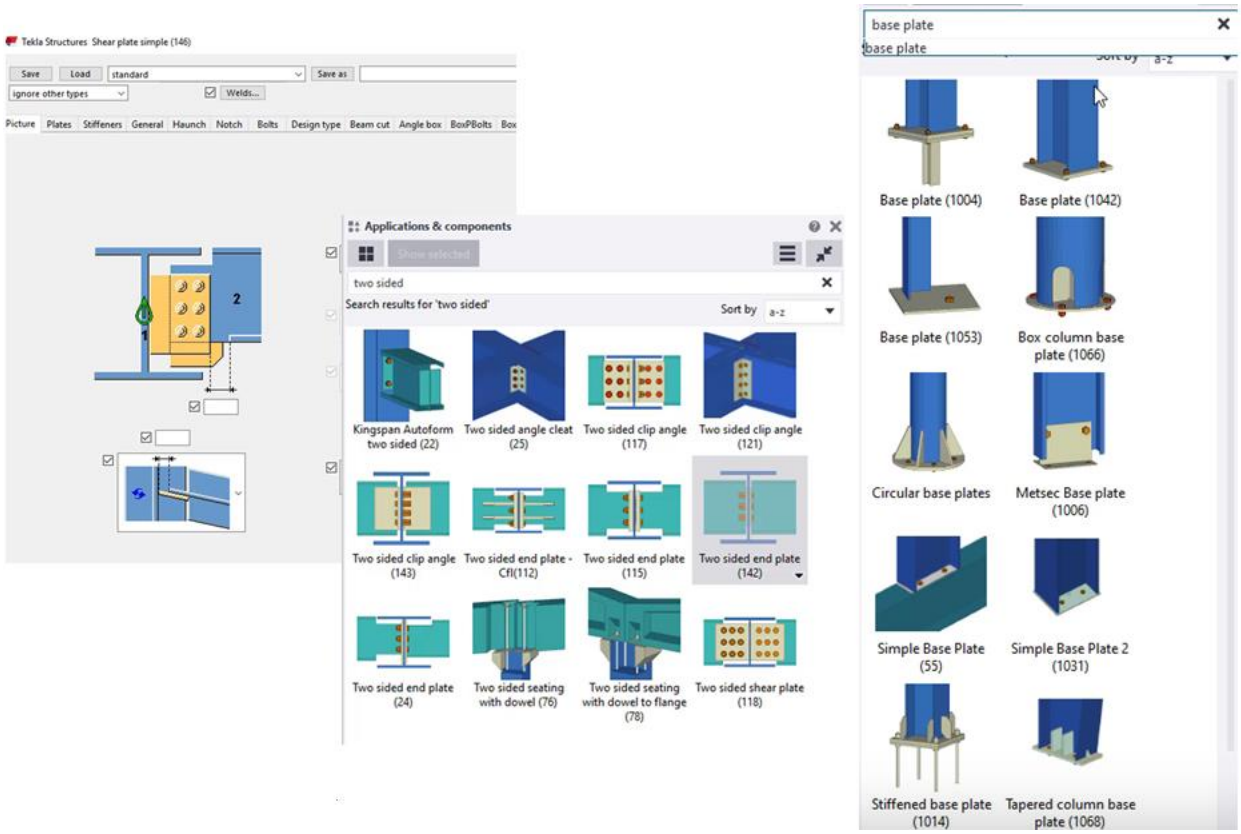


Рис. 7.9. Моделювати з’єднаннь за допомогою системних компонентів у Tekla Structures

Фасонки (пластини, лапки) додаються у вузли для забезпечення міцності і жорсткості з’єднання.

Процес налаштування:

- вибрати вузол у моделі;
- відкрити властивості вузла (Node Properties);
- додати фасонку з бібліотеки або створити власну;
- вказати товщину, матеріал та розміри пластини;
- встановити розташування фасонок відносно балок та колон.

Болти використовуються для з’єднання елементів без зварювання.

Налаштування болтів у вузлах:

- вибрати тип болта (наприклад, з високою міцністю, клас 8.8, 10.9 тощо);
- вказати діаметр та довжину болта;
- вибрати схему розташування (ряди, групи, симетрично);
- встановити відстань між болтами та від країв елементів;
- Tekla автоматично відобразить болти у 3D-моделі та на кресленнях.

Зварні шви використовуються для нероз’ємних з’єднань.

Процес налаштування :

- вибрати тип шва (кутовий, стиковий, тавровий);
- вказати довжину та розташування шва;
- вказати параметри зварювання (наприклад, клас електрода, товщину шва);
- Tekla автоматично відобразить шви на 3D-моделі та кресленнях.

4.4. Створення креслень у Tekla Structures

Tekla Structures дозволяє автоматично створювати робочі креслення металевих конструкцій (КМ) та деталі монтажу (КМД) на основі 3D-моделі. У моделі виділяємо необхідну конструкцію або окремий елемент (колону, балку, ферму). Через меню Create Drawing - Assembly / Part автоматично формується монтажне креслення. Assembly Drawing - креслення вузла або збірки (наприклад, колона з балками). Single Part Drawing - креслення окремої деталі для виготовлення (пластини, болти, балки) [5].

Креслення отримує інформацію про матеріали, розміри, геометрію та розташування елементів з 3D-моделі.

В Tekla можна автоматично або вручну створювати фронтальні, планові, ізометричні та детальні види конструкції. Види можуть бути масштабовані для кращого читання. Додаються основні та допоміжні точки зору (Section View, Elevation).

Виноски (Annotations) автоматично показують:

- номери елементів;
- довжини, ширини, товщини;
- матеріали, болтові з’єднання;
- позиції та маркування елементів згідно зі специфікаціями.
- Tekla формує специфікації (Parts List / BOM) - таблиці матеріалів з деталізацією:
- кількість деталей;
- довжина, тип профілю;
- матеріал та марка сталі;
- вага елемента.

Ці специфікації автоматично підключаються до креслення (див. рис. 4.10).

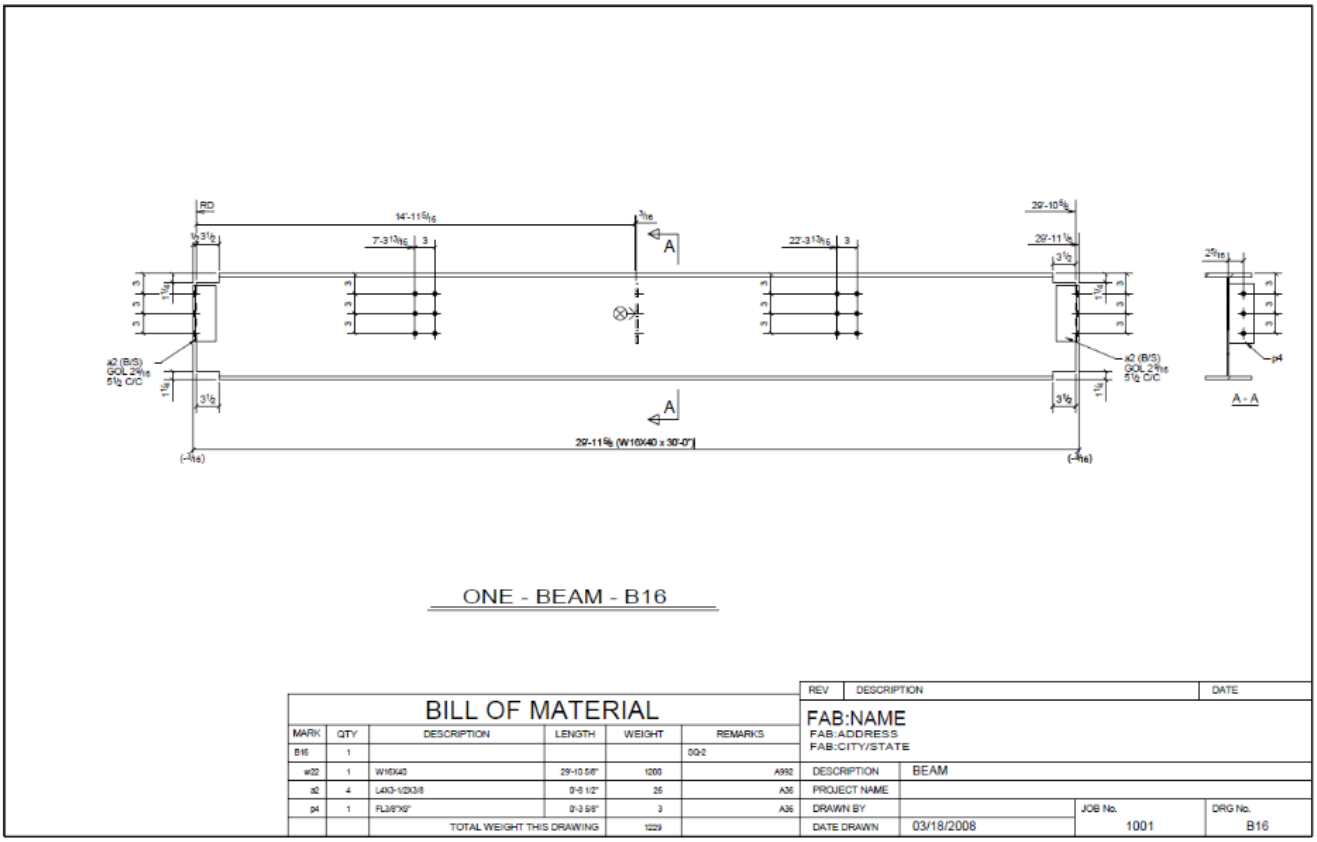


Рис. 7.10. Приклад креслення балки, яке автоматично сформоване Tekla Structures:

Переваги автоматичного формування креслень у Tekla:

- зменшується кількість помилок у кресленнях завдяки синхронізації з 3D-моделлю;
- прискорюється процес проєктування та підготовки документації;
- легко оновлювати креслення при зміні моделі - усі виноски, види та специфікації автоматично оновлюються.

4.5. Середовище «Україна» для Tekla Structures

Для отримання Проєктної документації щодо вимог національних норм необхідно застосувати середовище «Україна» [4]:

- набір каталогів, шаблонів та налаштувань для Tekla Structures;
- працює відповідно до українських стандартів та норм;
- підходить для розділів Проєкту: КМ, КМД, КБ, КБВ.

Для сталевих конструкцій передбачені сталі за стандартами ДСТУ, ГОСТ, (див. рис. 4.11).

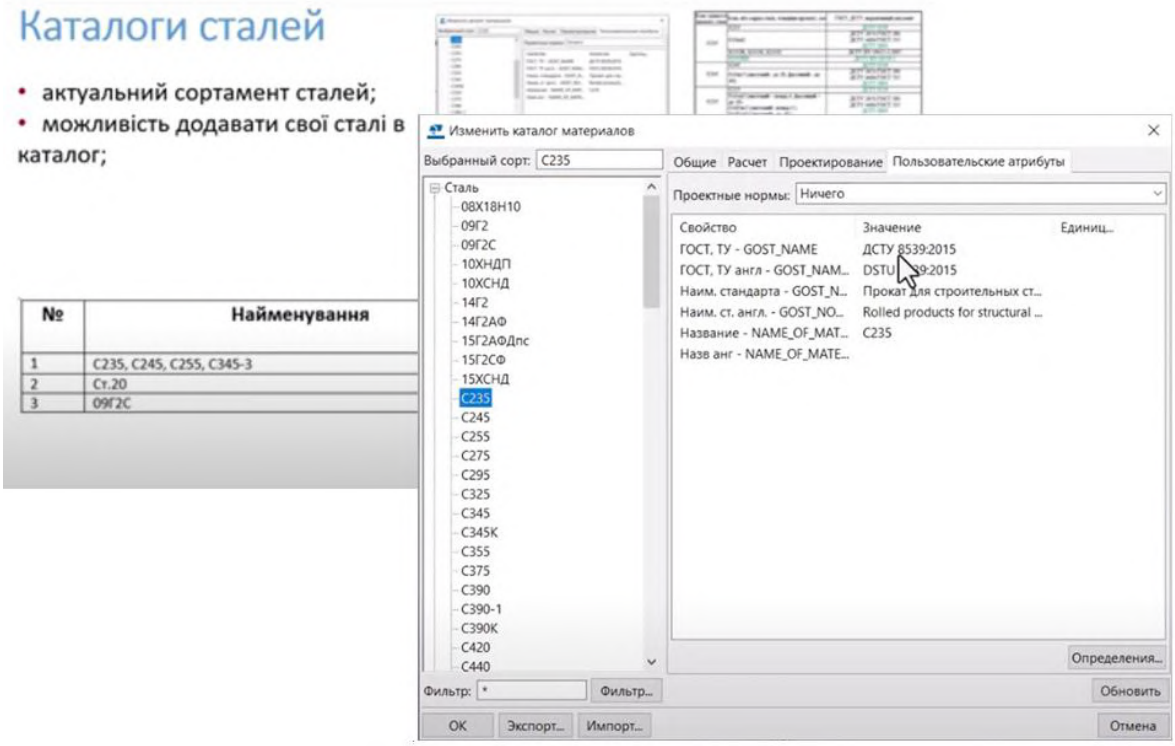


Рис. 7.11. Каталоги та матеріали, середовище «Україна»

Каталоги профілів у середовище «Україна» (див. рис. 7.12):

- двотаври,
- швелери,
- кутики (рівнополичні та нерівнополичні),
- труби (круглі, квадратні, прямокутні),
- рельси для кранів та залізниць та інш..

Також є каталоги на болти, гайки, шайби (див. рис. 4.13).

Передбачено відображення на кресленнях специфікацій, які автоматично формуються - стовпчик «Група конструкцій» для класифікації.

(див. рис. 4.14). Також передбачені каталоги для залізобетонних конструкцій, можливість додавати власні сорти бетону, специфікації арматури та закладних елементів.

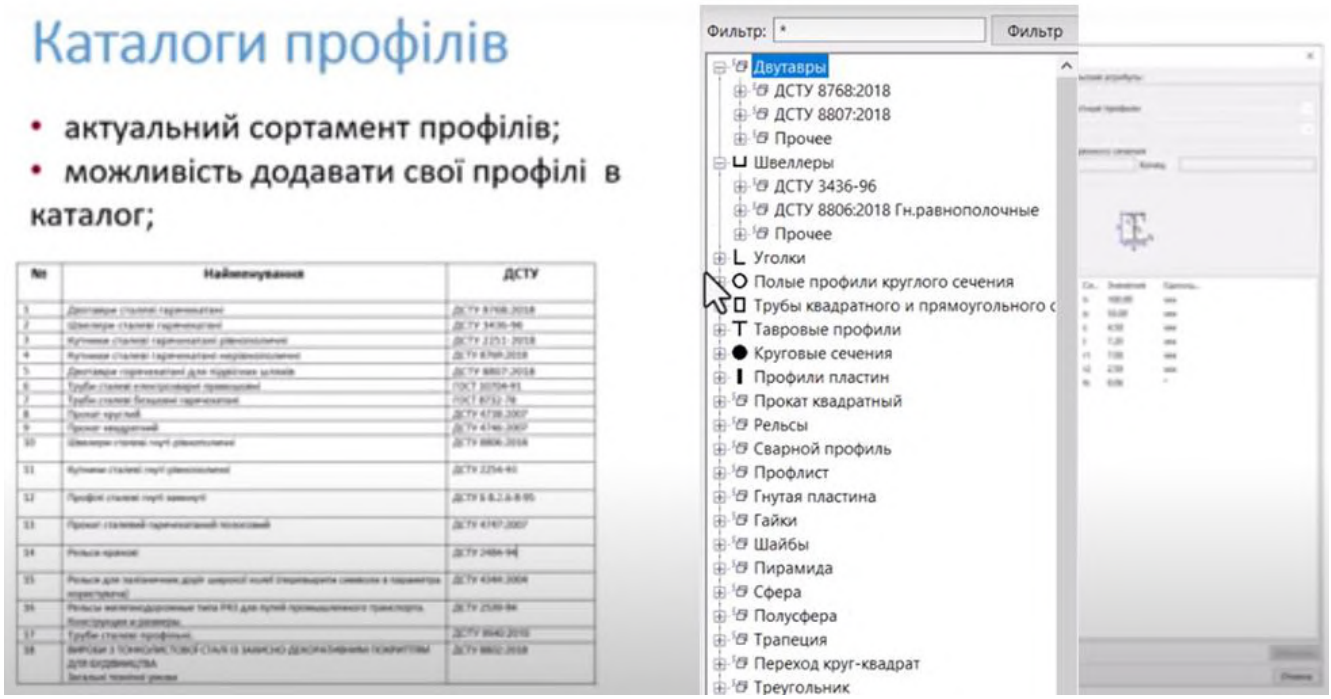
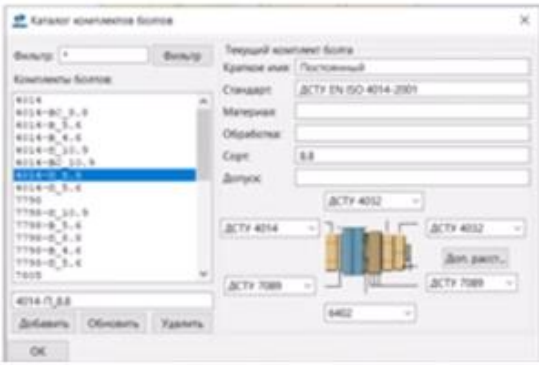


Рис. 7.12. Каталоги профілів, середовище «Україна»

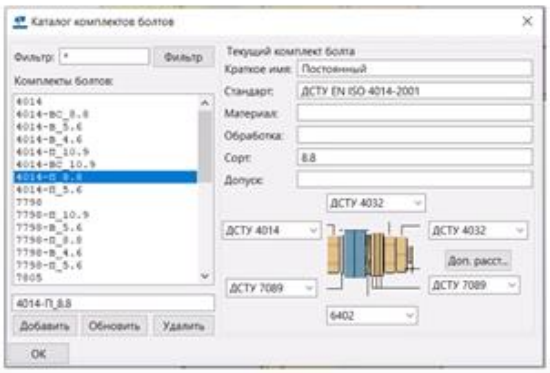
Каталоги болтів

- актуальний сортамент;
- можливість додавати свої болти, гайки, шайби і каталогів болтів;
- кольорове відображення болтів по типу високоміцні заводські, високоміцні монтажні, прості заводські, прості монтажні
- відображення символів болтів на кресленнях



Каталоги болтів

- актуальний сортамент;
- можливість додавати свої болти, гайки, шайби і каталогів болтів;
- кольорове відображення болтів по типу високоміцні заводські, високоміцні монтажні, прості заводські, прості монтажні
- відображення символів болтів на кресленнях



№	Комплект болтів	Болти	Гайки	Шайби	Клас міцності
1	Тимчасові	ДСТУ EN ISO 4014-2001	ДСТУ ISO 4032-2002	ДСТУ EN ISO 7089:2022	4.6 5.6
2	Постійні				5.6 8.8 10.9
3	Високоміцні	ГОСТ 22356-77	ГОСТ 22356-77	ГОСТ 22356-77	8.8 10.9

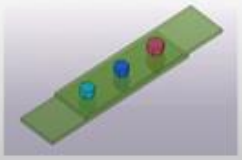


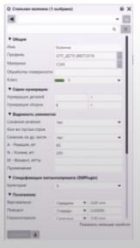
Рис. 7.13. Каталоги болтів, середовище «Україна»

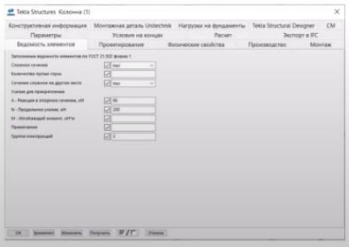
Відомості і специфікації по розділу КМ. Відомість елементів

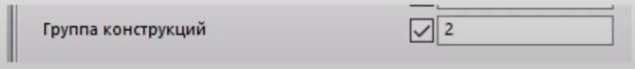
- відомість елементів взята із середовища «GOST» і в неї добавлений стовпчик група конструкцій,
- дані для відомості елементів заповнюються в головній деталі збірки,
- значення для заповнення стовпчика «Група конструкцій» вносяться через «Пользовательские атрибуты» на закладці відомість елементів

Відомість елементів

Марка елемента	Переріз			Зусилля для прикріплення			Група конструкцій	Найменування або марка металу	Примітка
	ескіз	поз.	склад	A, кН	N, кН	M, кН*м			
КС-1	2 2 1	1	— 10х500	458	253	243	2	С255	
		2	— 14х200					С255	
ОС-1	2 2 2 2 4х1	1	∅50х4				5	С255	
		2	∅ 60х4					С255	
П-2	—		— 10х100					С245	
Б-23	—		— 10х50	125	53	89		С245	
Б-21	T		T 13Б Т1	80	160	30	3	С245	
К-5	I		I 20Са	90	60	50		С245	
Б-7	[		[26С	250	85	150		С255	







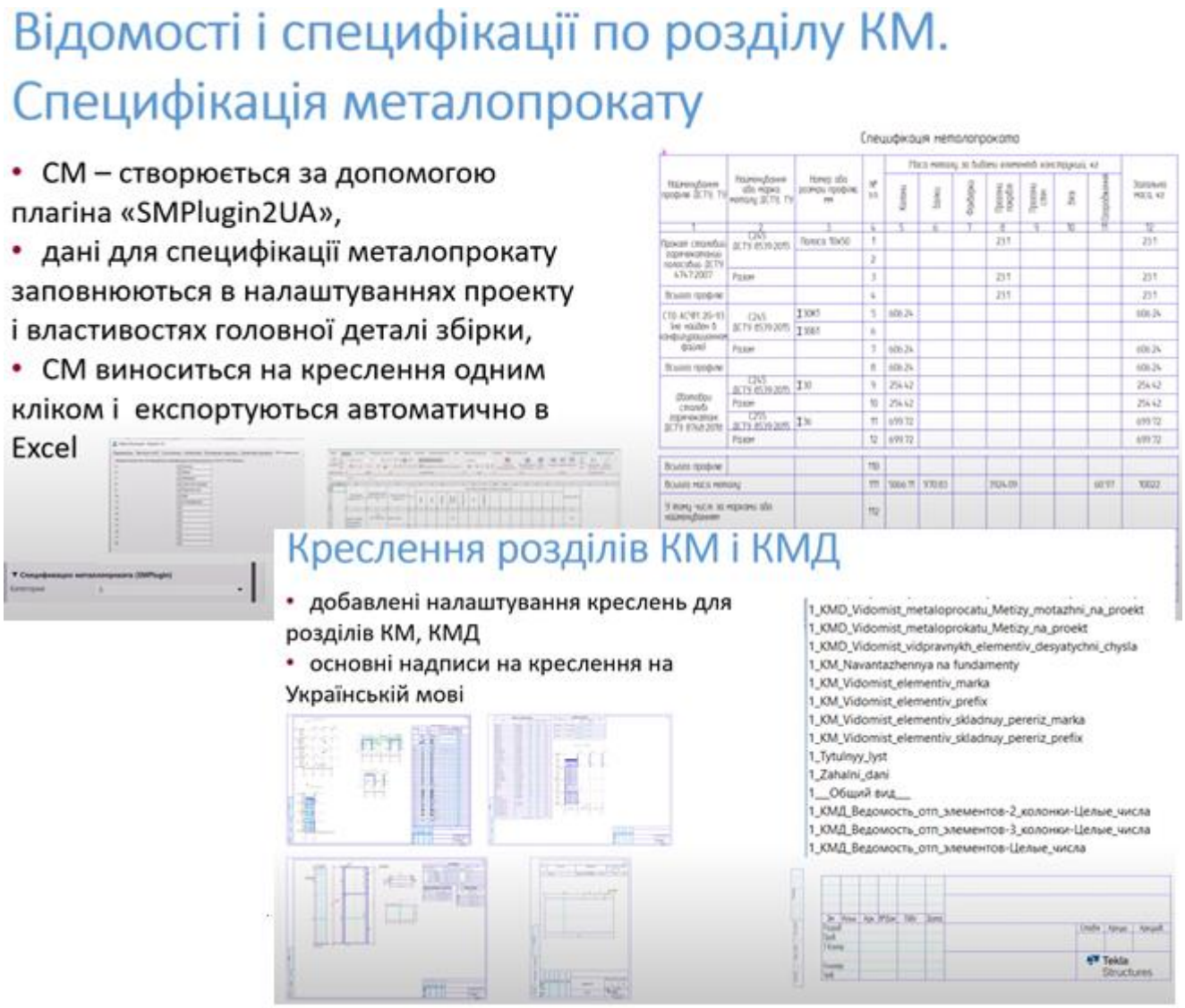


Рис. 7.14. Спеціфікації, середовище «Україна»

5. Питання для обговорення

1. У чому полягають головні переваги використання BIM-платформ порівняно з традиційним 2D-проєктуванням?
2. Як Tekla Structures інтегрується в загальний цикл проєктування будівлі?
3. Чому важливо поєднувати 3D-моделювання, розрахунок і випуск креслень в єдиному середовищі?
4. Як правильно виконати перехід від BIM-моделі до розрахункової схеми? Які типові помилки виникають?
5. Які програмні комплекси для проєктування металевих конструкцій ви вже використовували?
6. Чим відрізняється традиційне проєктування (AutoCAD, ручні методи) від BIM-підходу?
7. Які очікування від роботи з Tekla Structures у порівнянні з іншими САПР?
8. Чому критично важливо враховувати жорсткість вузлів при розрахунку?
9. Які відмінності між автоматично згенерованою схемою та ручною спрощеною моделлю?
10. У яких випадках доцільно проводити паралельну перевірку результатів Tekla у SCAD Office або ЛІРА-САПР?
11. Як забезпечується відповідність моделей Tekla національним нормам (ДБН, ДСТУ) та європейським (Eurocode)?
12. Чи можна адаптувати локальні бази профілів і матеріалів під вимоги чинних норм?
13. Які переваги має порівняння результатів розрахунку за ДБН і за Єврокодами?

14. Які кроки необхідно виконати для побудови базової 3D-моделі сталевого каркаса в Tekla?
15. Як Tekla допомагає автоматизувати рутинні операції (маркування, специфікації, шаблони креслень)?
16. Які інструменти Tekla найзручніші для створення робочої документації?
17. Як можна оцінити адекватність розрахункової схеми?
18. У чому полягає користь аналізу чутливості моделі до змін параметрів?
19. Які приклади наукових досліджень можуть базуватись на цифрових моделях Tekla?
20. Як організувати групову роботу над однією BIM-моделлю?
21. Які інструменти Tekla допомагають уникати конфліктів між різними частинами моделі?
22. Як правильно вести «журнал змін» у проєктній документації?
23. Як експорт Tekla у формати IFC чи для SCAD/LIRA може забезпечити міжпрограмну взаємодію?
24. Чи достатньо студенту просто знати норму, чи важливіше розуміти логіку її застосування?
25. Як підготуватися до захисту проєкту з аргументованим використанням норм і стандартів?
26. Чи потрібен студенту глибокий ручний розрахунок, якщо Tekla вже автоматизує більшість задач?
27. Як інтегрувати Tekla з іншими розрахунковими комплексами (SCAD, ЛІРА-САПР)?
28. Чи може BIM повністю замінити традиційний підхід у курсових та дипломних роботах?
29. Які навички важливіші для майбутнього інженера: вміння креслити чи вміння працювати з цифровою моделлю?

6. Можливі напрямки вирішення

Інтеграція Tekla Structures у навчальні програми:

- включення спеціальних курсів і практикумів з BIM-технологій у підготовку студентів;
- використання Tekla як базового інструменту при виконанні курсових і дипломних проєктів.

Розробка методичних матеріалів:

- створення покрокових інструкцій для студентів;
- підготовка відеоуроків та навчальних прикладів з моделювання та розрахунків;
- формування локалізованих баз профілів і матеріалів (ДБН/EN).

Практична інтеграція розрахунків:

- використання експорту моделей у SCAD Office, ЛІРА-САПР для перевірки результатів;
- зіставлення автоматичних розрахунків Tekla з ручними методами;
- виконання аналізу чутливості параметрів (жорсткість вузлів, навантаження, матеріали).

Організація командної роботи:

- формування навичок роботи у спільній BIM-моделі;
- навчання студентів координації між різними спеціальностями (конструктори, архітектори, інженери);
- відпрацювання практики ведення «журналу змін» та управління версіями моделей.

Науково-дослідна діяльність:

- розвиток напрямків дослідження у сфері автоматизації проєктування;
- перевірка нових алгоритмів автоматичного формування розрахункових схем;
- пошук способів інтеграції норм ДБН та Єврокодів у цифрові середовища.

Цифровізація експлуатації

- використання моделей Tekla для подальшого моніторингу будівель;
- навчання студентів роботі з IFC та обміном даними між різними BIM-платформами;
- формування навичок цифрового супроводу об’єктів на етапі експлуатації.

7. Рішення (приклад)

Використання Tekla Structures для проєктування металевого каркаса навчального об'єкта (наприклад, однопрольотної виробничої будівлі або робочої площадки).

Поєднання з розрахунковими комплексами (SCAD Office, ЛІРА-САПР) для перевірки коректності аналітичної моделі та розрахунків.

Tekla забезпечує комплексний BIM-підхід : від 3D-моделі до розрахунків та далі до робочих креслень.

Студенти одночасно формують моделювальні, розрахункові та графічні компетенції, що відповідає сучасним вимогам.

Використання розрахункових комплексів гарантує, що студенти не лише «натискають кнопки», а й розуміють фізику процесів і перевіряють результати.

8. Практичне завдання для студентів

Змоделювати каркас металевої будівлі робочої площадки (колони, балки, вузли) у Tekla Structures (див. рис. 8.1).

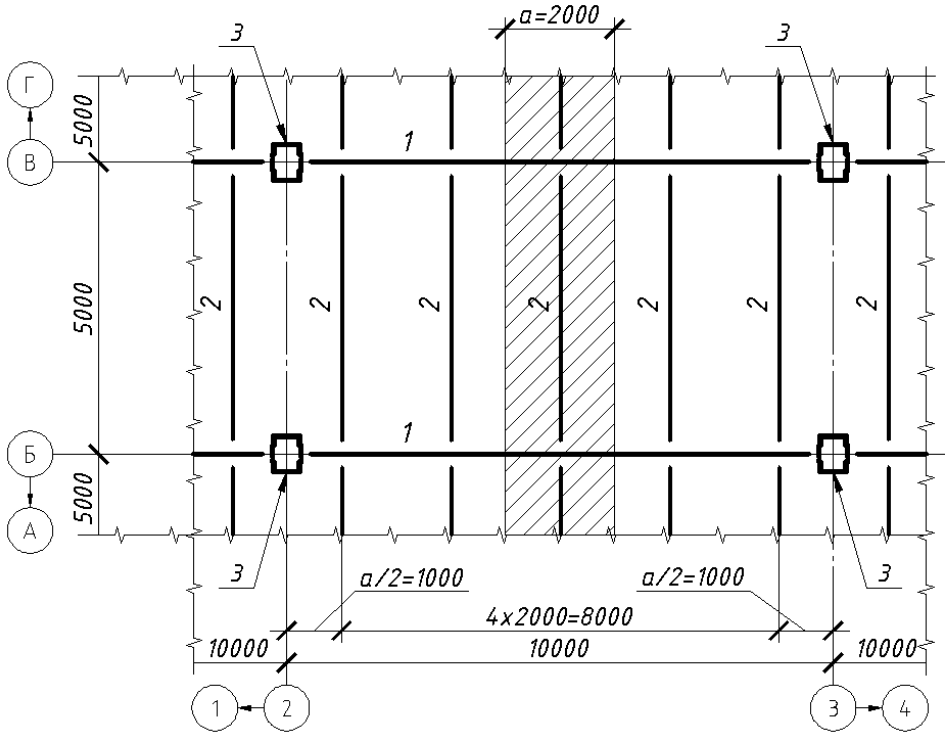


Рис. 7.1. Схема розрахункової частини робочої площадки:
1 – головна балка; 2 – балка настилу; 3 - колона

Призначити матеріали відповідно до [6-8,14,15].

Сформувати розрахункову схему у Tekla Structures та експортувати її у SCAD Office.

Виконати збір навантажень згідно [11].

Виконати статичний розрахунок, отримати внутрішні зусилля та прогини.

Підібрати перерізи відповідно до результатів розрахунку згідно [6]:

- балки настилу;
- головної балки;
- центрово-стиснутої наскрізної колони.

Виконати розрахунки вузлів та з'єднань згідно [6].

Згенерувати креслення елементів (балки настилу; головної балки; центрово-стиснутої наскрізної колони).

Формулювання завдання у вигляді кейсу: «Проєктування каркаса робочої площадки з використанням Tekla Structures та SCAD Office»

Необхідно спроєктувати робочу площадку на рис. 8.1. Компоновку каркасу виконати для таких вихідних даних до проектування:

- крок колон у поперечному напрямку – ___ м;
- крок колон у поздовжньому напрямку – ___ м;
- відмітка верху настилу площадки – ____ м;
- експлуатаційне тимчасове навантаження на площадку – ____ кПа;
- тип настилу – залізобетонна плита (монолітна) або металевий настил (рифлений лист).

Інструкції для індивідуальної роботи

Побудувати 3D-модель каркаса у Tekla.

Виконати статичний розрахунок у SCAD-office.

Обґрунтувати вибір перерізів колон та балок.

Підготувати креслення елементів (балки настилу; головної балки;

центрово-стиснутої наскрізної колони) та специфікацію матеріалів.

Студент виконує повний цикл самостійно, але обсяг завдання зменшується (наприклад, модель однієї рами, а не всього каркаса). Результат: модель + розрахунок + креслення одного елемента.

Інструкції для групової роботи. Розподіл ролей у групі:

фахівець-моделювальник - створює модель у Tekla;

фахівець із розрахунку - формує розрахункову схему й виконує розрахунок у SCAD-office;

конструктор - оформлює креслення та специфікації;

аналітик - готує звіт і порівнює результати Tekla, SCAD-office та ручних розрахунків.

Підсумком має стати єдиний звіт + презентація результатів.

9. Обговорення та рефлексія

Використання Tekla Structures як BIM-платформи дозволяє студентам не лише засвоїти інструментарій моделювання і розрахунків, а й критично осмислити підхід до сучасного проєктування. Важливо обговорити, як змінюється роль інженера у цифровому середовищі, які компетенції стають ключовими, та які виклики постають під час інтеграції національних і міжнародних норм у практику.

Запитання для дискусії в аудиторії.

1. Чим відрізняється традиційне проєктування від BIM-орієнтованого підходу?
2. Які труднощі виникають при переході від BIM-моделі до розрахункової схеми?
3. Як на практиці перевіряти адекватність автоматизованого розрахунку?
4. Чи завжди результати, отримані в програмі, можна приймати без додаткових перевірок?
5. Яку роль відіграють норми (ДБН, ДСТУ, Єврокоди) у роботі з цифровими моделями?
6. Принципи переходу від цифрової моделі до розрахункової схеми можна застосувати і до залізобетонних конструкцій.
7. Досвід перевірки результатів автоматизованого розрахунку корисний при роботі з іншими програмними комплексами (SCAD, LIRA-SAPR, Robot).
8. Практика інтеграції нормативних вимог у модель може бути використана у темах, що стосуються проєктування фундаментів, мостів чи спеціальних споруд.
9. Навички командної роботи у BIM-середовищі легко масштабуються на міждисциплінарні проєкти (архітектура + конструкції + інженерні мережі).

10. Висновки викладача

Чи дозволить застосування кейсу з використанням Tekla Structures у навчальному процесі студентам на практиці засвоїти ключові етапи сучасного проєктування металевих конструкцій: від побудови 3D-моделі до перевірки розрахункових схем відповідно до ДБН/ДСТУ та Єврокодів?

Робота з кейсом продемонструвала значення інтеграції BIM-підходів у професійну діяльність і сприяла розвитку навичок критичного аналізу розрахунків?

Список використаних джерел

1. Tekla Structures User Assistance. Trimble Solutions Corporation. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://www.tekla.com/ru/solutions/tekla-structures, дата звернення: 17.09.2025.
2. Tekla Structures. Базовий онлайн-курс. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://sapr-art.by/tekla, дата звернення: 17.09.2025.
3. Системний курс вивчення Tekla Structures. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://topengineer.ru/education-centr/book/book, дата звернення: 17.09.2025.
4. Tekla Structures 2023. New features and improvements: Ukraine environment [Електронний ресурс] // Trimble Solutions Corporation. – 2023. – Режим доступу: https://support.tekla.com/doc/tekla-structures/2023/rel_2023_sp4_new_features_and_improvements (дата звернення: 17.09.2025). Деталізація сталевих конструкцій з Tekla Structures. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://www.tekla.com/ru/решения/детализация-стальных-конструкций, дата звернення: 17.09.2025.
5. ДБН В.2.6-198:2014. *Сталеві конструкції. Норми Проєктування*. - К.: Мінрегіон України, 2014. - 199 с.
6. ДБН В.2.6-98:2009. *Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення*. - К.: Мінрегіон України, 2009. - 71 с.
7. ДСТУ Б В.2.6-156:2010. *Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила Проєктування*. - К.: Мінрегіон України, 2010. - 118 с.
8. ДБН В.2.1-10:2018. *Основи та фундаменти. Основні положення Проєктування*. - К.: Мінрегіон України, 2018. - 36 с.
9. ДБН В.2.6-162:2010. *Кам'яні та армокам'яні конструкції. Основні положення*. - К.: Мінрегіон України, 2010. - 97 с.
10. ДБН В.1.2-2:2006. *Навантаження і впливи* (із змінами №1 від 01.10.2007 р. та №2 від 01.06.2020 р.). - К.: Мінбуд України, 2006. - 60 с.
11. ДСТУ Б В.1.2-3:2006. *Прогини та переміщення*. - К.: Мінбуд України, 2006. - 10 с.
12. ДСТУ Б В.2.6-193:2010. *Захист металевих конструкцій від корозії*. - К.: Мінрегіон України, 2013. - 70 с.
13. ДБН В.1.2-14:2018. *Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд*. - К.: Мінрегіон України, 2018. - 30 с.
14. ДСТУ 8855:2019. *Визначення класу наслідків (відповідальності) будівель та споруд*. - К.: ДП «УкрНДНЦ», 2019. - 29 с.
15. ДБН В.1.1-12:2014 (із зміною №1 від 01.05.2019 р.). *Будівництво у сейсмічних районах України*. - К.: Мінрегіон України, 2014. - 110 с.
16. EN 1991: Eurocode 1: Actions on structures. - Brussels, 2002.

Рекомендована для самостійного вивчення

18. Eastman C., Teicholz P., Sacks R., Liston K. *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling*. 3rd ed. - Hoboken: John Wiley & Sons, 2018.
19. Tekla Online Learning Center. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://www.tekla.com/learning, дата звернення: 17.09.2025.

20. Ромашкина М.А., Титок В.П. *Програмний комплекс ЛІРА-САПР. Посібник користувача. Навчальні приклади*. — М.: Ліра-САПР, 2018. — 254 с. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://rflira.ru/files/lira-sapr/Book_LIRA_SAPR_2018.pdf, дата звернення: 17.09.2025.
21. Карпіловський В.С., Криксунов Е.З., Микитенко М.А., Перельмутер А.В., Перельмутер М.А., Федоровський В.Г. *SCAD Office. Реалізація СНиП у проєктувальних програмах*. — К.: ВПП «Компас», 2001. — 215 с. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://lidermsk.ru/media/documents/ed/ed217bddd48b3d1748fb800b21b60538.pdf, дата звернення: 17.09.2025.

8. ОСНОВИ РОЗРАХУНКУ ТА ПРОЕКТУВАННЯ БУДІВЕЛЬ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ LIRA-FEM

Д. В. Левківський

1. ВСТУП

У сучасному будівельному проектуванні стрімко зростає роль **BIM**-технологій (**Building Information Modeling**), які дозволяють інтегрувати всі етапи життєвого циклу будівлі в єдине цифрове середовище. Цей підхід забезпечує цілісність та узгодженість інформації на всіх етапах – від концептуального проектування до будівництва та подальшої експлуатації. **BIM**-технології дозволяють скоротити терміни розробки проектів, зменшити кількість помилок, покращити взаємодію між учасниками проектування.

Завдяки впровадженню цифрових моделей об’єктів проектування, учасники будівельного процесу можуть оперативно вносити зміни, аналізувати варіанти конструктивних рішень, прогнозувати витрати та планувати графіки виконання робіт. Крім того, **BIM** дозволяє створювати візуалізації об’єктів у 3D-форматі, що сприяє кращому розумінню просторової структури майбутньої будівлі.

Інструменти **BIM** забезпечують не лише створення геометричної моделі, але й включають інформацію про матеріали, технічні характеристики, експлуатаційні властивості та нормативні вимоги. Одним з найбільш ефективних інструментів для реалізації принципів **BIM** в Україні є програмні комплекси **САПФІ**Р та **ЛІРА- САПР**.

ЛІРА-САПР з 2025 року отримав нову назву **LIRA-FEM**. Їхня інтеграція дозволяє будувати повноцінні цифрові моделі будівель із подальшим розрахунком, конструюванням та генерацією проектної документації відповідно до чинних будівельних норм.

Таким чином, застосування **BIM**-технологій забезпечує новий рівень якості проектування, підвищує конкурентоспроможність будівельних компаній і відповідає сучасним викликам цифровізації будівельної галузі.

Мета та результати навчання:

Учасник курсу навчиться:

- створювати архітектурну модель будівлі в середовищі **САПФІР**;
- виконувати адаптацію існуючої архітектурної моделі будівлі на основі **IFC** моделі;
- створювати аналітичну модель будівлі, задавати навантаження та їх комбінації;
- підбирати перерізи несучих будівельних конструкцій;
- перевіряти їх міцність та деформативність;
- створювати звіт по розрахунку.

2. ОГЛЯД ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ LIRA-FEM

ПК LIRA-FEM реалізує технологію *Інформаційного Моделювання Будинків (BIM)* і орієнтована на проектування і розрахунок будівельних конструкцій. Реалізація технології BIM забезпечується зв'язком з іншими архітектурними, розрахунковими, графічними та документуючими системами (САПФІР-3D, Revit, Tekla, AutoCAD, ArchiCAD, Advance Steel, BoCAD, Allplan та ін.) на основі DXF, MDB, STP, SLI, MSH, STL, OBJ, IFC та ін. файлів [1]. Це потужна інженерна система для **розрахунку, аналізу та проектування будівельних конструкцій** за методом скінченних елементів (МКЕ). **ПК ЛІРА-САПР** розроблена українськими інженерами, вона широко використовується у сфері проектування як в Україні, так і за її межами.

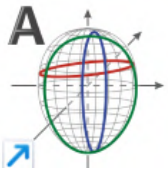
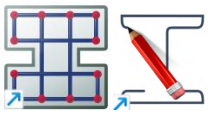
ЛІРА-САПР тісно інтегрується з графічним модулем **САПФІР**, який дозволяє створювати архітектурну модель будівлі, перетворювати її на розрахункову схему і передавати в **ПК ЛІРА-САПР** для обчислень.

САПФІР (Система Архітектурного Проектування, Формоутворення і Розрахунків) – це архітектурна підсистема інформаційного моделювання в складі програмного комплексу **ЛІРА-САПР.**

У складі програмного комплексу **ЛІРА-САПР** передбачено додаткові підпрограми, які запускаються як окремі модулі з ярликів і значно розширюють функціональні можливості системи (див. Таблиця 2.1).

Разом ці модулі формують повноцінну систему для розрахунку, проектування та оформлення документації сучасних будівель і споруд.

Таблиця 8.1

	Модуль **Авангард** дозволяє виконувати формоутворення та топологічну оптимізацію конструкцій, що є актуальними у задачах архітектурної виразності або мінімізації матеріаломісткості.
 	**КМ-САПР** і **Конструктор перерізів** забезпечують підготовку моделей сталевих конструкцій з перевіркою міцності перерізів, підбор профілю згідно з нормативними обмеженнями та можливістю створення складених перерізів довільної форми.
	**ЛАРМ-САПР**, **РС-САПР** та **САПФІР-3D** реалізують інструменти автоматизованого підбору та креслення арматури в залізобетонних конструкціях, побудови тривимірної моделі об’єкта і створення документації.
	
	**СТК-САПР** виконує моделювання стадії зведення споруди, дозволяючи враховувати тимчасові навантаження, монтажні етапи та зміну просторової жорсткості конструкції**.**
	Модуль для **налаштування зв’язку з Autodesk Revit**, який забезпечує інтеграцію **ЛІРА-САПР** у **BIM**-середовище, шляхом обміну моделями через IFC або LiraLink.

3. ЕТАПИ МОДЕЛЮВАННЯ БУДІВЛІ.

Програмне забезпечення **САПФІР** є складовою частиною **BIM**-орієнтованого циклу проектування будівельних конструкцій та дозволяє створювати інформаційну модель будівлі з подальшим її експортом до системи розрахунку **ЛІРА-САПР**. Процес моделювання виконується поетапно та має чітку інженерну логіку (рис.8.1).

Блок-схема моделювання будівлі

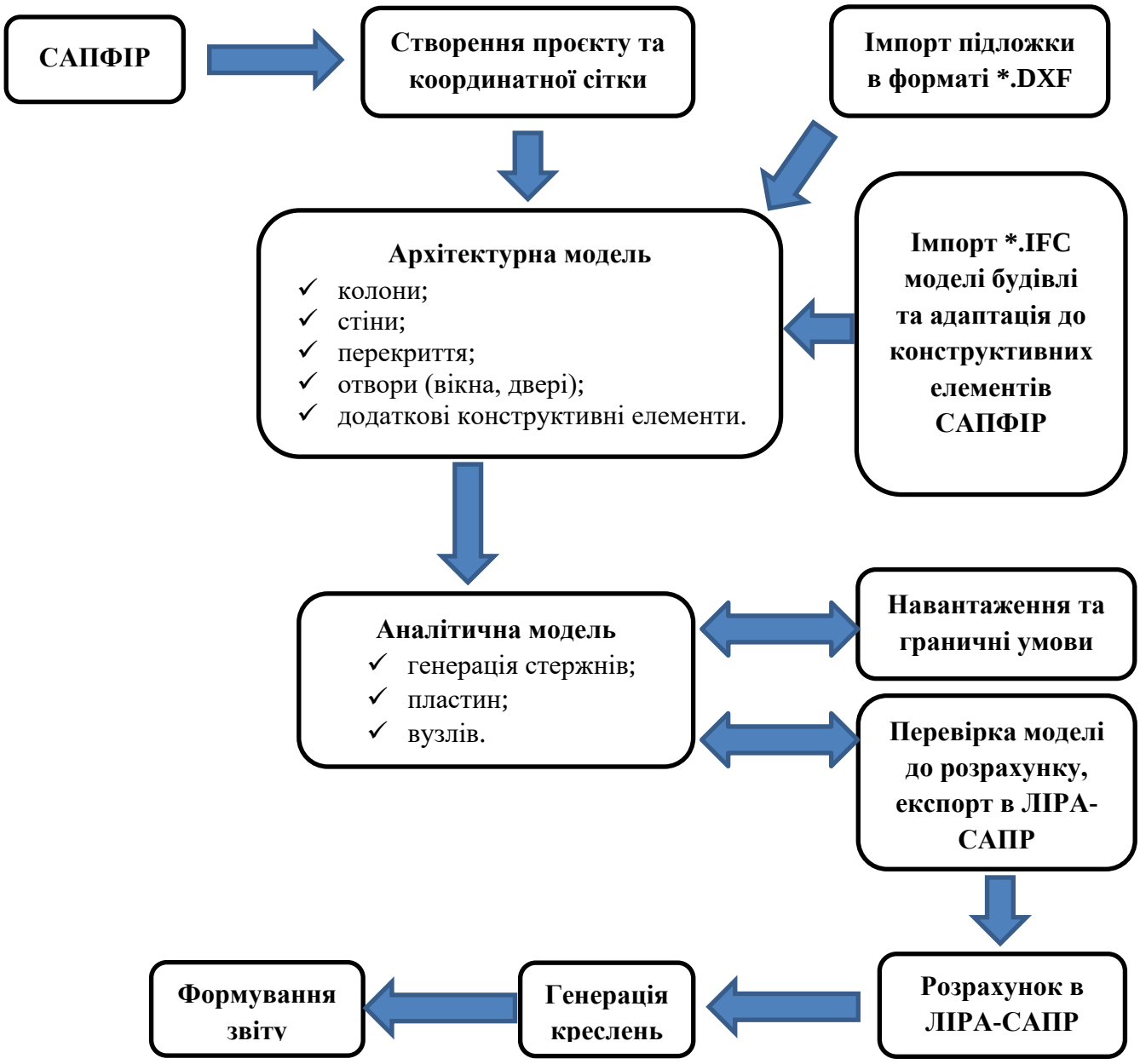


Рис.8.1 Блок-схема моделювання будівлі

3.1 Архітектурна модель

На першому етапі виконується створення нового проекту з налаштуванням основних параметрів:

- ✓ координатна сітка;
- ✓ висота поверхів;
- ✓ одиниці виміру;
- ✓ параметри креслень, шари, рівні, масштаби.

За потреби імпортується «підкладка» у форматах *.DWG, *.DXF, *.IFC, яка використовується як основа для просторового формування (Додаток А).

Процес моделювання починається зі створення архітектурної моделі будівлі.

- ✓ Колони;
- ✓ Стіни;

- ✓ Перекриття;
- ✓ Отвори (вікна, двері);
- ✓ Додаткові конструктивні елементи (пандуси, сходи тощо).

Кожен елемент має набір параметрів, які визначають його фізичні характеристики та положення в просторі. Модель формується у 2D та 3D просторі одночасно. На цьому етапі забезпечується топологічна узгодженість та логічна структуризація об'єкту.

Програма **САПФІР** дозволяє виконати архітектурно-конструктивну частину роботи з проектом.

Архітектурна модель містить інформацію про фізичну геометрію, товщини, матеріали та взаємне розташування елементів. Аналітична модель визначає положення осей і площин, через які проходять розрахункові елементи. Для плит і стін у **САПФІР** формується площинний елемент, розташований у центральній площині конструкції (серединній площині), для балок і колон – стрижневий елемент, вісь якого проходить через центр ваги поперечного перерізу. Ці осі і серединні площини утворюють каркас розрахункової схеми, що передається до **ЛІРА-САПР**.

Зв'язок між архітектурною та аналітичною моделлю має важливе значення для точності розрахунку. Усі аналітичні осі повинні бути узгоджені між собою, а точки їх перетину – суміщені у спільних вузлах. Для правильної розрахункової схеми необхідно забезпечити співвісність балок і колон, точне розташування площин плит відносно осей елементів. Також необхідно враховувати відступи та прив'язки, що залежать від способу обпирання конструкцій. Якщо аналітичні осі не збігаються при експорті в **ЛІРА-САПР** утворюються «розірвані» вузли, що призводить до помилок у розрахунку.

У програмі **САПФІР** передбачено спеціальні інструменти для контролю аналітичної моделі. У режимі перегляду аналітичної схеми користувач може перевірити правильність побудови осей і вузлів, виявити неузгоджені елементи, а також автоматично скоригувати зв'язки між плитами, балками та колонами. Перед передачею в **ЛІРА-САПР** доцільно виконати візуальну перевірку (всі рівні будівлі узгоджені), а також використати функцію перевірки колізій аналітичної моделі.

Після перевірки модель експортується до **ЛІРА-САПР** у вигляді файлу з розширенням *.lir. Під час експорту архітектурні елементи перетворюються на розрахункові об'єкти, а система автоматично створює вузли, координати, граничні умови, навантаження та інші параметри для створення інженерного аналізу. Важливо пам'ятати, що якість зв'язків між архітектурною та аналітичною моделями визначається коректністю розрахункових результатів і подальше конструктивне доопрацювання.

3.2 Вихідні дані для моделювання

Дано архітектурні поверхові плани будівлі наведені в Додатку А. Також студенту надаються креслення планів будівлі у форматі *dxf. Будівля має каркасно-монолітну структуру 3-поверхова, один поверх цокольний, дві ліфтові шахти та сходові. Несучими елементами будівлі є колони, пілони, стіни сходових клітин, балки перекриття та плити перекриття. Несучі елементи виконані з важкого бетону, армованого сталевою арматурою. Плити перекриття мають отвори в місцях влаштування сходових клітин, перетину інженерних комунікацій, вентиляційних каналів.

На будівлю діють згідно ДБН В.1.2-2006:

Постійні навантаження:

- власна вага монолітних залізобетонних конструкцій (визначаються автоматично в залежності від геометрії та об'ємної ваги матеріалів, враховуючи коефіцієнт надійності по навантаженню);
- вага складу підлоги – утеплювач ЕППС 50 мм, армована цементно-піщана стяжка 60 мм, керамічна плитка на клею 20 мм - розрахункове навантаження **180** кг/м^2;

- вага конструкцій покриття – розрахункове навантаження **300** кг/м^2;

Тривалі навантаження:

- вага внутрішніх та зовнішніх перегородок, парапетів (визначається автоматично у **САПФІР**, враховуючи віконні та дверні прорізи, об'ємну вагу матеріалів та коефіцієнта надійності по навантаженню);

Тимчасові навантаження:

- снігове навантаження на покриття відповідно до району будівництва - розрахункове значення - **160 кг/м^2**;
- тимчасове корисне навантаження на перекриття згідно - розрахункове значення - **480 кг/м^2**;
- тимчасове корисне навантаження на покриття – розрахункове значення **84 кг/м^2**;
- вітрові навантаження на будівлю відповідно до району будівництва - розрахункове значення - **65 кг/м^2**.

Питома вага матеріалів каркасу будівлі з врахуванням коефіцієнту надійності по навантаженню:

- залізобетон – 2500 кг/м^3;
- керамічна цегла, об'ємна вага 1800 кг/м^3;
- газобетон Д400, об'ємна вага 400 кг/м^3;
- цементно-піщана стяжка 1800 кг/м^3.

Завдання: побудувати Архітектурну модель будівлі в САПФІР.

Студент повинен розробити **архітектурно-конструктивну модель триповерхової будівлі** із цокольним поверхом і плоским покриттям.

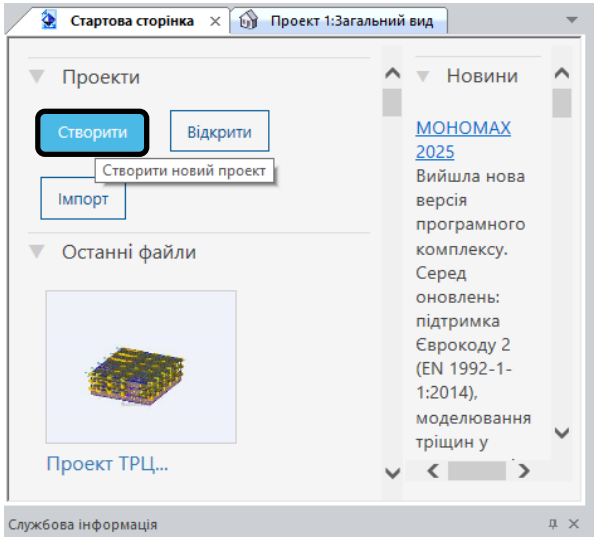
Модель повинна бути узгоджена за осями, рівнями та конструктивними зв'язками, а також готова до передачі у середовище **LIRA-FEM** без втрати топології.

4. ПОБУДОВА РОЗРАХУНКОВОЇ МОДЕЛІ БУДІВЛІ В САПФІР.

Для зручності виконання роботи з програмою **САПФІР** вхідні поверхові плани перетворюються в формат *.dxf.

4.1 Налаштування робочого проекту в САПФІР

Крок 1. Відкриваємо програму **САПФІР,** створюємо новий проект та виконуємо налаштування середовища програми. **Створити – Властивості проекту** (рис.4.1, 4,2) – **Застосувати**. Інші параметри залишаються за замовчуванням.



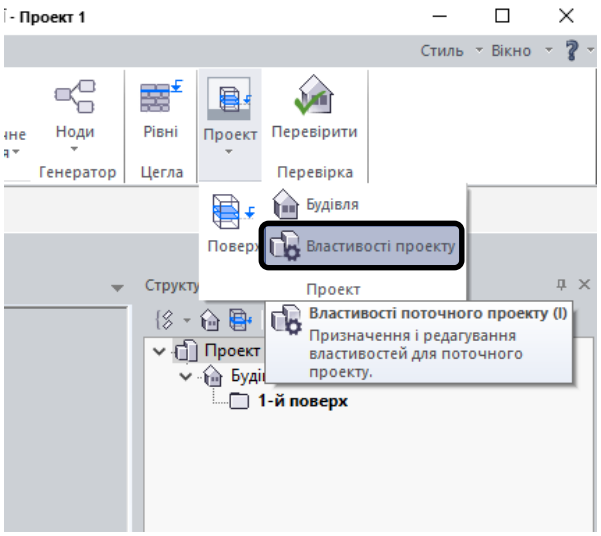


Рис.8.1 Створення нового проекту

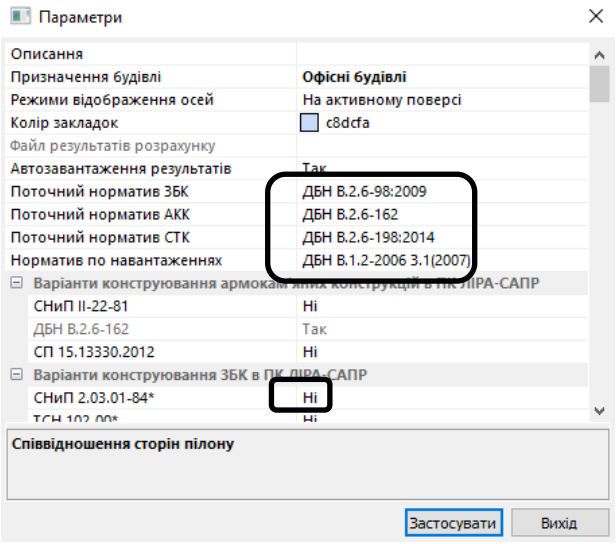


Рис.8.2 Діалогове вікно «Параметри»

Крок 2. Налаштування візуалізації. **Меню програми** - **Налаштування** – **Налаштування візуалізації.** У вікні налаштувати параметри метричної сітки (***тільки у 1-му квадраті***), кількість комірок – ***40*** (рис.4.3). - **Підтвердити.**

Сітка «***Тільки у 1-му квадраті»*** відображається лише в зоні з додатними координатами (X>0, Y>0), що зручно для побудови моделей без «від'ємних» координат. «Кількість комірок – 40» - визначає скільки квадратів сітки показується відносно початку координат. Чим більше число, тим більшу частину робочого простору видно з розміткою. Це не впливає на розрахунки чи геометрію, але допомагає візуально:

- точніше розуміти елементи у просторі моделі;
- швидше знаходити точки побудови;
- уникати помилок, коли елементи розташовані «поза моделлю»;
- зручніше перевіряти орієнтацію осей і рівнів перед експортом у ЛІРА-САПР.

Крок 3. Зберегти зміни у проекті. **Меню програми** - **Зберегти як…** - задаємо ім'я проекту, що складається з прізвища автора, номер групи і три цифри шифру варіанту (***Левківський _ОМ_164_281.***), вказати місце збереження проекту - **Зберегти**.

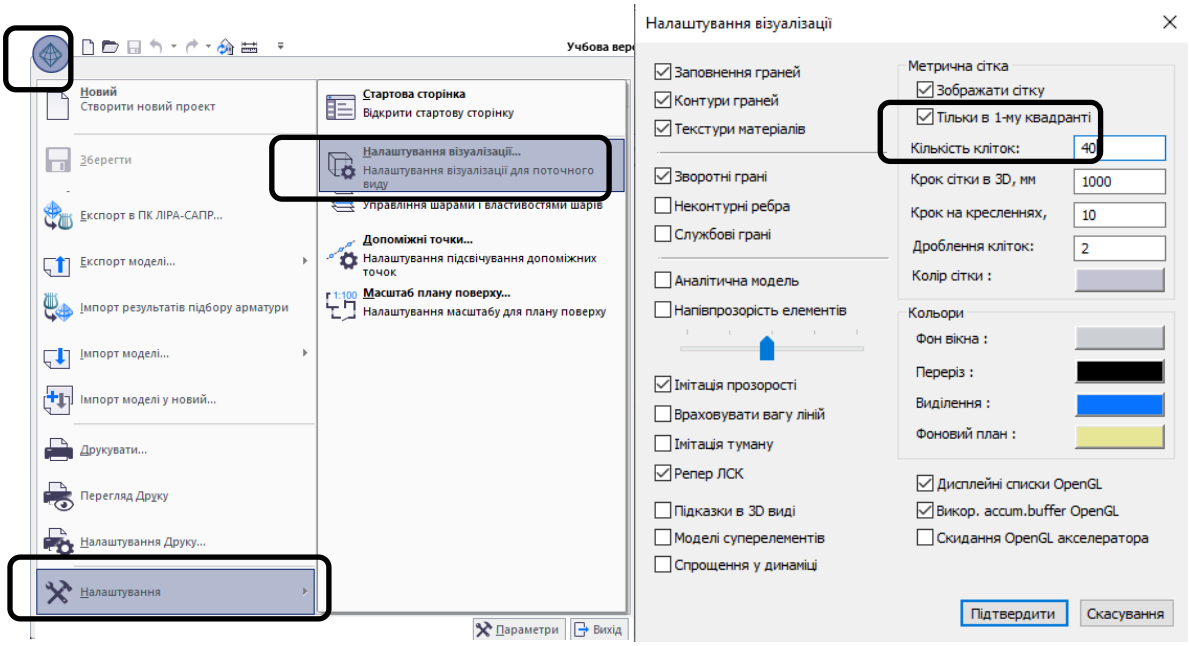


Рис.8.3 Діалогове вікно «Налаштування»

4.2 Моделювання архітектури «Цокольного поверху»

Крок 1. Налаштовуємо властивості поверху. У вікні **Структура – 1-й поверх – Властивості** – змінюємо назву «***Будівля 1***» на «***Офісна будівля***», назву поверху на «***Цокольний поверх***» (рис.4.4). Встановлюємо висоту поверху відповідно до завдання 3650 мм та рівень низу поверху -3650 м. – **Застосувати до об'єкту** .

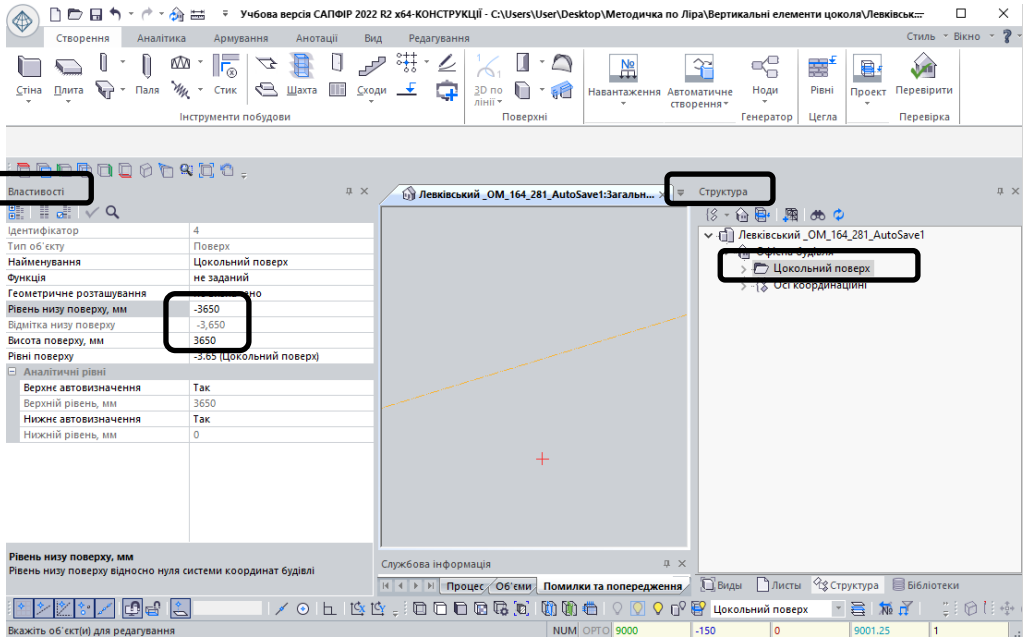


Рис.8.4 Діалогове вікно «Властивості» поверху

Крок 2. Створюємо систему координатних осей згідно завдання до проекту. Вкладка **Створення** – **Осі – Параметри** (Координатні осі). Налаштовуємо нумерацію, крок вертикальних та горизонтальних осей згідно варіанту (рис.8.5) – **ОК** – Виконуємо прив'язку сітки осей до системи координат. Виділити курсором осі **Редагування** – **Перемістити**  - переміщуємо точку перетину осі «1»/»А» в початок системи координат. **Окреслити розміри**  - розміри відображаються на сітці координатних осей розміри.

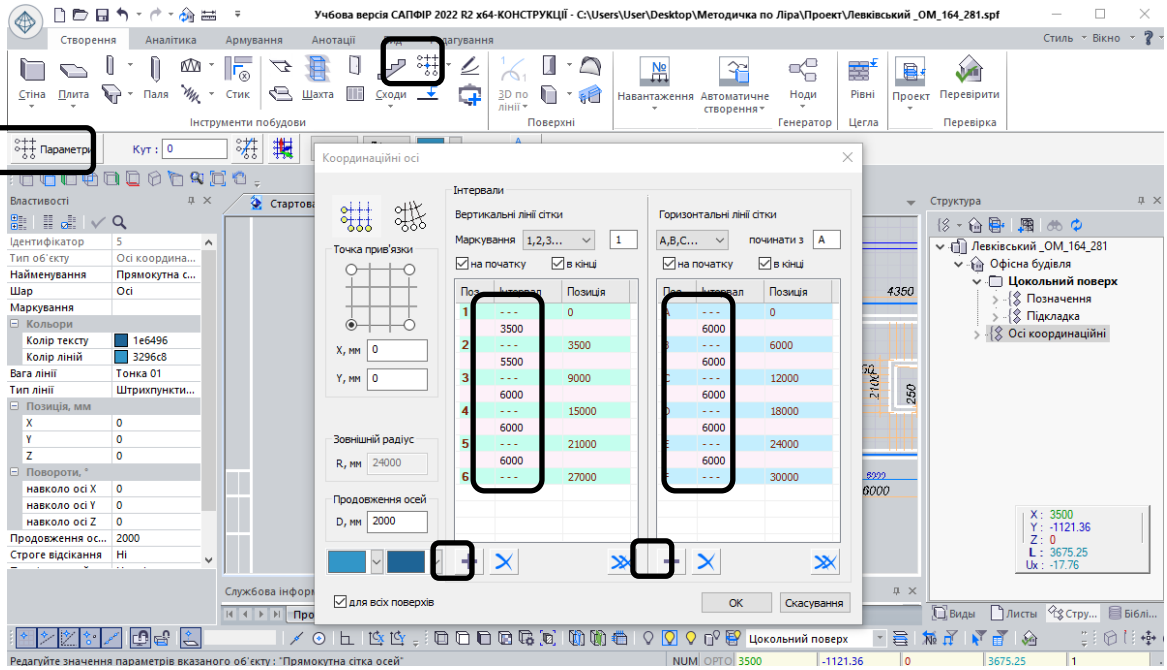


Рис.8.5 Діалогове вікно «Осі»

Крок 3. Імпорт допоміжної «підкладки» в форматі *.dxf. Попередньо необхідно розробити план Цокольного поверху у форматі *.dxf. **Меню програми** - **Імпорт моделі… - Креслення AutoCAD –** Вкладка редагування - **Перенести** (рис.4.6) **(**переміщуємо «підкладку» на початок системи координат, синхронізуємо з сіткою осей).

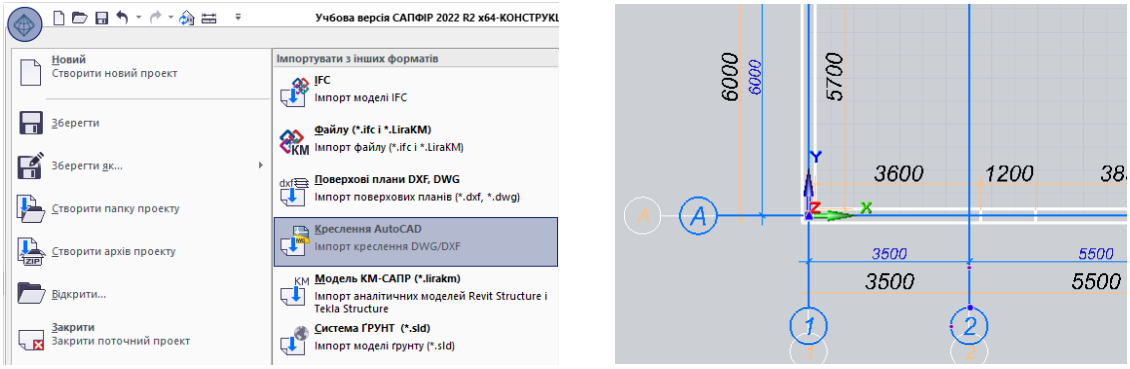


Рис.8.6 Імпорт «підкладки» Цокольного поверху.

Крок 4. Створюємо колони. По завданню у центральній частині будівлі розташовані колони 400х400 мм, матеріал - бетон С25/30. Вкладка **Створення – Колона –** У діалоговому вікні розкриваються властивості колони (Переріз, прив'язка, тип висотної прив'язки та ін.). **Переріз** – **Параметри перерізу** (призначаємо колоні прямокутний переріз 400х400 мм) - **ОК**. Розмістити колони згідно «підкладки». **Структура** – натискаємо **П.К.М.** на назву Колона– **Виділити** (виділяємо всі колони). У діалоговому вікні **Властивості об'єктів** - **Матеріал** – бетон В30 (С25/30) (рис.4.7).

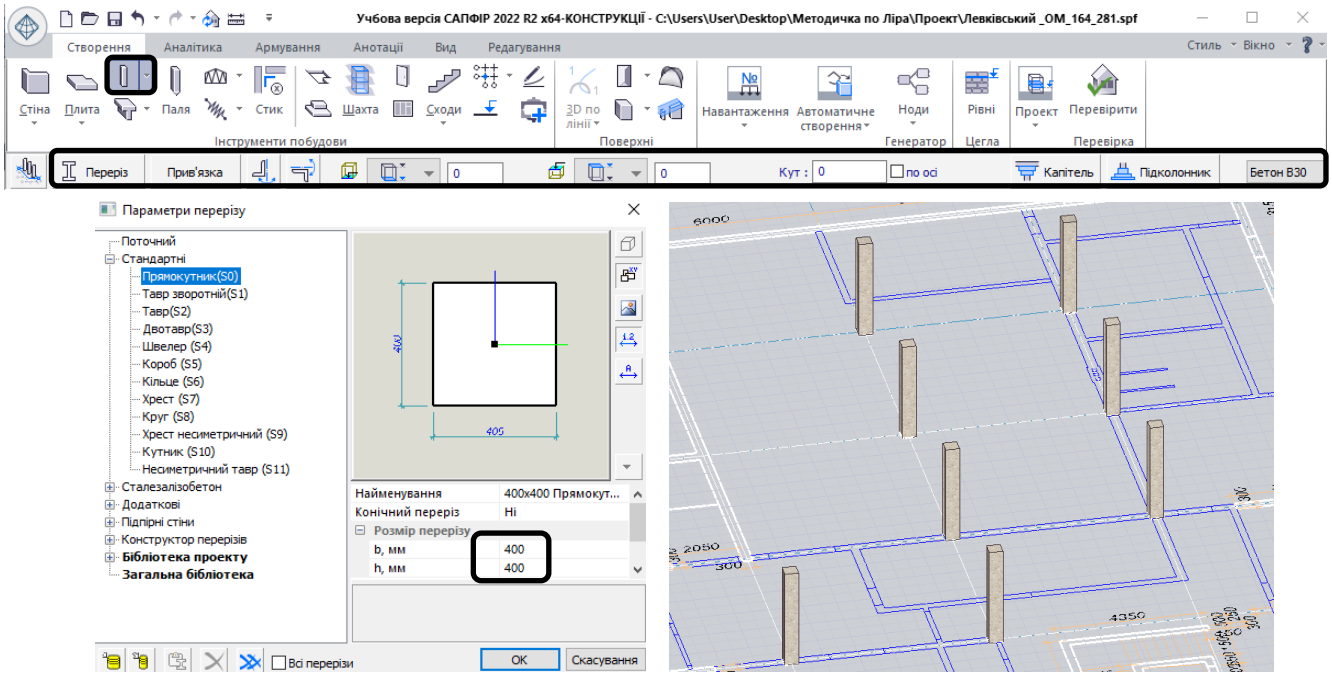


Рис.8.7 Параметри перерізу Колони

Крок 5. Створюємо несучі стіни товщиною 300, 250 мм та ребра жорсткості 400 мм орієнтуючись на «підкладку», матеріал - бетон С20/25. **Вкладка Створення – Несуча стіна –** У діалоговому вікні розкриваються властивості стіни (товщина, прив'язка, тип висотної прив'язки та ін.). Встановлюємо відповідну товщину стіни та обводимо «підкладку». За допомогою функції **Кутова підрізка** **Панелі редагування** об'єднуються дві перпендикулярних частини стіни (рис.8.8).

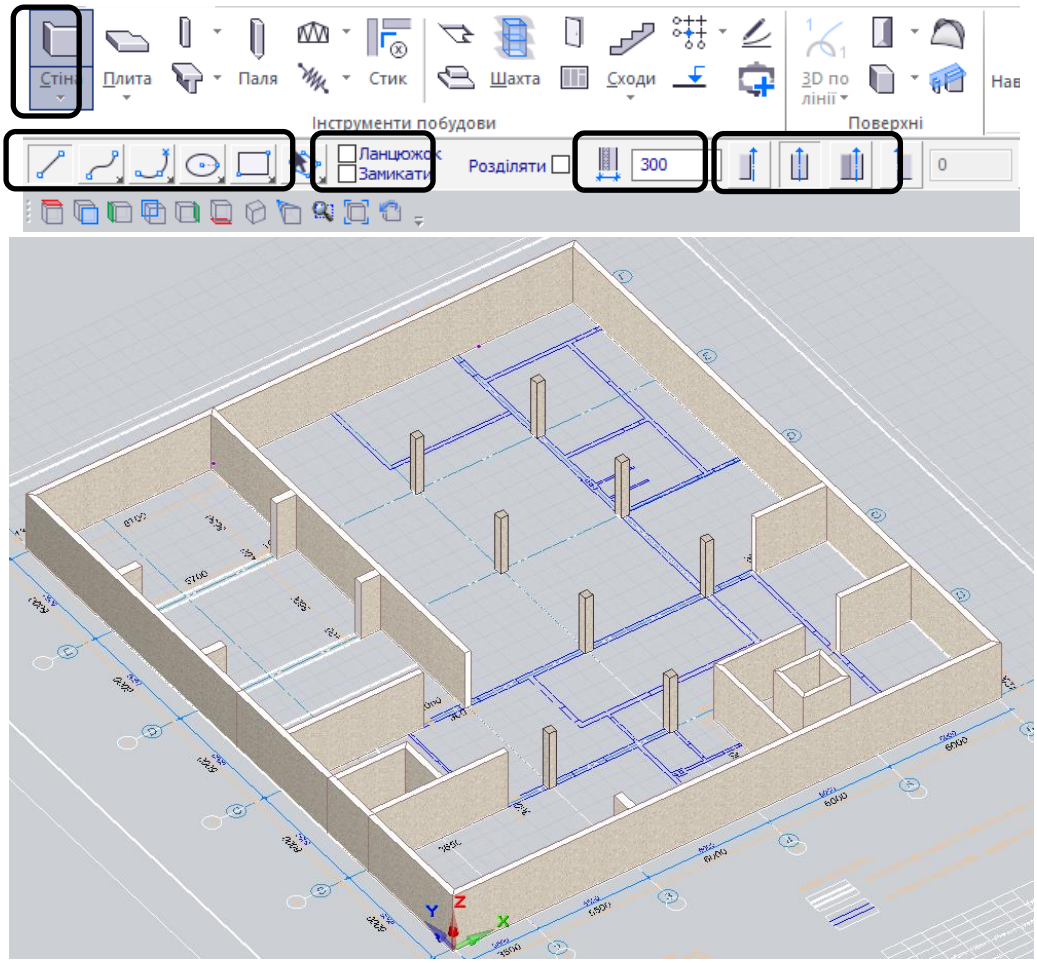


Рис.8.8 Розташування колон та стін Цокольного поверху

Крок 6. Змінюємо матеріал стін на бетон С20/25. У дереві проекту (**Структура**) виділяємо всі стіни – **П.К.М.** на **Несучі стіни – Виділити,** далі вікно **Властивості – Матеріал** бетон В25 (С20/25) (рис.4.9).

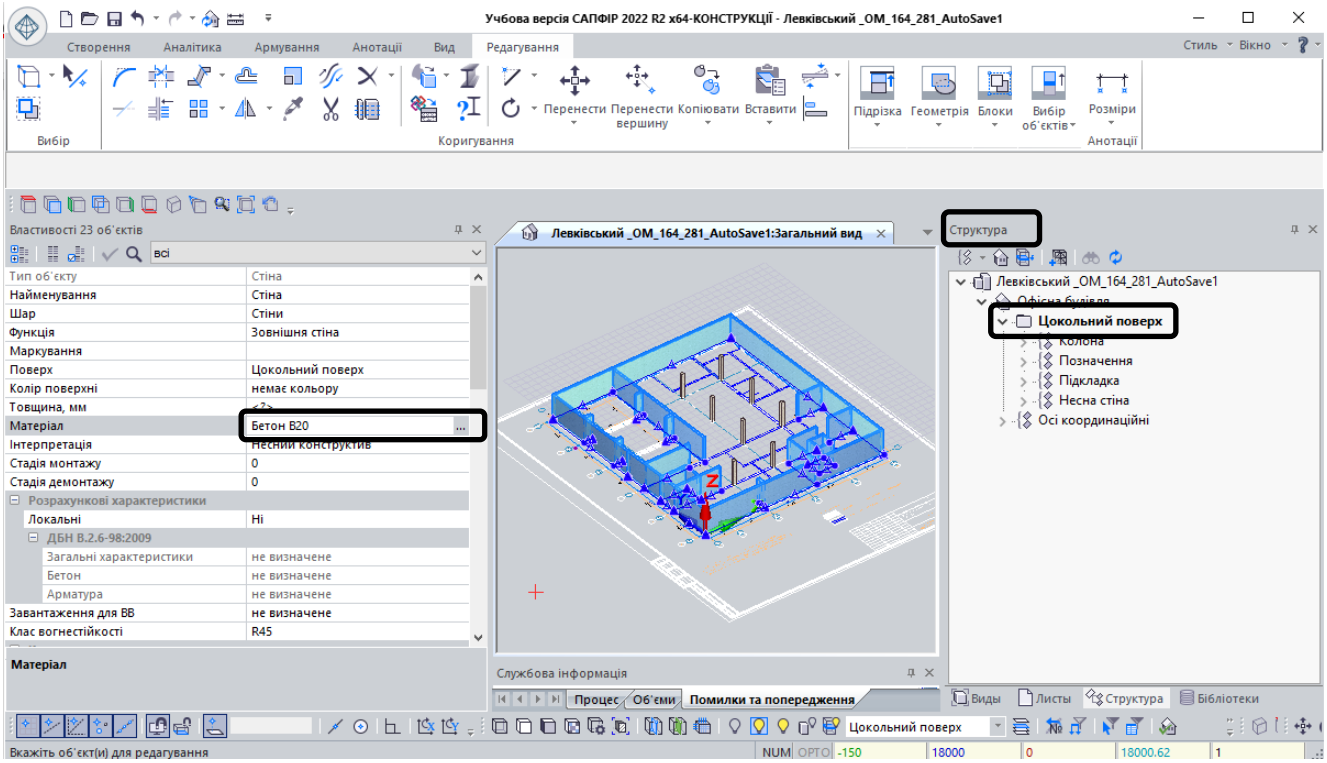


Рис.8.9 Призначення матеріалу вертикальних елементів каркасу.

Крок 7. Додаємо вікна. Вікна висотою 800 мм, згідно варіанту низ вікна розташовується на відмітці -1,100 м=-(0,3 м+0,8 м). На панелі **Візуалізація** – **Каркас,** щоб було видно контур

«підкладки». Вкладка **Створення** – **Вікно** (налаштовуємо розміри вікна та його прив'язку) (рис.8.10).

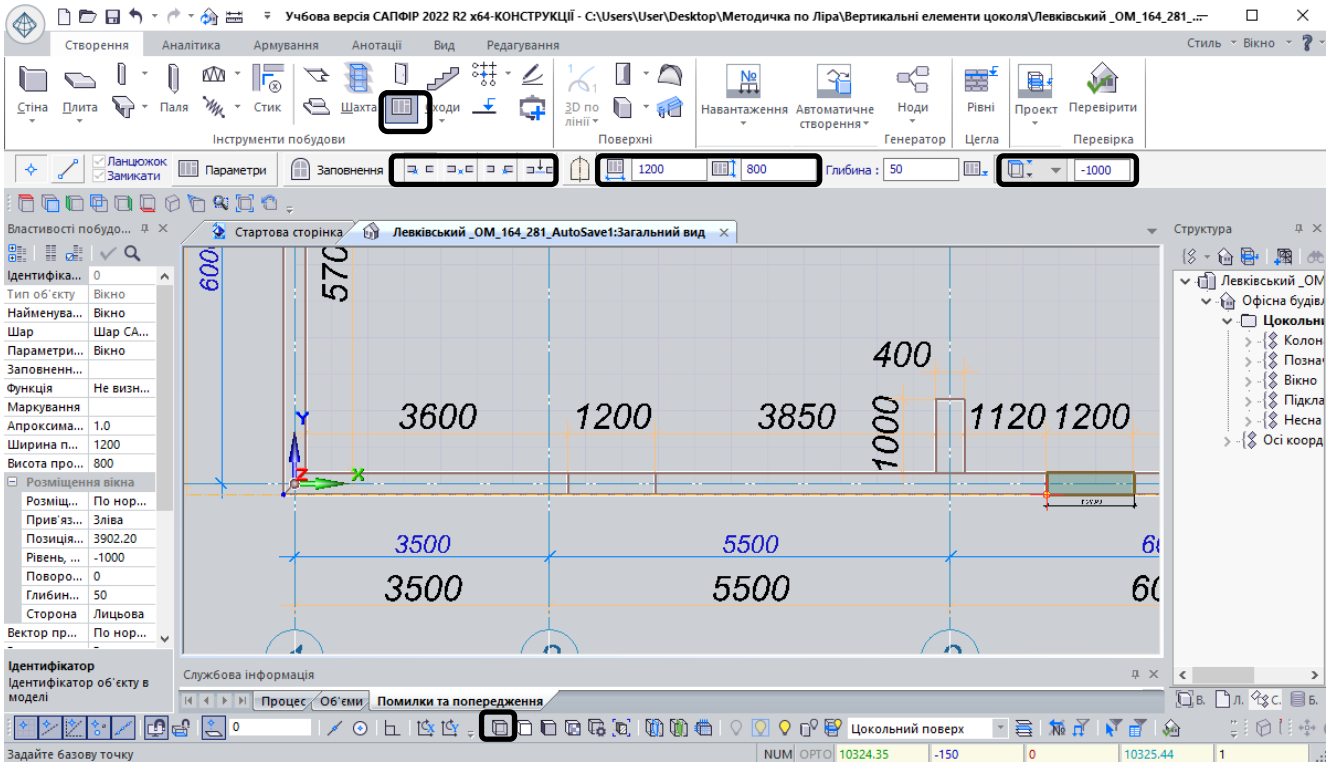


Рис.8.10 Влаштування віконних прорізів в несучих стінах

Крок 8. Додаємо двері та ворота. Висота дверей 2100 мм. Вкладка **Створення** – **Двері** (ширину дверей визначаємо згідно «підкладки»). Висоту воріт виконати на всю висоту поверху 3650 мм, оскільки над воротами необхідно задати балку (рис.8.11).

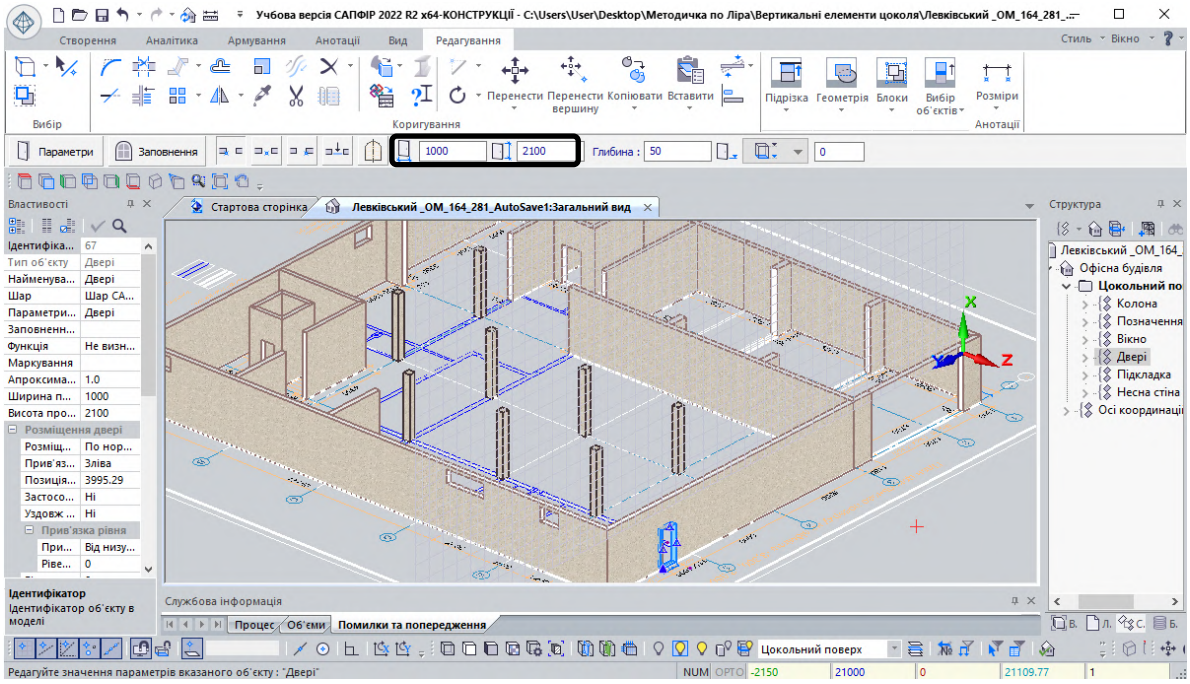


Рис.8.11 Призначення дверного прорізу

Крок 9. Додаємо фундаментну плиту товщиною 350 мм. Вкладка **Створити** – **Плита** – **Фундаментна плита.** Меню **Види** – **Вид зверху.** Обводимо на «підкладці» контур плити. Виділяємо плиту – **П.К.М.** на **Фундаментна плита** – **Виділити,** далі вікно **Властивості** – **Матеріал** бетон В30 (С25/30) (рис.8.12).

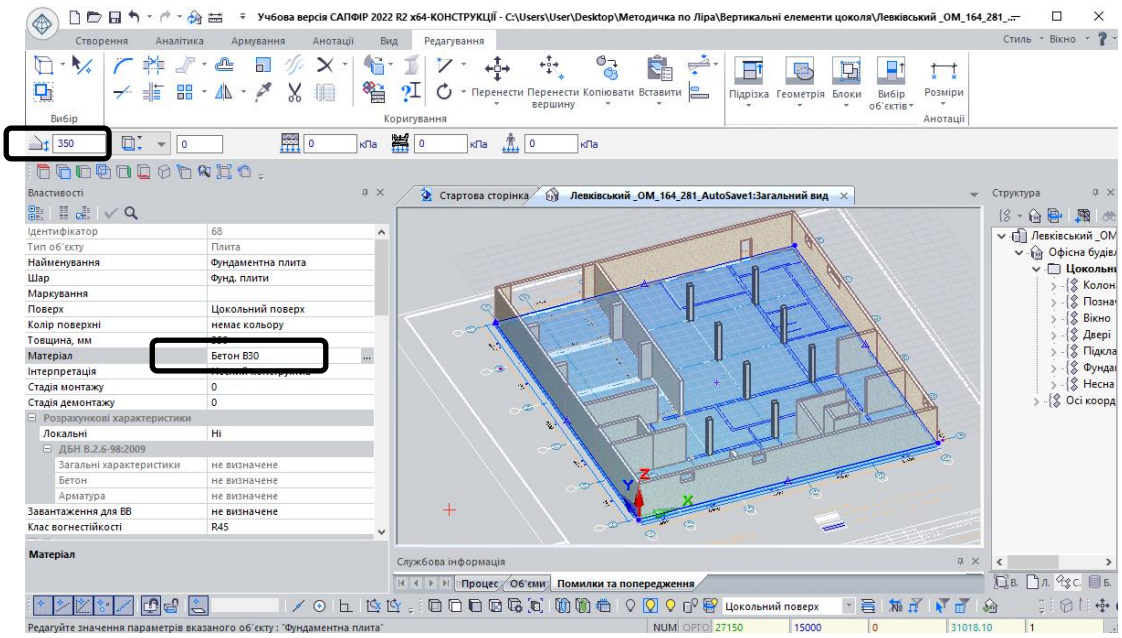


Рис.8.12 Створення фундаментної плити

Крок 10. Створюємо внутрішні перегородки товщиною 300, 200, 120, 100 мм , орієнтуючись на «підкладку», матеріал - керамічна цегла. **Вкладка Створення – Стіна – Перегородка.** У діалоговому вікні розкриваються властивості стіни (товщина, прив'язка, тип висотної прив'язки та ін.). У меню **Властивості** стіни – **Матеріал** – обираємо ***Керамічна цегла***. Встановлюємо відповідну товщину стіни та наносимо стіни на «підкладку». За допомогою функції **Кутова підрізка** **Панелі редагування** об'єднуються дві перпендикулярних частини стіни. Перегородки є тимчасовим елементом конструкцій, додаються в модель у вигляді лінійно-розподіленого навантаження з врахуванням дверних прорізів (рис.8.13).

Крок 11. Додаємо двері. Висота всіх дверей згідно завдання 2100 мм. Вкладка **Створення** – **Двері** (ширину дверей визначаємо згідно «підкладки»). Наносимо двері на план, використовуючи прив'язки.

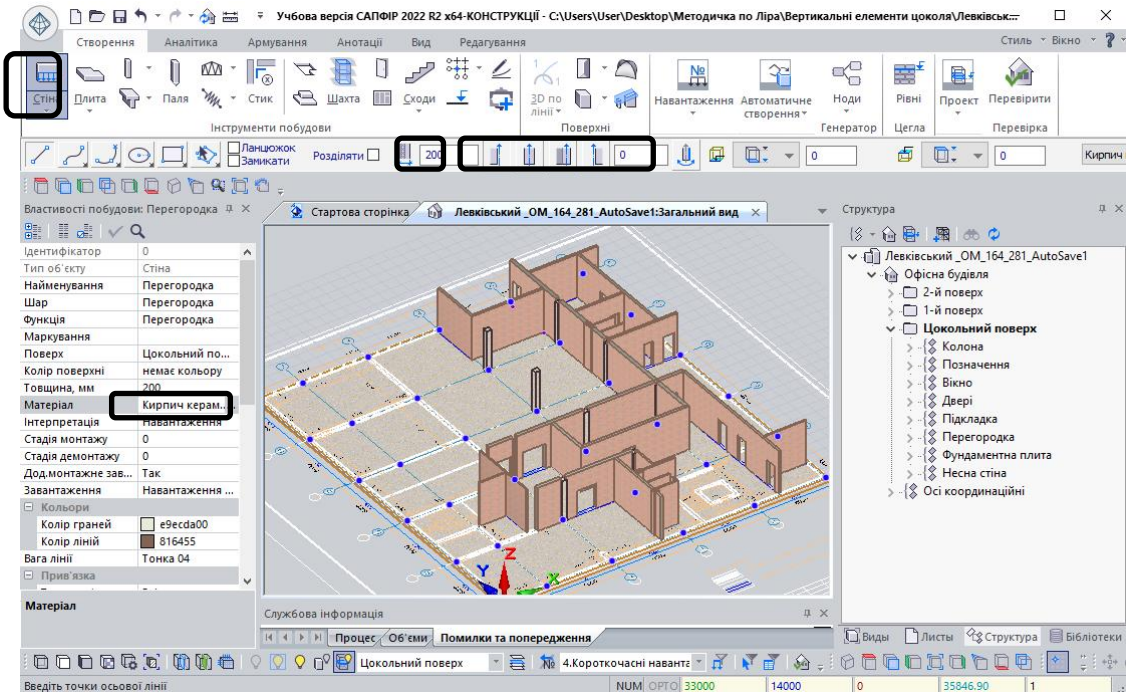


Рис.8.13 Створення внутрішніх перегородок

4.3 Моделювання архітектури «1-го поверху»

Крок 1. У структурі проекту додаємо *1-й поверх*. У вікні **Структура –** на гілці «*Офісна будівля*» **П.К.М. – Створити новий поверх.** В діалоговому вікні змінюємо **найменування поверху** на «1-й поверх» та **Висоту поверху** встановлюємо 4500 мм – **ОК** (рис.8.14).

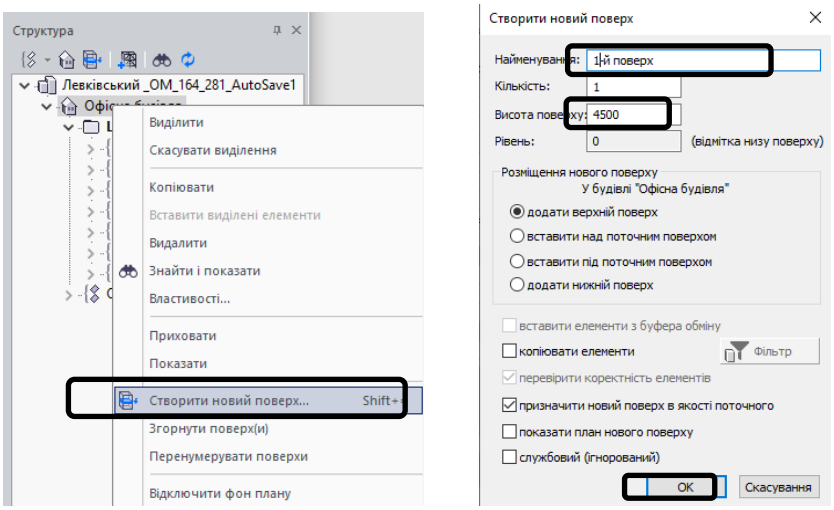


Рис.8.14 Діалогове вікно створення поверху.

Крок 2. У **Структура** проекту двічі **Л.К.М.** на позначенні поверху робимо необхідний поверх активним, він виділяється **жирним**. Додаємо «підкладку» 1-го поверху. Експорт «підкладки» в форматі *.dxf. **Меню програми** - **Імпорт моделі… - Креслення AutoCAD –** Вкладка редагування - **Перенести** (переміщуємо «підкладку» на початок системи координат, синхронізуємо з сіткою осей).

Крок 3. Для зручності приховуємо «підкладку» цокольного поверху. **Структура** – Цокольний поверх, «підкладка» - **П.К.М. – Виділити – Панель візуалізація - Приховати виділені.** Аналогічно можна приховувати окремі конструктивні елементи, поверхи. Для відновлення загального вигляду будівлі використовується Панель **Візуалізація - Показати всі елементи** (рис.8.15).

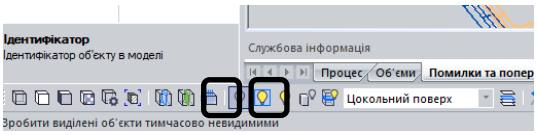


Рис.8.15 Діалогове вікно відображення елементів.

Крок 4. Створюємо колони 1-го поверху. Попередньо переконатись, що 1-й поверх активний. **Структура** – двічі **Л.К.М.** на 1-му поверсі - виділяється жирним. По завданню в центральній частині будівлі розташовані колони 400х400 та 300х300 мм, матеріал - бетон С25/30. **Вкладка Створення – Колона –** у діалоговому вікні розкриваються властивості колони (Переріз, прив'язка, тип висотної прив'язки та ін.). **Переріз** – **Параметри перерізу** (рис.4.16) (призначаємо колоні прямокутний переріз 400х400 мм та 300х300 мм відповідно) - **ОК**. Розмістити колони згідно «підкладки».

Крок 5. Створюємо пілони 1-го поверху. По завданню пілони 1200х300 мм (відношення 1/4), матеріал - бетон С25/30. Якщо відношення менше 1/4, то моделювання пілонів здійснюється стержневим скінченним елементом. Якщо одна сторона пілона більше ніж в 4 рази за іншу, то моделювання пілона виконується пластинчастими скінченними елементами.

Вкладка **Створення – Колона –** У діалоговому вікні розкриваються властивості колони (Переріз, прив'язка, тип висотної прив'язки та ін.).– **Переріз** – **Параметри перерізу** (призначаємо колоні прямокутний переріз 1200х300 мм) – Налаштовуємо потрібну прив'язку (**Позиційна прив'язка**) - **ОК**. Розмістити колони згідно «підкладки».

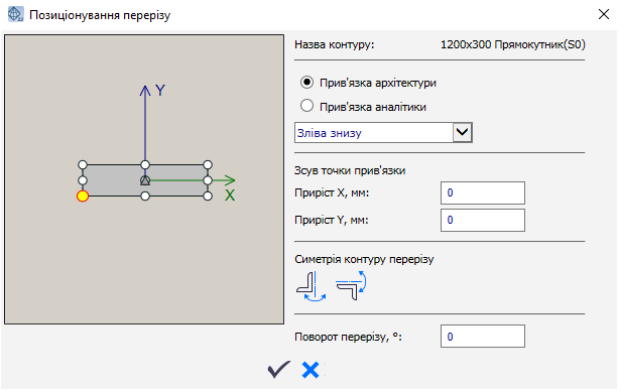


Рис.8.16 Діалогове вікно «Позиціонування перерізу»

Крок 6. Створюємо несучі стіни товщиною 300, 250 мм, орієнтуючись на «підкладку», матеріал - бетон С20/25. **Вкладка Створення – Несуча стіна –** У діалоговому вікні розкриваються властивості стіни (товщина, прив'язка, тип висотної прив'язки та ін.). Встановлюємо відповідну товщину стіни та наносимо на план орієнтуючись на «підкладку». За допомогою функції **Кутова підрізка** **Панелі редагування** об'єднуються дві перпендикулярних частини стіни.

Крок 7. Змінюємо матеріал стін на бетон С20/25. У дереві проекту (**Структура**) виділяємо всі **Несучі стіни – П.К.М. – Виділити,** далі вікно **Властивості – Матеріал** бетон В25.

Крок 8. Додаємо двері в ліфтовій шахті, висота дверей 2100 мм. Вкладка **Створення** – **Двері** (ширину дверей визначаємо згідно «підкладки»). За необхідності використовується прив'язка дверей до плану.

Крок 9. Додаємо плиту перекриття першого поверху товщиною 200 мм. Приховуємо Цокольний поверх: **Структура** – натискаємо **П.К.М.** на назві «Цокольний поверх» - **Приховати**. Вкладка **Створити** – **Плита, Види – Вид зверху.** Обводимо на «підкладці» контур плити, матеріал бетон С20/25. Плита має отвори в ліфтових шахтах та для комунікацій. Вкладка **Створення** – **Прорізь** обводимо на плиті контур відповідних отворів (рис.8.17).

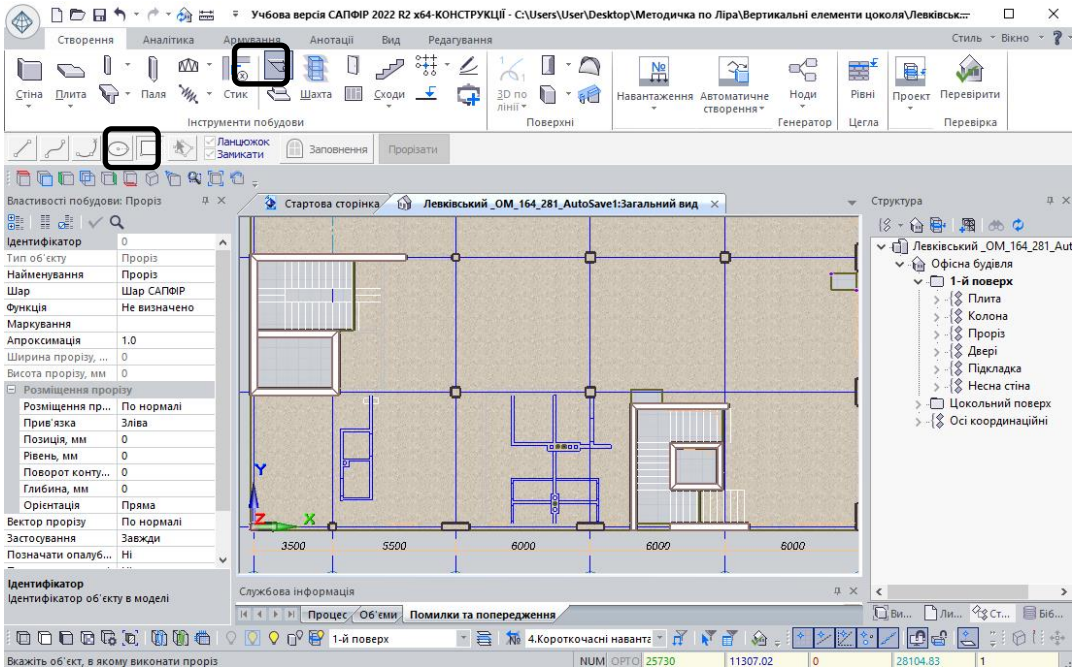


Рис.8.17 Додавання отворів в плиту 1-го поверху.

Крок 10. Додаємо балки перекриття в тілі плити. Балка 300x500h над воротами по осі «F» та 400x500h по осі «C», «D». Вкладка **Створити** – **Балка – Перезір…** створюємо відповідний переріз балки. Балки розташовані в тілі плити. Центр балки зміщений вниз на половину висоти

балки. **Прив'язка** – верхня точка балки. Наносимо балки на план. Матеріал - бетон С20/25 (рис.8.19).

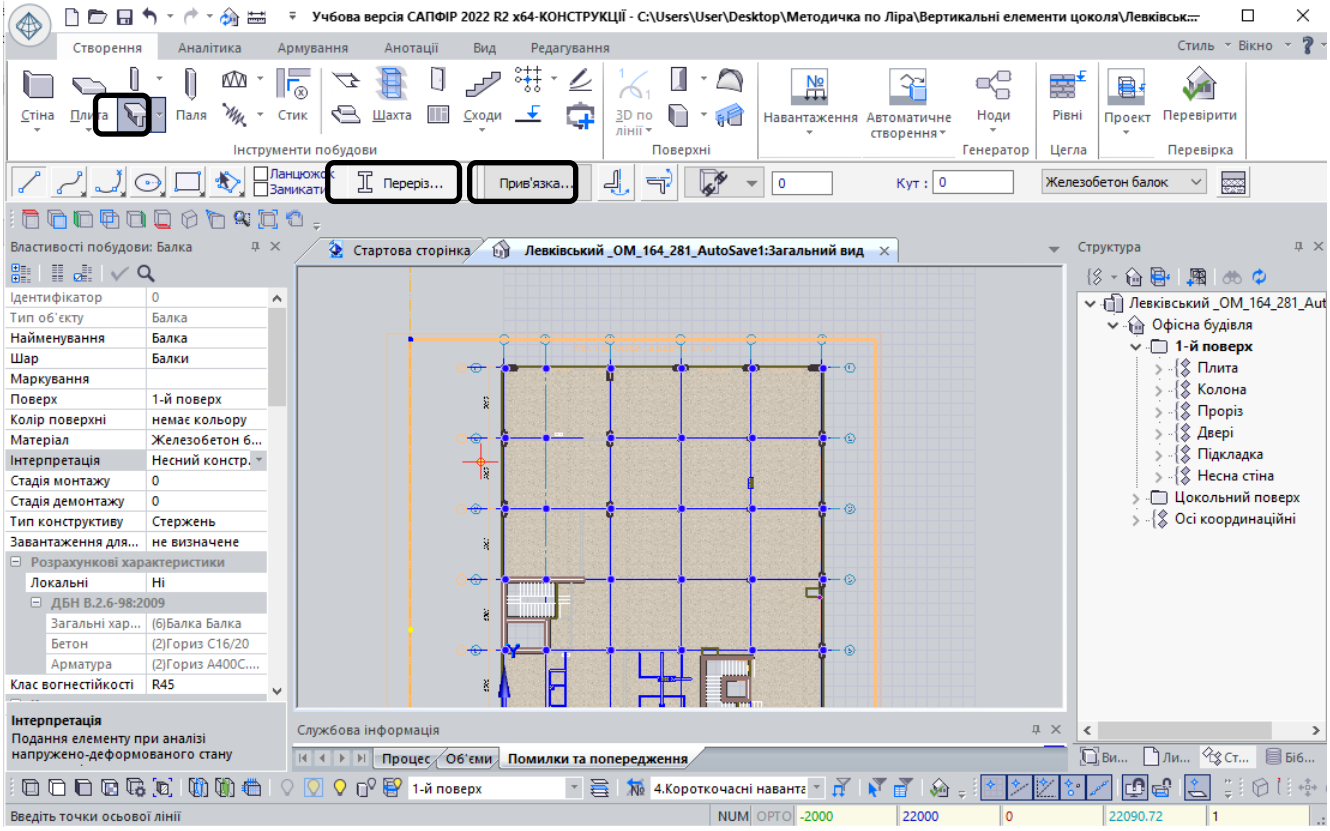


Рис.8.18 Моделювання балки

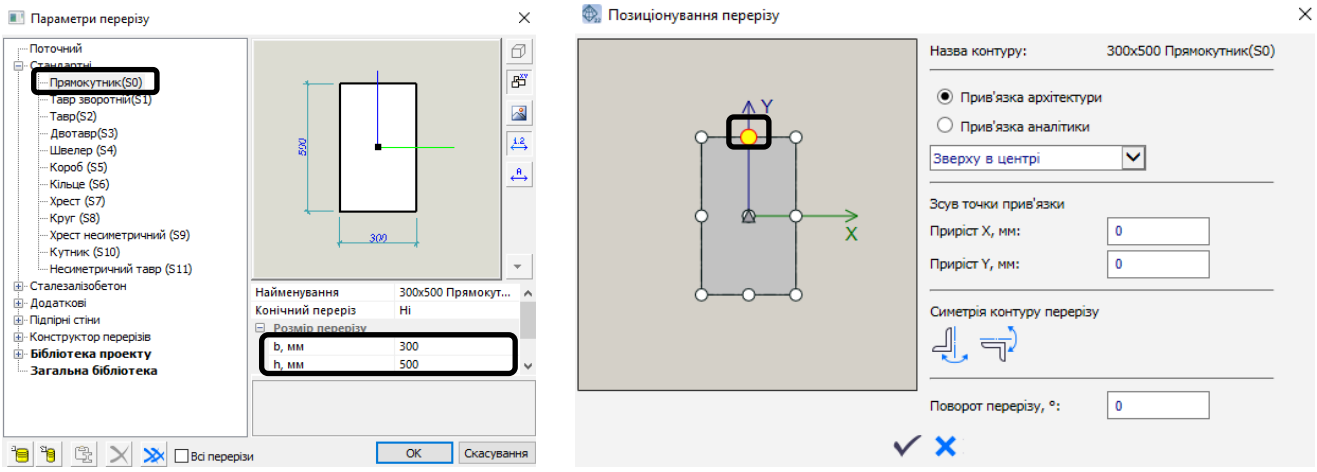


Рис.8.19 Налаштування перерізу та прив'язки балки

Крок 11. Створюємо перегородки товщиною 300, 200, 120, 100 мм орієнтуючись на «підкладку». Матеріал перегородок – керамічна цегла та газобетон Д400. У бібліотеці матеріалів відсутній Газобетон Д400. **Сервіс - Налаштування** – **Матеріал** – відкривається діалогове меню «Матеріали» - вкладка **Загальні** – натискаємо **П.К.М.** на **Прості – Додати матеріал** (рис.8.20) – виконуємо налаштування Газобетону Д400 згідно властивостей (Модуль Юнга - 2500МПа, коефіцієнт Пуассона - 0,2, об'ємна вага - 400 кг/м3), **Інтерпретація** – **навантаження**, в такому випадку стіни будуть сприйматись як навантаження. Алгоритм створення стін описано в **розділі 4.2 (крок 10, 11)**.

Назва матеріалу	Газобетон Д400
GUID матеріалу	47a5e7c5-3eb3-41e9-8e4e-1cdaa8dc113c
Ідентифікатор	33
Шифр	
Кольори поверхонь	
Лицьової	Белый
Тильної	Белый
Бік, торець	Серый 6
Штриховка перерізу	Серый 6
Штриховка поверхні	Серый 6
Службовий	ccccbfff
Пріоритет	0
Модуль Юнга, МПа	2500
Коеф. Пуассона	0.2
Об'ємна вага, кг/м³	400.0
Температурний коефіцієнт	0.000015
Інтерпретація	Навантаження
Категорія матеріалу	бетон

Рис.8.20 Створення нового матеріалу

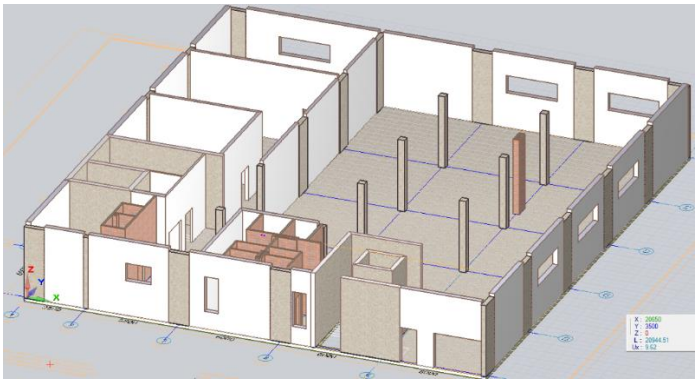


Рис.8.21 План 1-го поверху

Крок 12. Вікна 1-го поверху мають висотою 1050 мм, низ вікна розташований на відмітці 2010 мм. Між осями «А»/«3» та «А»/ «4» вікна висотою 2100 мм, при цьому низ вікна розташований на відмітці 1050 мм. Алгоритм створення стін описано в **розділі 4.2 (крок 7,8, 10, 11)**.

Крок 13. Архітектурні конструкції 2-го поверху та поверху покриття будівлі створюємо аналогічно (див.в **розділі 4.2 та 4.3)**.

5. АНАЛІТИЧНА МОДЕЛЬ БУДІВЛІ

Архітектурна модель перетворюється на аналітичну за допомогою підсистеми **САПФІР-КОНСТРУКЦІЇ**. Важливим етапом є перевірка коректності осей, узгодження пластин та стержнів, а також створення скінченно-елементної сітки.

Автоматично генеруються:

- ✓ стержневі елементи (колони, балки);
- ✓ пластинчасті елементи (плити перекриття, стіни);
- ✓ вузли та їх з'єднання
- ✓ присвоюються типи матеріалів (бетон, сталь, дерево), перерізи згідно бібліотеки конструкцій та нормативні вимоги.

5.1 Призначення навантаження, моделювання взаємодії між елементами

Після створення конструктивної моделі виконується її перевірка на:

- ✓ правильність топології;
- ✓ з'єднання вузлів;
- ✓ наявність усіх необхідних властивостей матеріалів та перерізів;
- ✓ відсутність дублювань або помилок геометрії.

Крок 1. Іноді в архітектурній моделі колони не перетинають плиту перекриття, а тільки доведені до її поверхні (рис.5.1). У такому випадку необхідно виконати «дотягування» колони до плити перекриття. Виділяємо плиту перекриття та відповідну колону - вкладка **Редагування – Підрізка – Приєднання основи (або верх) стіни\колони до плити**  .

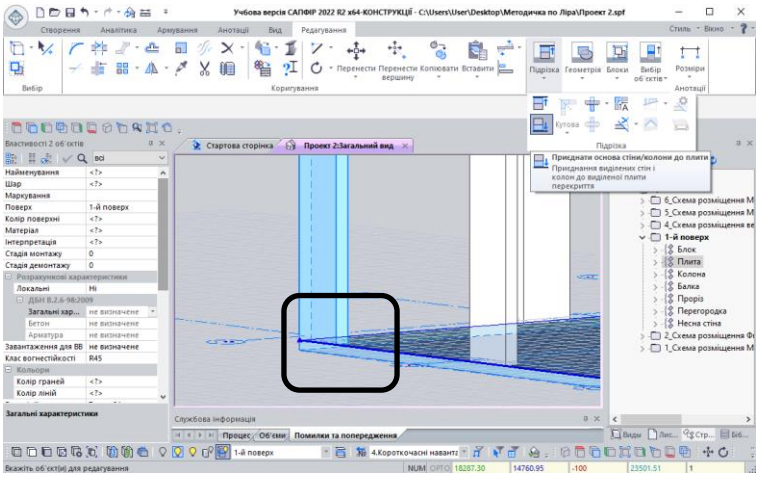


Рис.5.1 Влаштування перетину плити та колони

Крок 2. У нашому варіанті балка в плиті перекриття має зміщений центр. Під час перетворення в аналітичну модель центральна вісь балки не проходить через серединну площину пластини, скінченні елементи балки та плити не перетинаються і не зв'язані між собою. Виділяємо плиту перекриття і всі балки – **Властивості** – **Параметри аналітичної моделі** – **Налаштування перетинів** – **Осьові та об'єми**. Програма буде розуміти, що тіло балки та плити з'єднані між собою. Але дану функцію необхідно використовувати в одиничних випадках.

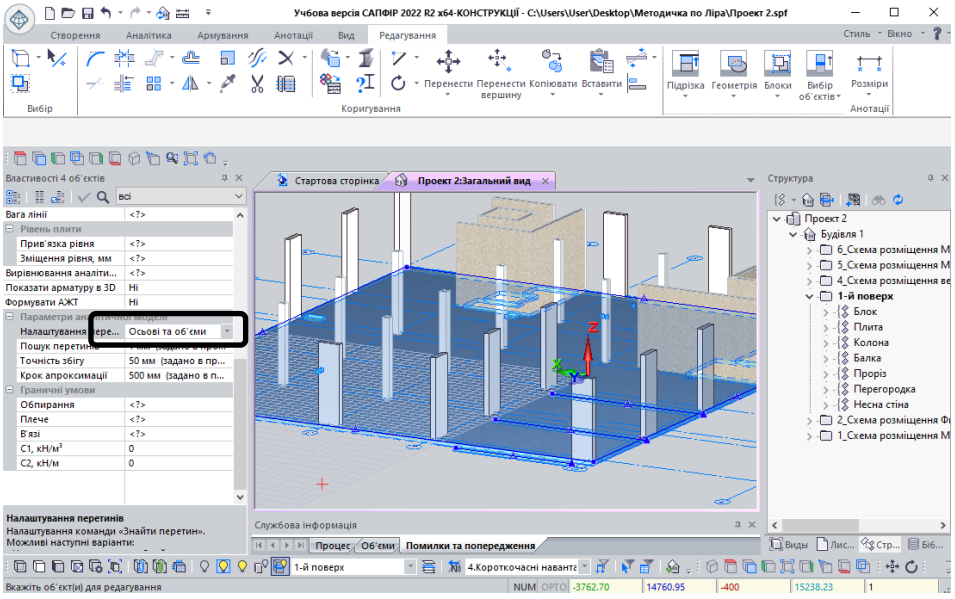


Рис.5.2 Влаштування перетину плити та балки

У місці примикання **колони до плити перекриття** важливо врахувати **взаємодію елементів (АЖТ — аналітична жорсткісна тілесність)**, адже в розрахунковій моделі плита передає свої зусилля лише через один вузол, тоді як у реальній конструкції навантаження розподіляється по площі контакту між плитою і колоною. Якщо в моделі не врахувати геометричну товщину колони, це призводить до локальної концентрації зусиль і спотворення напружено-деформованого стану. Для підвищення точності розрахунку в зоні стику використовують **жорсткі вставки або тілесні елементи (АЖТ)**, які моделюють реальну площу опирання плити на колону. Такий підхід дозволяє адекватно передати розподіл навантаження, забезпечити коректну роботу вузла й уникнути завищення напружень у плиті.

Крок 3. **Структура** проекту – виділяємо всі колони послідовно по поверхах – **Властивості** – виконуємо налаштування (див. Рис. 5.3):

- **Матеріал** - бетон В30 (всі колони виготовлені з бетону С25/30=В30);
- **Інтерпретація** - несучий конструктив (колона -це несучий елемент каркасу);

- **Капітель** та **Підколонник** (**тріангуляція приопорної зони**) – крок точок тріангуляції 200 мм, рядів точок тріангуляції 3, рядів з фіксованим кроком – 2 (створюємо згущення сітки скінченних елементів);
- **Дотягувати** - Верх і низ (стержневий елемент колони продовжується до серединної площини плити);
- **Налаштування перетинів** - Осьові нестрого (У САПФІР для колон використовують налаштування **«Осьові нестрого»**, щоб забезпечити правильне з'єднання з плитами та іншими елементами навіть при невеликих геометричних відхиленнях);
- **Формувати АЖТ** - Так

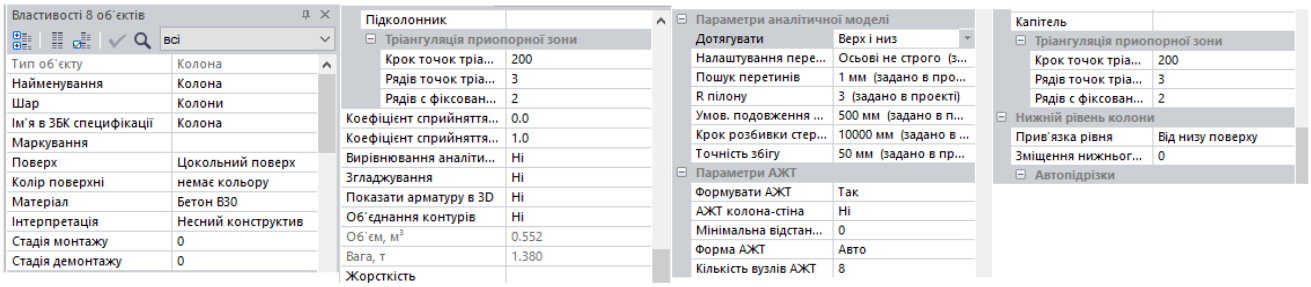


Рис.5.3 Налаштування властивостей колон

Формуємо навантаження на каркас будівлі. **Постійне** навантаження від власної ваги додається автоматично, враховуючи густину матеріалів (розрахункову чи нормативну).

Крок 4. Задаємо навантаження на перекриття (постійне 1,8 кПа та тривале 4,8 кПа), **Структура** проекту – виділяємо плити перекриття та призначаємо відповідні навантаження (рис.5.4).

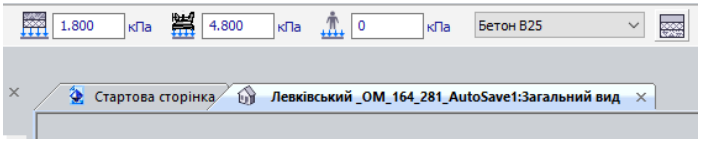


Рис.5.4 Призначення навантаження на перекриття

Крок 5. Задаємо навантаження на плиту покриття (постійне 3 кПа та тривале 0,84 кПа, короткочасне снігове навантаження 1.6 кПа), **Структура** проекту – виділяємо плити покриття та призначаємо відповідні навантаження (рис.5.5).

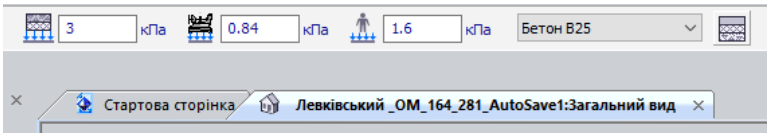


Рис.5.5 Призначення навантаження на покриття

Крок 6. У **САПФІР** вітрове навантаження створюють через команду **«Навантаження → Вітрове»**, де задають параметри вітрового району за ДБН, висоту будівлі, напрям дії вітру та коефіцієнти форми, після чого програма автоматично генерує тиск вітру на поверхні конструкції. Вітер прикладається вздовж осі X та вздовж осі У (рис.5.6, 5.7).

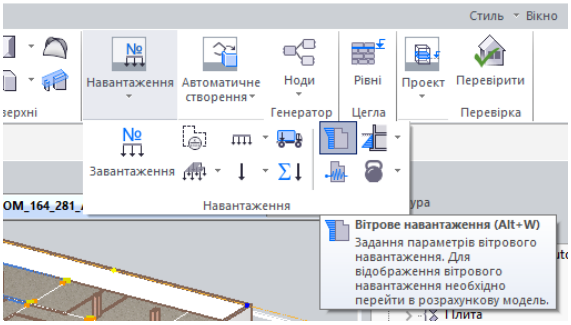


Рис.5.6 Призначення вітрового навантаження

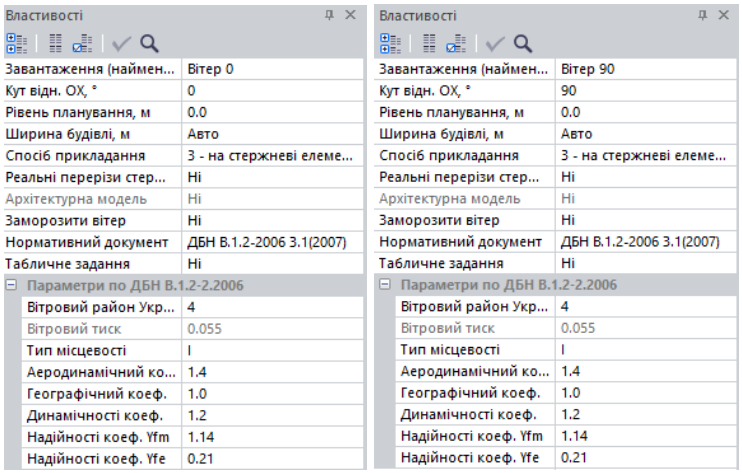


Рис.5.7 Налаштування властивостей вітрового навантаження.

5.2 Перевірка та налаштування Аналітичної моделі

Крок 1. Вкладка **Створення - Перевірити**  **- Перевірка.** Виявлені помилки. **Автокорекція** - у вікні **Вибір корекції –** виділяємо по черзі конструктивні елементи та виправляємо помилки, зазначені у таблиці (рис.5.8).

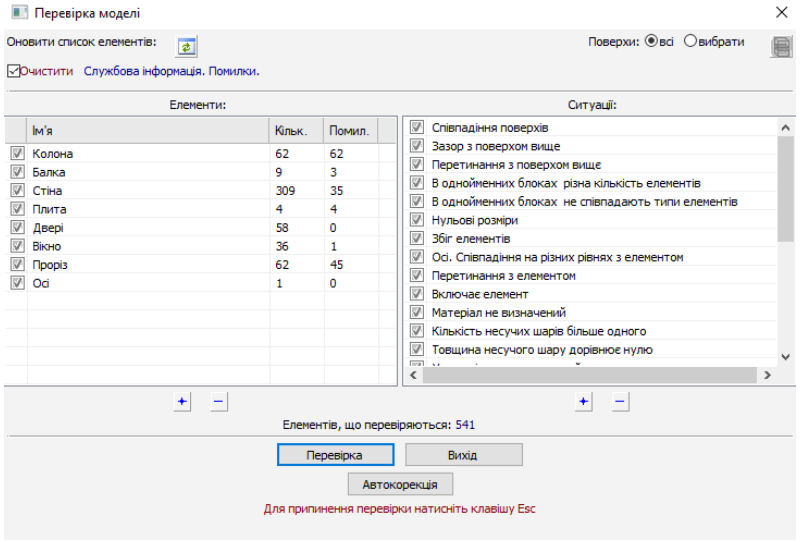


Рис.5.8 Перевірка моделі

Переходимо до перевірки правильності побудови аналітичної моделі. Вкладка **Аналітика** – **Розрахункова модель** – **Перегенерація розрахункової моделі –** встановлюємо «прапорець» **дотягувати двічі** та **перетин – ОК. Аналітика** – **Сіть – Створити тріангуляційну сіть** (рис.5.9).

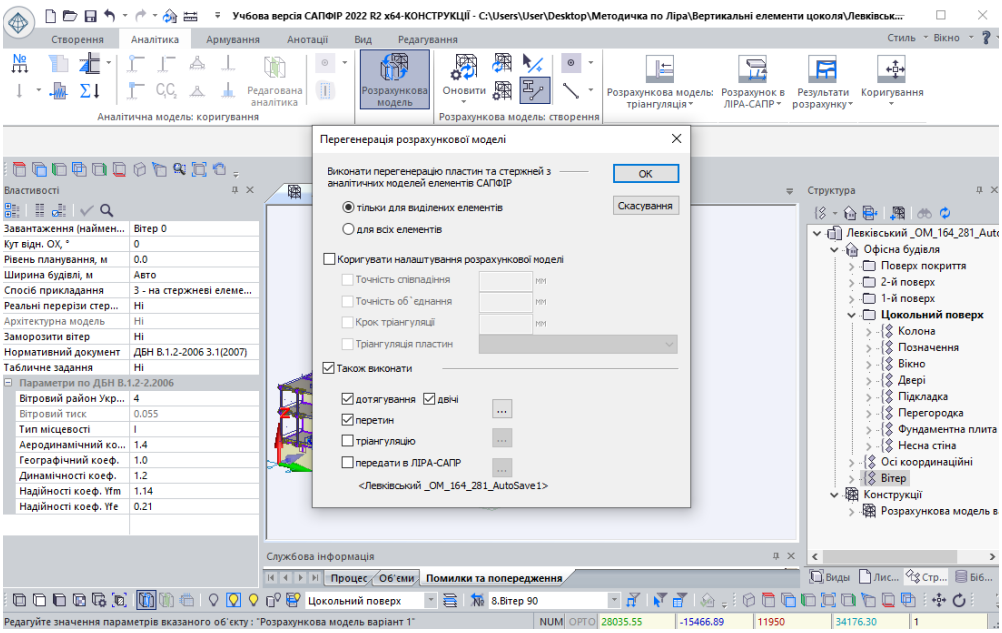


Рис.5.9 Налаштування властивостей побудови аналітичної моделі.

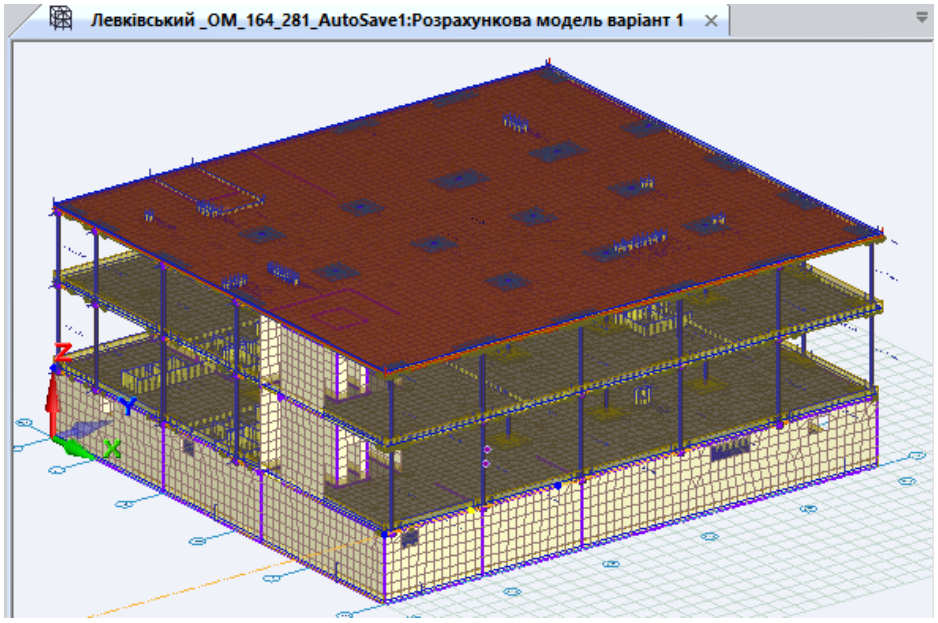


Рис.5.10 Аналітична модель будівлі

Крок 2. Виконуємо візуальну перевірку перетинів основних конструктивних елементів. У Аналітичній моделі ці місця виділені синім кольором (рис.5.12). Попередньо приховуємо візуалізацію навантаження. Вкладка **Вид** – **Шари моделювання** – відключаємо візуалізацію навантаження (рис.5.11).

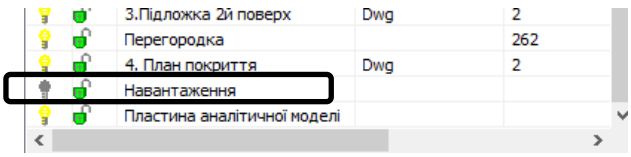


Рис.5.11 Відключаємо візуалізацію навантаження

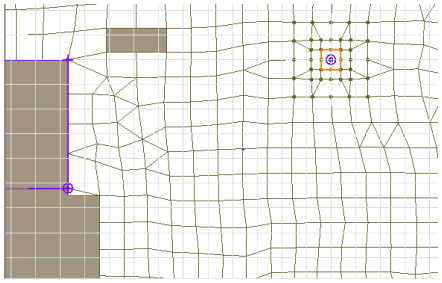


Рис.5.12 Візуалізація перетинів конструктивних елементів. Плита перекриття – стіна, плита перекриття – колона. Показано АЖТ колона-плита.

Якщо всі конструктивні елементи пов’язані вузлами між собою переходимо до розрахунку в **ПК ЛІРА-САПР.**

Крок 3. Аналітика – **Відкрити –** Запуск ВІЗОР-САПР для статичного і динамічного розрахунку і підбору арматури. Після цього відкривається **ПК ЛІРА-САПР** з аналітичною моделлю будівлі (рис.5.13). Зберігаємо проект в окремому файлі.

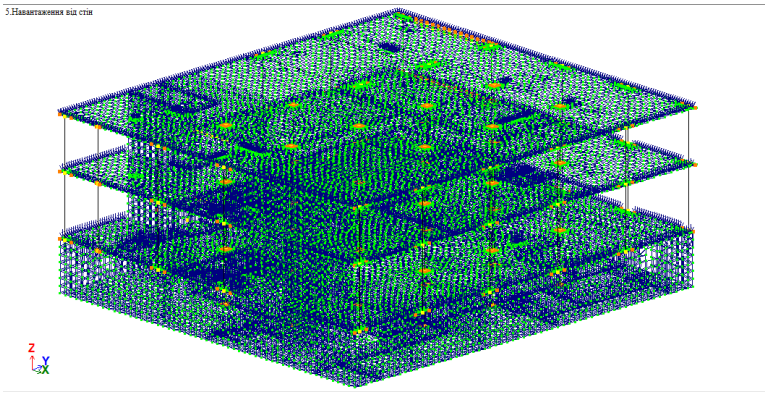


Рис.5.13 Аналітична модель будівлі в **ПК ЛІРА-САПР.**

Після створення архітектурно-конструктивної моделі в середовищі **САПФІР** та передачі її до розрахункової системи **ЛІРА-САПР**, користувач отримує основу просторової розрахункової схеми. У моделі автоматично формуються геометричні елементи (вузли, стержні, плити), матеріали, навантаження та зв’язки. Проте для коректного проведення розрахунку необхідне додаткове налаштування й уточнення параметрів у середовищі **ЛІРА-САПР**.

Програмний комплекс **LIRA-FEM** реалізує класичний **метод скінченних елементів (МСЕ)**, який полягає у дискретизації конструкції на окремі елементи -балки, плити, оболонки або об’ємні тіла, з’єднані у вузлах. Кожен елемент характеризується власними геометричними, жорсткісними та матеріальними параметрами.

Основна ідея МСЕ полягає у тому, що замість розв’язання складних рівнянь для всієї конструкції одразу, задача розбивається на множину локальних рівнянь для кожного елемента, які потім об’єднуються у **глобальну систему рівнянь рівноваги.**

Метод дозволяє визначати:

- напружено-деформований стан конструкцій;
- переміщення, зусилля та реакції в опорах;
- зони концентрації напружень та можливі місця руйнування.

Завдяки універсальності та високій точності МСЕ став основним методом у сучасних інженерних системах розрахунку конструкцій, зокрема у **LIRA-FEM**.

У складі BIM-технології архітектурна модель, створена у **САПФІР**, містить геометричну, матеріальну та інформаційну складову про кожен елемент будівлі. Проте для інженерного розрахунку необхідно сформувати **аналітичну модель**, яка спрощує геометрію до осей і поверхонь елементів, але зберігає всі фізико-механічні властивості.

Під час експорту даних із **САПФІР** до **LIRA-FEM** відбувається:

- автоматичне створення скінченно-елементної сітки;
- перенесення параметрів матеріалів (модуль пружності, густина, клас бетону, тип арматури);
- формування граничних умов (защемлення, шарніри, опори);
- узгодження координат і систем навантажень.

Таким чином забезпечується **інформаційна сумісність** між архітектурним моделюванням і розрахунковим аналізом.

6. ВИСНОВКИ

Інженерне проектування сучасних будівель неможливе без створення точної розрахункової моделі, яка відображає конструктивні особливості об'єкта, властивості матеріалів і дію зовнішніх навантажень. У навчальному процесі ця задача є надзвичайно важливою, оскільки дає студентам змогу поєднати знання з будівельної механіки, опору матеріалів та комп'ютерного моделювання.

Кейс орієнтований на створення **інформаційної моделі багатоповерхової офісної будівлі** у середовищі **САПФІР** з подальшим перенесенням її у **LIRA-FEM** для аналітичного розрахунку. Завдання імітує реальний процес роботи проектувальника, де необхідно врахувати архітектурну структуру, матеріали, навантаження та граничні умови, що впливають на поведінку конструкцій.

У подальшому Аналітична модель допрацьовується в ПК ЛІРА-САПР та виконується розрахунок – це дозволяє студентам не лише перевірити правильність побудови моделі, а й оцінити поведінку будівлі під дією реальних навантажень.

Результати аналізу демонструють:

- вплив типу опор і жорсткості елементів на розподіл напружень;
- важливість коректного задання матеріальних характеристик;
- необхідність контролю топології аналітичної моделі.

Аналіз ситуації у середовищі **LIRA-FEM** є завершальним етапом кейсу, який поєднує теоретичні знання студентів із практичним цифровим розрахунком.

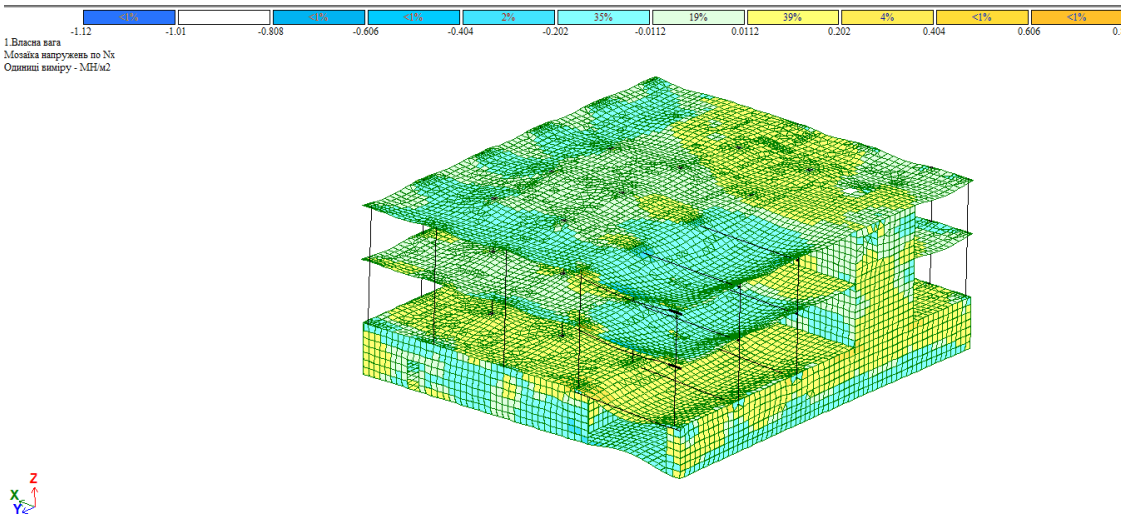


Рис. 5.14 – Приклад ізополів нормальних напружень

7. ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ

1. У чому полягає різниця між архітектурною та аналітичною моделями будівлі?
2. Чому під час переходу із САПФІР до LIRA-FEM необхідно перевіряти топологію з'єднань елементів?
3. Які переваги забезпечує використання BIM-підходу порівняно з традиційним 2D-проектуванням?
4. Як метод скінченних елементів дозволяє оцінювати напружено-деформований стан конструкцій?
5. Які етапи побудови аналітичної моделі вважаються найбільш критичними для коректності розрахунку?
6. Які помилки можуть виникати при формуванні сітки скінченних елементів, і як їх уникнути?
7. Які параметри найчастіше коригуються після попереднього розрахунку в LIRA-FEM?
8. Чи може BIM-модель замінити інженера-конструктора, чи лише допомагає підвищити ефективність його роботи?

9. Яким чином цифрове проектування змінює роль інженера у команді?
10. Як інтеграція архітектурного та розрахункового моделювання впливає на якість проєктів і відповідальність фахівців?
11. Які навички будуть найбільш затребуваними в інженерів, що працюють із BIM?
12. Як отримані у цьому кейсі знання можуть бути використані при виконанні дипломного або науково-дослідного проєкту?

8. СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Під ред., докт. техн. наук, проф. Бойченко В.В., САПФІР 2022. Навчальний посібник. Медведенко Д.В.,Палієнко О.І., Шут О.О. Під ред., докт. техн. наук, проф. М.С. Барабаш.– Видавництво: LIRALAND Group, 2022.– 137 с

2. Методичний посібник користувача програмного комплексу LIRA-SAPR 2022. - Київ: LIRA Soft, 2022. - 456 с. *(Офіційне керівництво користувача, яке містить детальний опис інтерфейсу, принципів побудови моделей, розрахунків і аналізу результатів у LIRA-FEM.)*

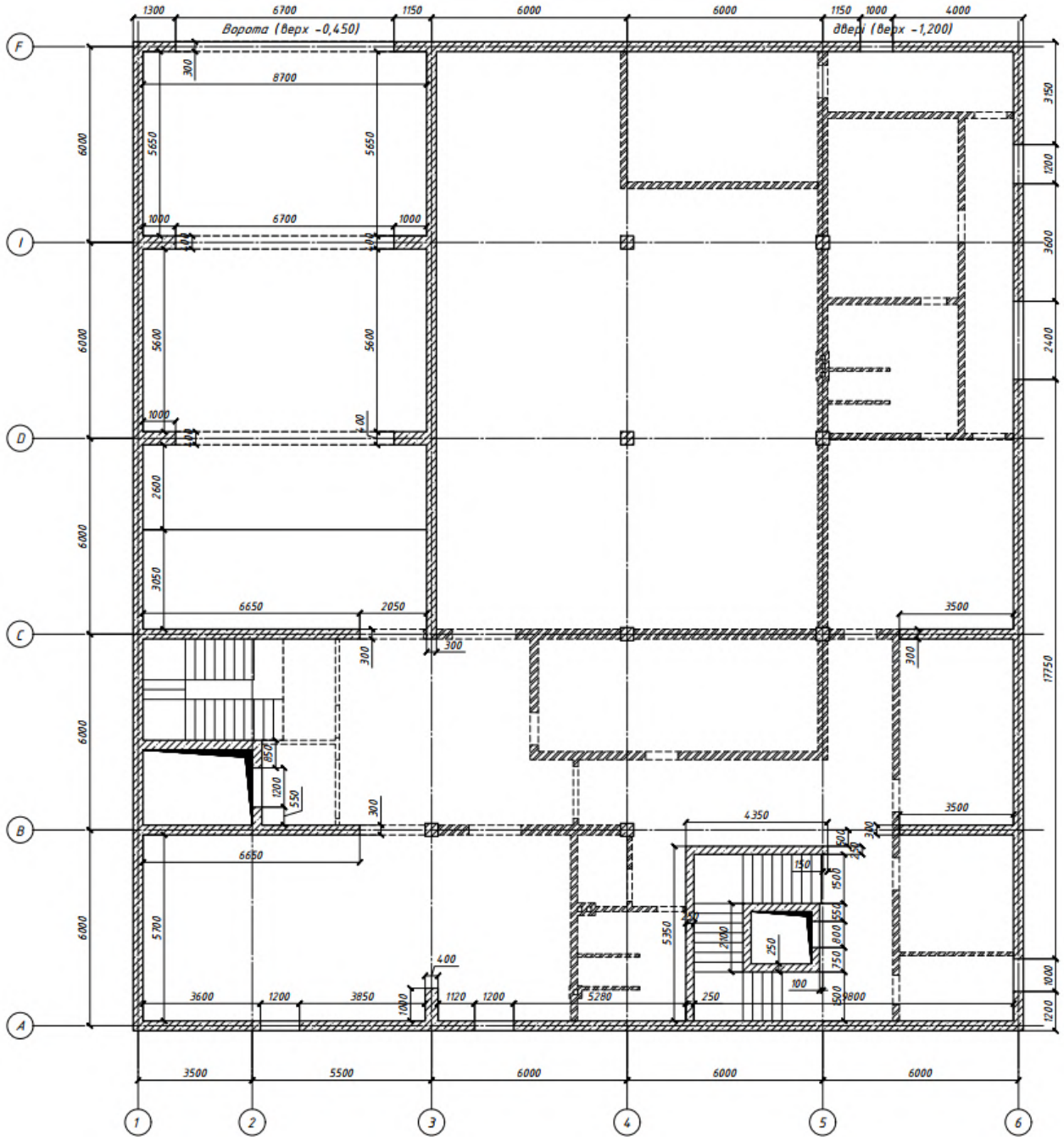
3. LIRA-SAPR. Інтеграція з САПФІР: Керівництво користувача. - Київ: LIRA Soft, 2021. - 210 с. *(Методичні рекомендації щодо двостороннього обміну моделями між САПФІР і LIRA-FEM, створення BIM-проєктів та організації спільного цифрового середовища.)*

Електронні ресурси

1. https://www.liraland.ua/

Додаток А
Плани поверхів будівлі

План цокольного поверху на відмітці -3,300,

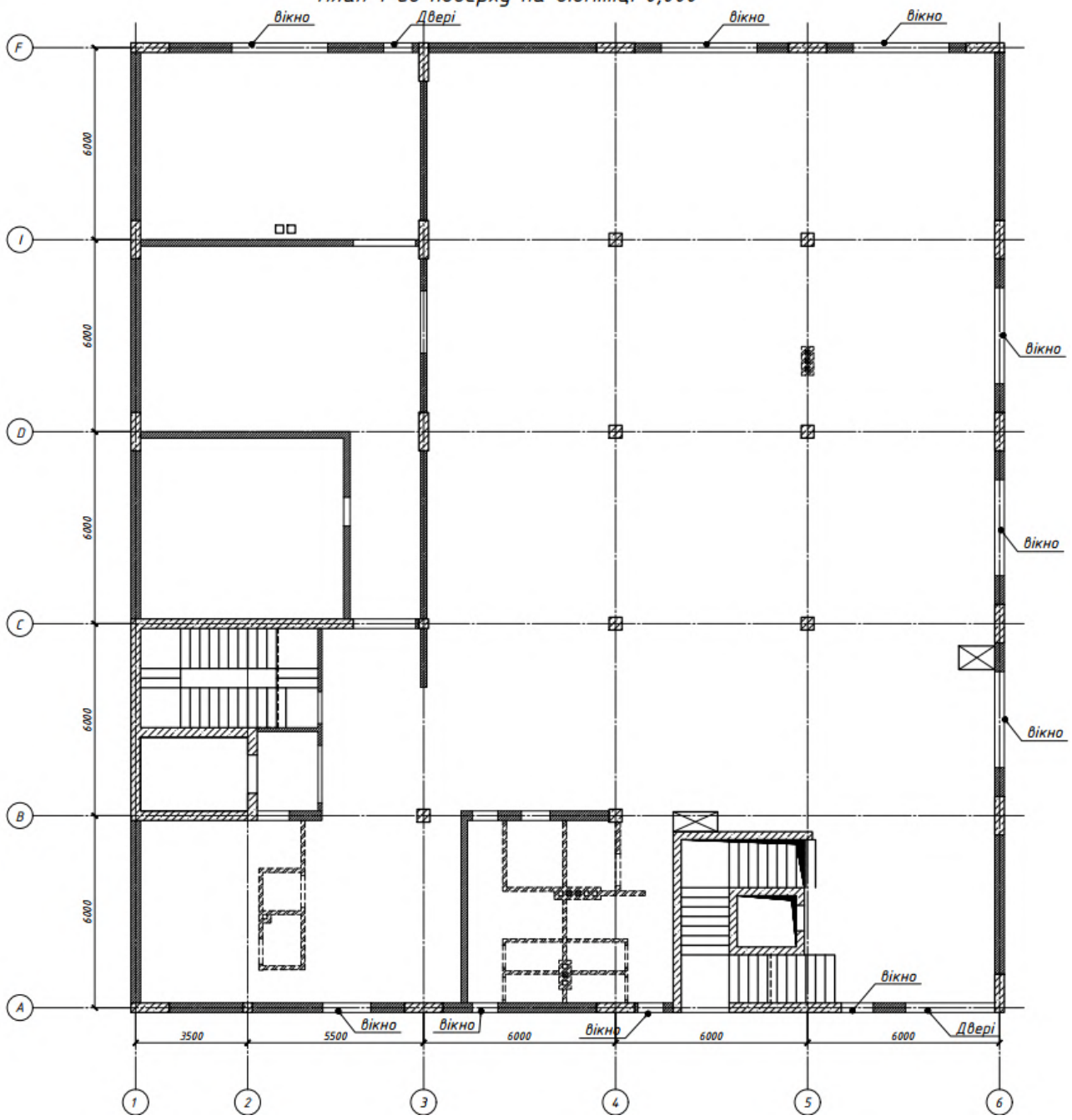


Примітка:
1. *Всі вікна висотою 800 мм, верх вікон на відмітці -0,300;*
2. *Всі двері висотою 2100 мм;*
3. *Тимчасове навантаження на перекриття 400 кг/м²;*
4. *Вага складу перекриття (плитка 20 мм, стяжка 80 мм);*
5. *Всі колони перерізом 400х400 мм.*

Умовні позначення:

- *монолітні вертикальні елементи стіни, колони;*
- *внутрішні перегородки, керамічна цегла;*

План 1-го поверху на відмітці 0,000

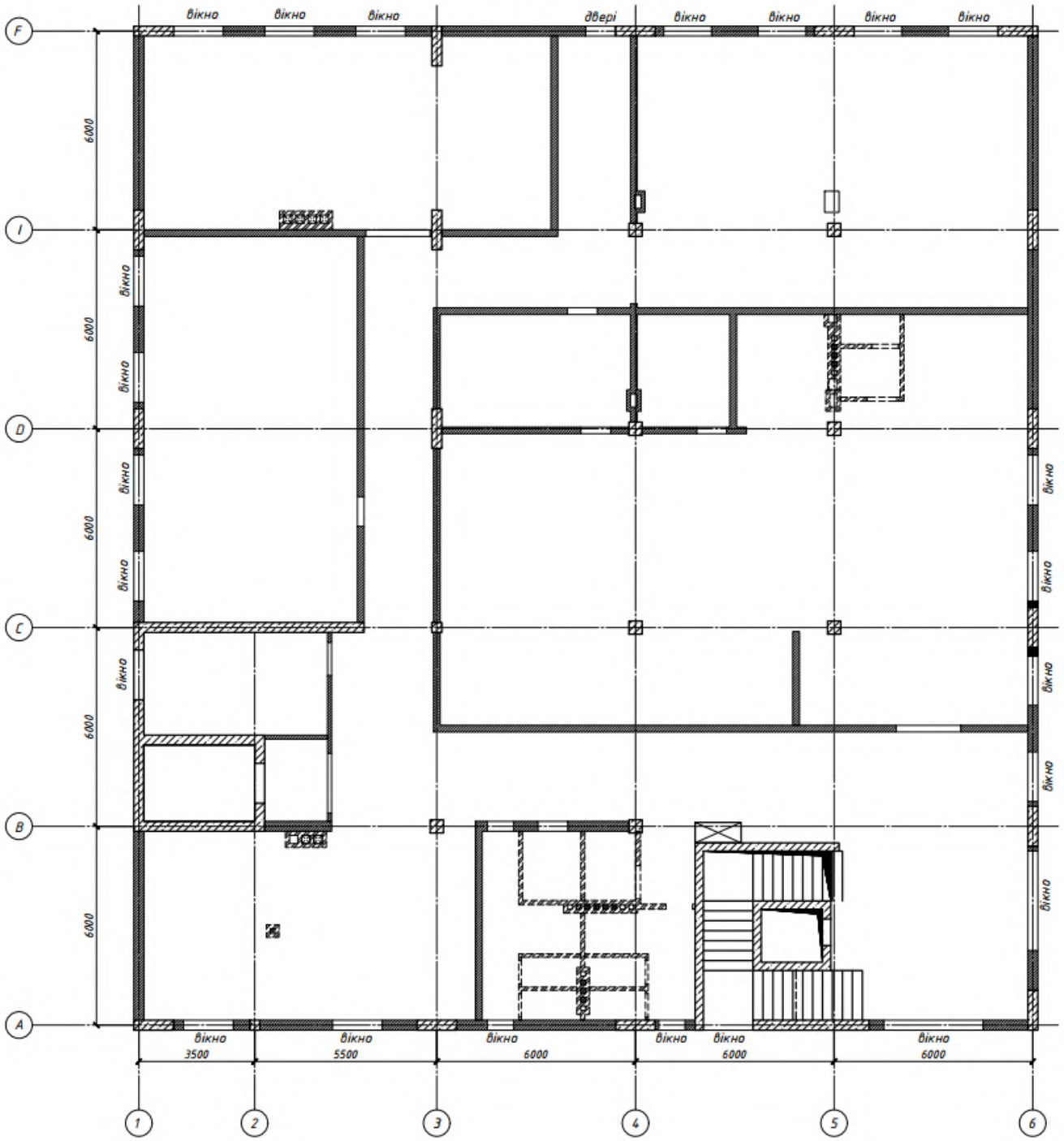


Умовні позначення:

- монолітні вертикальні елементи стіни, колони;
- внутрішні перегородки, керамічна цегла;
- перегородки, зовнішні стіни газобетон 200 мм та 300 мм;
- позначення отвору в перекритті між цокольним та 1-м поверхом.

Примітка:
1. Всі вікна висотою 1050 мм, верх вікон на відмітці 3,150;
2. Всі двері висотою 2100 мм;
3. Тимчасове навантаження на перекриття 400 кг/м^2;
4. Вага складу перекриття (плитка 20 мм, стяжка 80 мм);
5. Колони перерізом 400х400 мм та 300х300 мм.

План 2-го поверху на відмітці +4,500

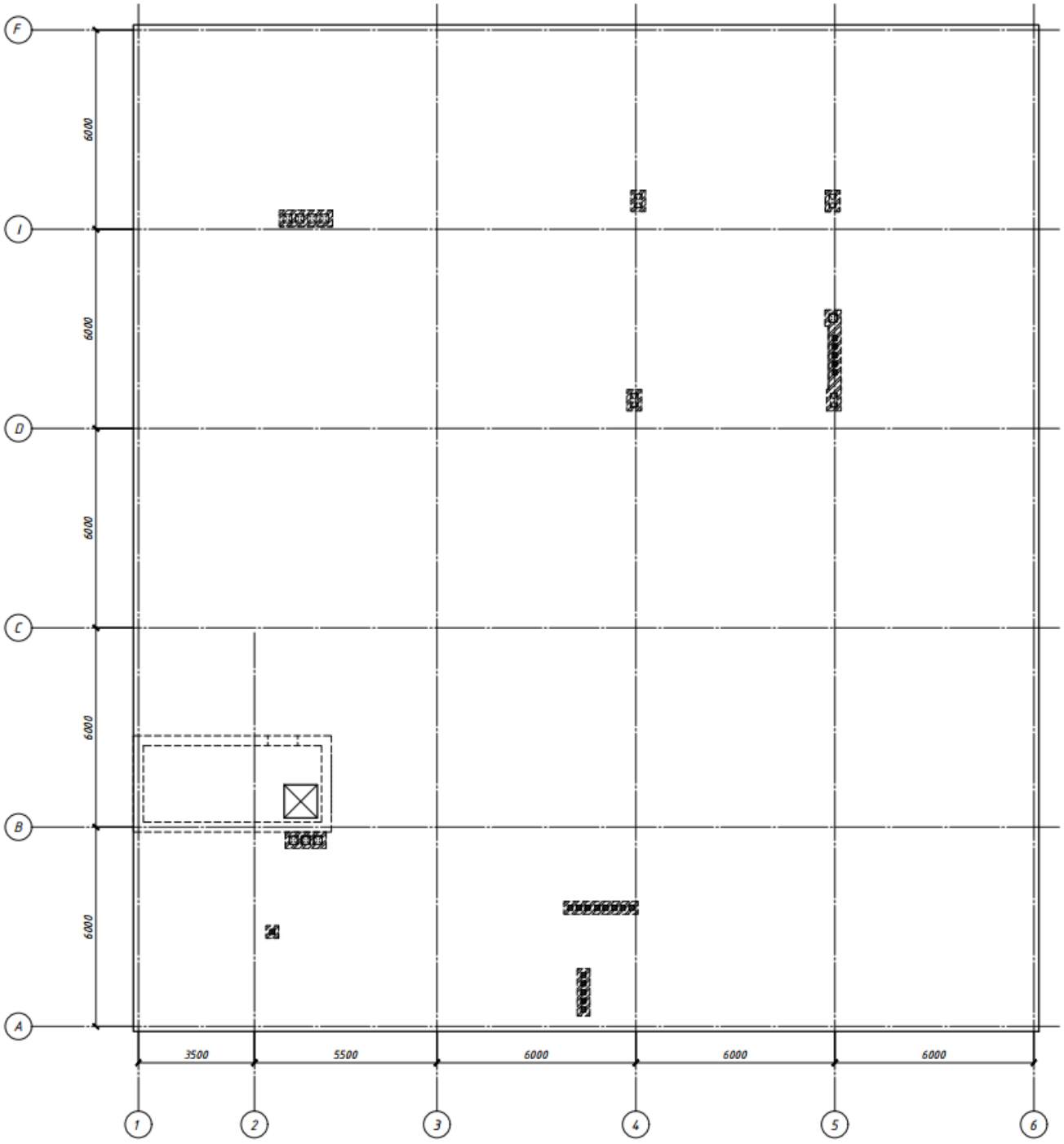


Умовні позначення:

- монолітні вертикальні елементи стіни, колони;
- внутрішні перегородки, керамічна цегла;
- перегородки, зовнішні стіни газобетон 200 мм та 300 мм;
- позначення отвору в перекритті між 1-м та 2-м поверхом.

Примітка:
1. Всі вікна висотою 2100 мм, верх вікон на відмітці +7,650;
2. Всі двері висотою 2100 мм;
3. Тимчасове навантаження на перекриття 400 кг/м^2;
4. Вага складу перекриття (плитка 20 мм, стяжка 80 мм);
5. Колони перерізом 400х400 мм та 300х300 мм.

План покриття на відмітці +8,300



9. МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ ФУНДАМЕНТІВ З ҐРУНТОВИМ СЕРЕДОВИЩЕМ З ВИКОРИСТАННЯМ ПК PLAXIS 3D

В.В. Ковба
В.А. Загільський
В.Л. Сєдін

Вступ

Впровадження ПК Plaxis 3D у навчальний процес дозволяє студентам здобути практичні навички роботи з передовими цифровими технологіями, що відповідають вимогам сучасної інженерної практики. Plaxis 3D – це спеціалізований програмний комплекс, розроблений для тривимірного чисельного моделювання ґрунтових масивів, фундаментів, підземних, гідротехнічних та транспортних споруд із використанням методу скінченних елементів [20, 21]. Він широко застосовується у практиці геотехнічного проєктування та наукових дослідженнях для аналізу напружено-деформованого стану основ і споруд [18], прогнозування осідань, стійкості укосів, роботи пальових фундаментів [24] та взаємодії конструкцій із ґрунтовим середовищем.

Програмний комплекс Plaxis 3D є одним із провідних у світі інструментів для тривимірного чисельного моделювання ґрунтових масивів, фундаментів, підземних, гідротехнічних і транспортних споруд із використанням методу скінченних елементів.

Завдання курсу полягає не просто у технічному опануванні Plaxis 3D, а у формуванні здатності критично мислити та приймати інженерні рішення на основі результатів чисельного аналізу. Майбутні фахівці мають навчитися виконувати розрахунки стійкості укосів, осідань та переміщень фундаментів, взаємодії пальових систем із ґрунтом, роботи підпірних стін і глибоких котлованів, а також складних підземних споруд – тунелів і шахтних виробок.

Використання Plaxis 3D забезпечує можливість досліджувати напружено-деформований стан ґрунтової основи з урахуванням нелінійної поведінки матеріалу [17], пластичних деформацій, реологічних властивостей та взаємодії з конструктивними елементами. Таким чином, студенти отримують практичний досвід, максимально наближений до реальних умов, що дозволяє їм у подальшому ефективно працювати у проєктних та науково-дослідних організаціях.

Метою впровадження Plaxis 3D у підготовку майбутніх інженерів є не лише ознайомлення з інтерфейсом та інструментами програмного продукту, але й формування комплексних професійних компетентностей у сфері геотехнічного проєктування.

Завдання полягає у підготовці фахівців, здатних:

- створювати розрахункові схеми ґрунтових масивів і споруд у середовищі Plaxis 3D;
- моделювати складні ґрунтові умови та інженерні споруди у тривимірному середовищі;
- застосовувати сучасні чисельні методи для вирішення задач геотехніки;
- виконувати розрахунки з урахуванням національних норм (ДБН, ДСТУ) та європейських стандартів (Eurocode 7);
- інтегрувати результати моделювання у практику проєктування та експлуатації будівель і споруд;
- критично оцінювати отримані результати, співставляючи їх із ручними методами та спрощеними розрахунковими схемами;
- виконувати розрахунки стійкості укосів, осідань фундаментів, взаємодії пальових систем із основою, роботи підпірних стін, котлованів та тунелів;
- аналізувати результати чисельного моделювання, інтерпретувати діаграми напружень, деформацій і переміщень;

- співставляти результати чисельних розрахунків із ручними методами та результатами інших програмних комплексів.

Після опанування курсу студент повинен знати:

- теоретичні основи методу скінченних елементів у геотехнічних розрахунках;
- підходи до моделювання ґрунтових умов та конструктивних елементів споруд у тривимірному середовищі;
- види моделей ґрунту (Mohr-Coulomb, Hardening Soil, Soft Soil, HS Small та ін.) та умови їх застосування;
- вимоги національних і європейських нормативних документів щодо геотехнічного проєктування.

Компетентності

У результаті вивчення курсу студент здобуде:

- **фахові компетентності** – здатність до інженерного аналізу складних геотехнічних систем, вміння інтегрувати результати чисельного моделювання у процес проєктування та експлуатації споруд;
- **дослідницькі компетентності** – здатність проводити аналіз чутливості моделей, обґрунтовувати вибір параметрів ґрунтів, критично оцінювати адекватність отриманих результатів;
- **нормативні компетентності** – здатність правильно застосовувати національні (ДБН, ДСТУ) та європейські (Eurocode 7) норми при виконанні геотехнічних розрахунків;
- **організаційні та цифрові компетентності** – готовність працювати з інженерними програмними комплексами, інтегрувати їх у BIM-середовище та командні проєкти.

1. Опис проблемної ситуації

У сучасному будівництві однією з найбільш складних задач є забезпечення надійної взаємодії системи "основа – фундамент – споруда". Неправильне оцінювання властивостей ґрунтів, недооцінка просторових ефектів або спрощений підхід до моделювання можуть призвести до надмірних осідань, тріщиноутворення в конструкціях або навіть аварійних ситуацій. Традиційні методи двовимірного аналізу не завжди дозволяють урахувати всі фактори, особливо за складних геологічних умов, у випадку багатоярусних котлованів, підземних споруд чи гідротехнічних об’єктів. У той же час у будівництві активно впроваджується BIM-підхід, де вимагається інтеграція геотехнічних даних у єдину цифрову модель, що поєднує архітектурні та конструктивні рішення.

Plaxis 3D є потужним інструментом для тривимірного чисельного моделювання ґрунтових масивів та споруд методом скінченних елементів. Він дозволяє детально відтворювати роботу системи "основа – фундамент – споруда", аналізувати осідання та крени, досліджувати стійкість котлованів, визначати напружено-деформований стан основи та несучу здатність фундаментів у різних інженерно-геологічних умовах. У середовищі BIM результати моделювання в Plaxis 3D можна інтегрувати в цифрові моделі будівель і споруд, сформовані в Revit, Tekla чи інших платформах, що сприяє узгодженості та комплексності проєктних рішень.

Головна проблема (яку потрібно вирішити) полягає у недостатній інтеграції результатів тривимірного геотехнічного моделювання системи "основа-фундамент-споруда" у BIM-середовище. Це призводить до відокремленого розгляду геотехнічних і конструктивних аспектів проєктування та знижує ефективність співпраці між різними учасниками проєктних команд. Необхідно:

- розробити підходи до побудови геотехнічних моделей в Plaxis 3D із урахуванням взаємодії основи, фундаменту та споруди;

- забезпечити інтеграцію отриманих результатів у BIM-системи для комплексного аналізу;
- сформувати у майбутніх інженерів навички використання даних тривимірного геотехнічного моделювання при прийнятті конструктивних та технологічних рішень;
- навчити студентів застосовувати стандарти Єврокодів і національних норм у поєднанні з BIM-технологіями для підвищення надійності та економічності проєктів.

2. Теоретичне підґрунтя

У процесі чисельного моделювання геотехнічних задач у ПК Plaxis одним із ключових етапів є вибір адекватної моделі ґрунту. Від цього залежить достовірність результатів розрахунків та можливість врахування реальної поведінки ґрунтової основи під дією навантажень. Різноманітність моделей [19] у Plaxis (Mohr-Coulomb, Hardening Soil, Soft Soil, HS Small та ін.) ускладнює вибір оптимальної для конкретних умов.

Найпоширенішою моделлю деформування ґрунтового середовища є *ідеальна пружно-пластична модель Кулона-Мора*, яка являє собою базову модель з фіксованою поверхнею текучості, яка повністю визначається параметрами моделі і не залежить від пластичного деформування. Для пружно-пластичної моделі Мора-Кулона необхідно всього чотири параметри які можуть бути визначені стандартними випробуваннями зразків ґрунту (характеристики міцності та деформування): модуль деформації (*E*); коефіцієнт Пуассона (*v*); питоме зчеплення (*c*); кут внутрішнього тертя (*φ*).

Ця модель описує співвідношення між напруженнями та деформаціями пружною та ідеально пластичною стадіями роботи масиву ґрунту, що показано кривою на рис. 1.1. Напруження прямопропорційне деформації, до поки не досягло граничних напружень, після чого крива повністю стає горизонтальною.

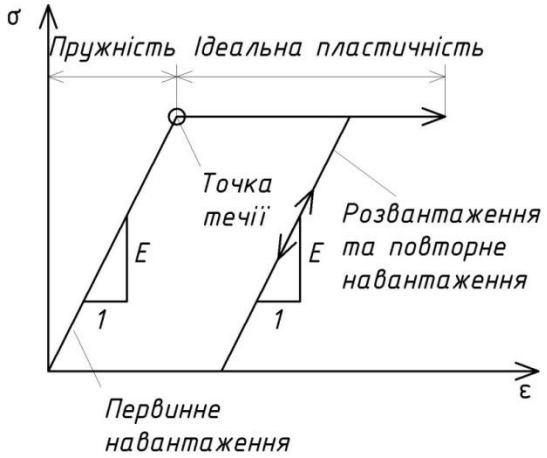


Рис. 1.1 Крива залежності напруження-деформація моделі Кулона-Мора

Критерій руйнування Кулона-Мора описує наступне рівняння

$$|f| = f(\sigma)$$

Простішим виглядом огинаючої руйнування Мора є пряма лінія, яка визначається з умови.

$$|\tau| = \sigma\,(\mathrm{tg}\varphi) + c$$

Хоч ідеальна пружно-пластична модель використовується багатьма сучасними геотехнічними програмами, вона має ряд значних недоліків, зокрема використання однакового значення модуля деформації як для процесу початкового навантаження, розвантаження і подальшого навантаження; друге головне напруження σ_2 ($\sigma_2 \geq \sigma_2 \geq \sigma_2$) не впливає на руйнування матеріалу; меридіани і гранична огинаюча кругів Мора є прямими лініями.

Серед нелінійних моделей ґрунту, що застосовуються для числових розрахунків, необхідно виділити *нелінійну пружно-пластичну модель зі зміцненням ґрунту* (HS-модель), яка була розроблена в 1999 році на базі теорії пластичного ущільнення і вона є удосконаленою моделлю, призначеною для моделювання поведінки різноманітних типів ґрунтів, як слабких, так і міцних. Поведінка моделі ґрунту в процесі ізотропного обтиснення та зрушення описується незалежними функціями.

Пластичні зсувні та об'ємні деформації описуються незалежно двома функціями девіаторного f^s (1.1) та ізотропного f^c напружень (1.2). В якості поверхні руйнування використовується критерій Кулона – Мора.

Для девіаторного напруження (рис. 1.2) використовується функція течії f^s:

$$f^s = \frac{1}{2E_{50}} \cdot \frac{q}{1-{}^{q}/_{q_a}} - \frac{2q}{E_{ur}} - \gamma_p \qquad 1.1$$

де E_{50} – січний модуль деформації за результатами випробувань в умовах тривісного стиску, E_{ur} – модуль деформації при розвантаженні та повторному навантаженні; q – девіатор напружень; q_a – асимптота, яка обмежує максимальне девіаторне напруження q_f.

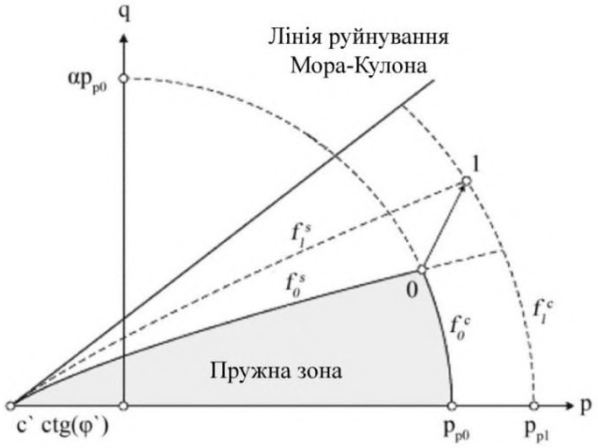


Рис. 1.2 Поверхні текучості HS-моделі для девіаторного f^s та ізотропного f^c напружень

Параметр зміцнення γ_p визначається для випадку девіаторного навантаження за формулою:

$$\gamma_p = \varepsilon_1^p - \varepsilon_2^p - \varepsilon_3^p \approx 2 \cdot \varepsilon_1^p.$$

При девіаторному напруженні процеси дилатансії відображаються у рамках неасоційованого закону течії, у зв'язку з чим функція текучості і пластичного потенціалу не співпадають$g^s \neq f^s$.

Процес пластичного об'ємного деформування при ізотропному навантаженні описується функцією текучості f^c (рис 1.2):

$$f^c = \frac{q^2}{\alpha^2} - p^2 - p_p^2 \qquad 1.2$$

де, p_p – ізотропний тиск попереднього ущільнення, який залежить від історії формування ґрунту. Напружено-деформований стани описується гіперболічною моделлю Duncan-Chang.

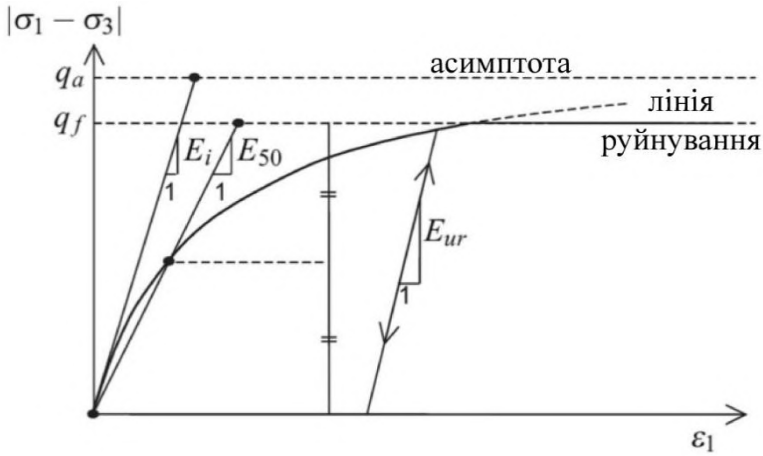


Рис. 1.3 Гіперболічна залежність між напруженням та деформацією

У моделі використовуються різні модулі деформації для траєкторій первинного навантаження – січний модуль деформації за результатами випробування у тривісному приладі стиску, та для траєкторії розвантаження та повторного навантаження.

Величини указаних модулів деформації зростають з діючими найменшими головними напруженнями σ_3, (рис. 1.3) а також залежать від характеристик міцності ґрунтів:

$$E_{50} = E_{50}^{ref} \left(\frac{c \cdot cos\,\varphi - \sigma_3}{c \cdot cos\,\varphi + p^{ref}} \right)^m;$$

$$E_{ur} = E_{ur}^{ref} \left(\frac{c \cdot cos\,\varphi - \sigma_3}{c \cdot cos\,\varphi + p^{ref}} \right)^m,$$

Одометричний модуль деформації E_{oed}, знаходимо за формулою:

$$E_{oed} = E_{oed}^{ref} \left(\frac{c \cdot cos\,\varphi - sin\,\varphi \cdot \sigma_1}{c \cdot cos\,\varphi + p^{ref}\, sin\,\varphi} \right)^m,$$

де, m – параметр, який вказує на ступінь залежності модуля деформації від діючого напруження (приймається 0,45-1,0).

Перевагами HS-моделі є залежність жорсткості від напружень, і урахування різниці жорсткостей при первинному навантаження ґрунту та при його розвантаженні з подальшим навантаженням. Модулі об'ємного стиснення і зрушення в HS-модель не постійні, а залежать від діючого рівня напружень, що більше відповідає реальній поведінці ґрунту.

Курс базується на засвоєнні студентами наступних дисциплін: «Фізика», «Теоретична механіка», «Вища математика», «Опір матеріалів», «Будівельна механіка», «Основи механіки ґрунтів», «Основи та фундаменти», «Інженерна геологія», «Інженерні вишукування», «Основи автоматизованого проектування в будівництві».

3. Аналіз ситуації

3.1. Створення геометричної моделі основи та елементів конструкції будівлі

Запустити програму PLAXIS 3D [23, 25, 26]. На екрані з'явиться діалогове вікно швидкого вибору (*Quick select*), в якому можна вибрати існуючий проект або створити новий (рис. 1.4).



Рис. 1.4 Діалогове вікно швидкого вибору (*Quick select*)

Розпочати роботу у новому проекті (*Start a new project*). Далі автоматично відкриється вікно властивостей проекту (*Project properties*), що має дві вкладки: *Project* (Проект) і *Model* (Модель).

Властивості проекту (*Project properties*)

Першим кроком для всіх розрахунків є введення основних параметрів скінченно-елементної моделі. Введення основних параметрів відбувається у вікні *Project properties* (Вихідні дані до проекту). До цих даних відносяться: відомості про завдання, одиниці виміру та головне – **розмір моделі ґрунту в плані**. Для того щоб ввести відповідні параметри для розрахунку, необхідно зробити наступне:

На вкладці *Project* ввести назву (*Title*) проекту «Foundation. Lesson 1» (обов'язково латиницею), а в полі *Comments* (Коментарі) написати (обов'язково латиницею) «*Settlement of a foundation*» («Осідання фундаменту») (рис. 1.5).

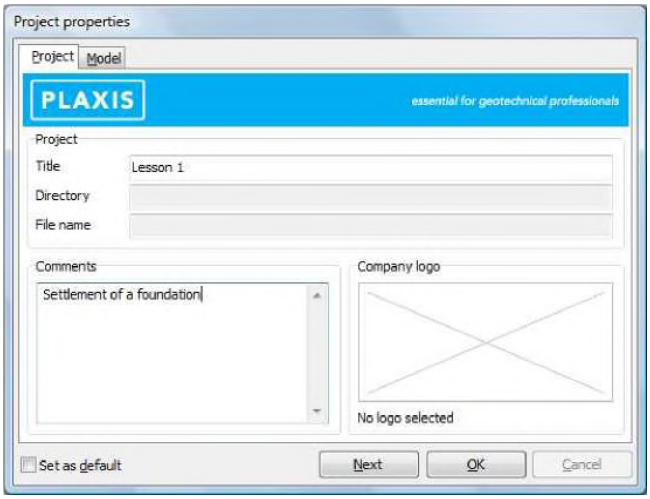


Рис. 1.5 Вкладка *Project* (Проект) вікна вихідних даних до проекту

► Перейти до вкладки *Model* (Модель) (рис. 1.6).

► У полі *Units* (Одиниці вимірювання) залишити задані стандартні одиниці виміру (довжина (*Length*) вимірюється в метрах (*m*), сила (*Force*) – у кН (*kN*), а час (*Time*) – у днях (*day*).

► У груповому блоці *General* (Загальні властивості) задається фіксоване значення сили тяжіння, спрямоване вниз по вертикальній осі (-Z). У полі *Earth gravity* (Сила тяжіння) може бути введено прискорення сили тяжіння 9,810 м/с^2. У полі y_{water} може бути введена питома вага води, тобто y_{water} = 10 кН/м^3.

► У груповому блоці *Contour* (Контур) вказуються межі даної моделі ґрунту як x_{min}=0, x_{max}=75, y_{min}=0, y_{max}=75.

► Для підтвердження введених даних натискаємо кнопку «OK».

Увага! *У разі помилки введення або за необхідності зміни даних проекту Ви можете отримати доступ до вікна Project properties, обравши відповідну опцію в меню File (Файл).*

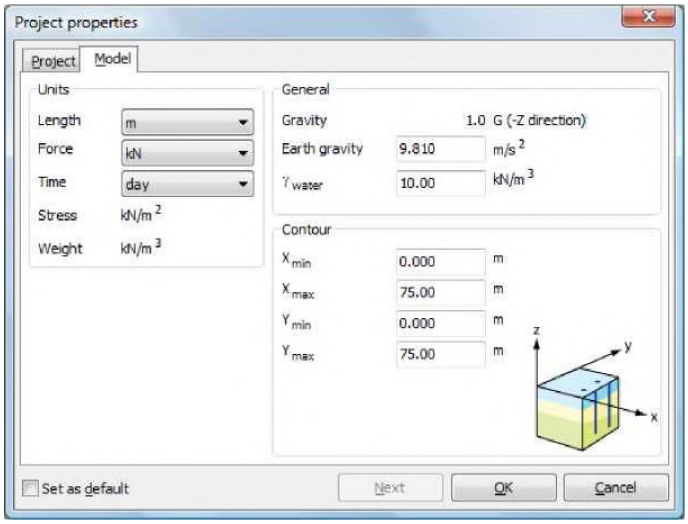


Рис. 1.6 Вкладка *Model* вікна вихідних даних до проекту

3.2 Побудова інженерно-геологічного розрізу та введення рівня ґрунтових вод

Інформація про нашарування інженерно-геологічних елементів по глибині вводиться в геологічних свердловинах (далі – геологічна колонка).

Геологічні колонки представляють собою точки в області креслення, в яких дана інформація про характер нашарування ґрунтів і рівень ґрунтових вод. Якщо задано кілька геологічних колонок, то ПК PLAXIS 3D буде автоматично інтерполювати дані між колонками для визначення характеру нашарування ґрунтів в проміжних точках.

Увага! *Програма PLAXIS 3D може також обробляти переривчасті шари, тобто шари, які присутні тільки в окремих геологічних колонках.*

В даному прикладі є тільки один шар ґрунту і для завдання інженерно-геологічного розрізу ґрунту необхідна тільки одна геологічна колонка. Для завдання геологічної колонки необхідно виконати наступне:

Натиснути кнопку *Create borehole*  (Створити геологічну колонку) на бічній панелі інструментів для початку завдання геологічних умов. Поставити курсор та натиснути в геометричній моделі по точці з координатами (0, 0, 0). Геологічна колонка буде розміщена в точці з координатами (x, y) = (0; 0). На екрані з'явиться вікно *Modify soil layers* (Змінити шари ґрунту).

У вікні *Modify soil layers* натиснути кнопку *Add* (Додати) для додавання нового шару ґрунту. Залишити верхню межу шару (*Top*) без змін (z = 0) а нижню межу (*Bottom*) задати в z = -40 м.

Задати значення рівня ґрунтових вод (*Head*) для заданої геологічної колонки, рівне -2 м (рис. 1.7). Створення набору характеристик інженерно-геологічних елементів та їх присвоєння розглянуто в наступному пункті.

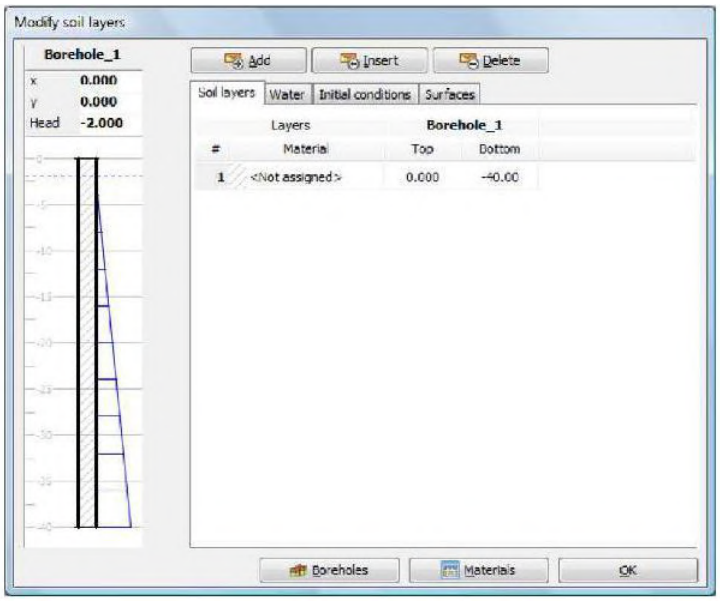


Рис. 1.7 Вікно *Modify soil layers* (Змінити шари ґрунту)

3.3 Створення набору характеристик інженерно-геологічних елементів

Для моделювання поведінки ґрунту і конструкцій елементів геометричної моделі повинні бути присвоєні відповідні моделі матеріалів для розрахунку і їх параметри. У ПК PLAXIS характеристики ґрунтів можуть бути введені і зібрані в бібліотеках бази даних ПК за різновидом ґрунту. Введені характеристики з бази даних ПК PLAXIS можуть бути присвоєні одному і більше геометричним елементам (кластерам). Для різних конструкцій (балки, плити тощо) використовується однакова система створення набору даних, але різні типи конструкцій мають різні параметри і, відповідно, різні розділи і шаблони введення характеристик.

PLAXIS 3D розрізняє набори даних за матеріалами для ґрунтів і поверхонь (Soils&Interfaces), плит (Plates), геосіток (Geogrids), балок (Beams), паль (Embedded Piles) і анкерів (Anchors). Перед генерацією сітки скінченних елементів необхідно присвоїти матеріалам їх відповідні характеристики.

Відкрити вікно Material Sets (Набори даних за матеріалами), натиснувши  кнопку Materials (Матеріали).

► Натиснути кнопку New (Новий), що знаходиться у нижній частині вікна Materials. На екрані з'явиться вікно Soil (ґрунт), що містить п'ять вкладок: General (Загальні властивості), Parameters (Параметри), Flow parameters (Параметри проникності), Interfaces (Інтерфейси) [22] і Initial (Початкові умови).

► У полі Identification (Ідентифікація) групового блоку Material Sets (Набір даних за матеріалами) вкладки General (Загальні властивості) ввести назву ґрунту «Clay» (Глина) (Рис. 1.8).

► У випадаючому меню Material model (Модель матеріалу) вибрати розрахункову модель Кулона-Мора (Mohr-Coulomb), а у випадаючому меню Drainage type (Тип поведінки матеріалу) – Drained (дренований).

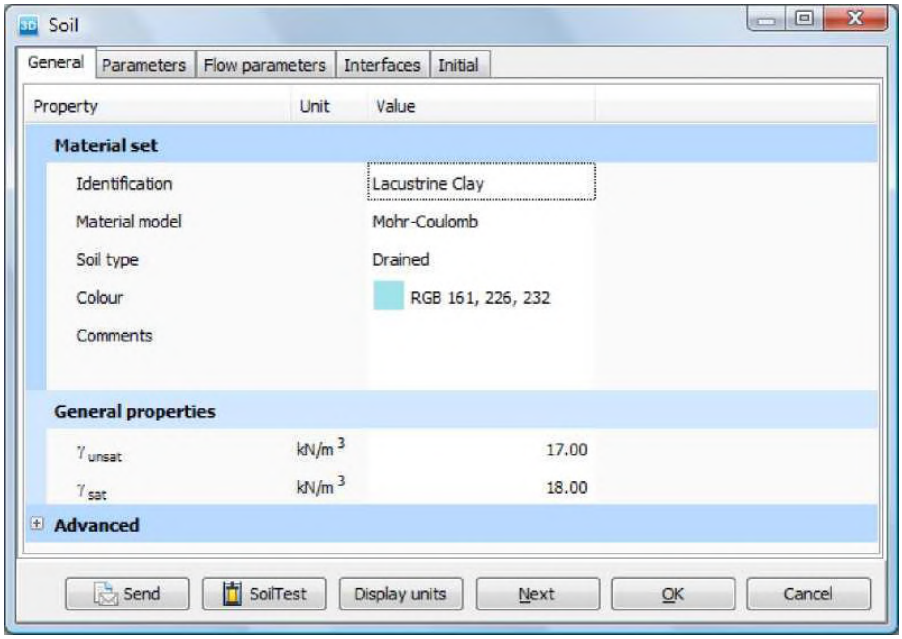


Рис. 1.8. Вкладка *General* (Загальні властивості) вікна *Soils&Interfaces*

► Ввести в груповому блоці *General properties* (Загальні властивості) значення питомої ваги згідно набору даних за матеріалами, представленим в таблиці 1.1. Розширені можливості пошуку (*Advanced*) залишити заданими стандартно.

► Натиснути кнопку Next (Далі) або Parameters (Параметри) для продовження введення параметрів моделі. Параметри, що з'явилися на вкладці *Parameters* (Параметри), залежать від обраної моделі матеріалу ґрунту (в нашому випадку модель Кулона-Мора). Модель Кулона-Мора містить тільки п'ять основних параметрів (E' ,ν' ,c' ,φ', ψ'). Детальний опис різних моделей ґрунту і відповідні їм параметри вказані в Посібнику за моделями матеріалів.

► Ввести параметри моделі E', ν', c'_{ref}, φ' і ψ для глини (*Clay*) з табл. 1.1 у відповідних полях вкладки *Parameters* (Параметри) (рис.1.9).

► У даному прикладі консолідація ґрунту враховуватися не буде. Тому водопроникність ґрунту не впливатиме на отримані результати, і вкладку *Flow parameters* (Параметри проникності) можна пропустити.

► Так як геометрична модель не містить інтерфейсів (уявних поверхонь проковзування), вкладку *Interfaces* (Інтерфейси) також можна пропустити.

Таблиця 1.1

Характеристики матеріалів ґрунту та бетону будівлі

Параметри	Позначення	Глина	Будівля	Од. вим.
Загальні властивості (General)				
Модель матеріалу	*Model* (Модель)	Модель Кулона-Мора	Лінійно-пружна Модель	-
Тип поведінки матеріалу	*Type* (Тип)	Дренований	Непористий	-
Питома вага ґрунту вище рівня РҐВ	γ_{unsat}	17,0	50	$кН/м^3$
Питома вага ґрунту нижче рівня РҐВ	γ_{sat}	18,0	-	$кН/м^3$
Параметри *(Parameters)*				

Модуль Юнга (постійна величина)	E'	$1 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^7$	$кН/м^2$
Коефіцієнт Пуассона	ν'	0,3	0,15	-
Зчеплення (константа)	c_{ref}	10	-	$кН/м^2$
Кут тертя	φ'	30,0	-	-
Кут ділатансії	ψ	0,0	-	-
Початкові				
Метод завдання K_0		Автоматично *(Automatic)*	Автоматично *(Automatic)*	
Коефіцієнт бокового тиску ґрунту	K_0	0,5000	1,000	-

► Натиснути на кнопку *Initial* (Початкові умови) і перевірити виконання автоматичного завдання K_0 (опція *Automatic*). В цьому випадку K_0 визначається за формулою Джекі: $K_0 = 1 - \sin\varphi$.

► Натиснути кнопку «OK» для підтвердження введення поточного набору даних за матеріалами. Створений набір даних з'явиться в деревовидному списку наборів даних вікна *Material Sets*.

Створити набір даних *Clay* у вікні *Material Sets* (Набір даних за матеріалами) і, утримуючи ліву кнопку миші, перетягнути його до зображення геологічної колонки в лівій стороні вікна *Modify soil layers* (Змінити шари ґрунту). Відпустити ліву кнопку миші. Зверніть увагу, що курсор змінює свою форму в залежності від того, є чи немає можливості поставити набір даних. При правильному завданні набору даних – ґрунту змінює колір.

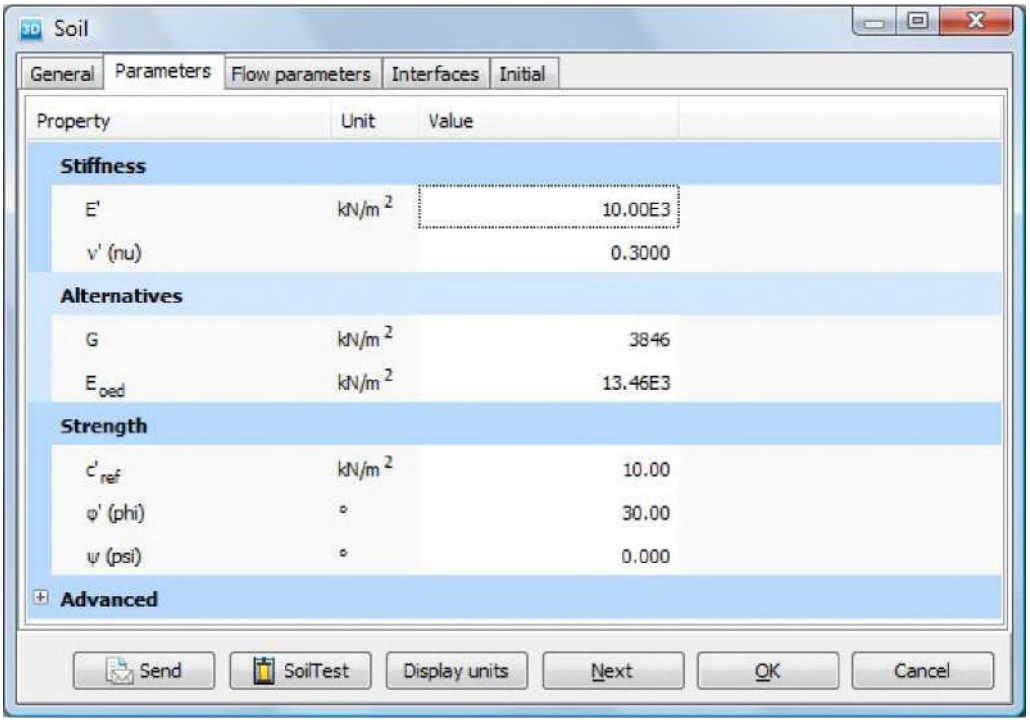


Рис. 1.9. Вкладка *Parameters* (Параметри) вікна *Soils&Interfaces*

Будівля моделюється за допомогою лінійно-пружного (ізотропного) матеріалу. Для створення набору даних необхідно виконати наступне:

► Натиснути на кнопку *New* (Новий) у вікні *Material sets*.

► У полі *Identification* (Ідентифікація) групового блоку Material Set (Набір даних по матеріалу) вкладки *General* (Загальні властивості) ввести слово «*Building*» («Будівля»).

► У випадаючому меню *Material model* вибрати лінійно-пружну модель (*Line arelastic*), а в спадному меню *Drain age type* (Тип поведінки матеріалу) варіант *Non-porous* (Щільний).

► Ввести в груповому блоці *General properties* питому вагу відповідно до значень,

представленому в табл. 1.1. Питома вага відповідає сумі постійної і змінної навантажень від будівлі.

► Клацнути по кнопці *Next* (Далі) або по вкладці *Parameters* (Параметри) для продовження введення параметрів моделі. Лінійно-пружна модель має тільки два основних параметри (E, v).

► Ввести параметри моделі з таблиці 1.1 у відповідних полях вкладки *Parameters* (Параметри).

► Натиснути на кнопку «OK» для підтвердження введення поточного набору даних за матеріалом. Створений набір даних з'явиться у вікні *Material sets*, але безпосередньо використовуватися не буде.

► Натиснути на кнопку «OK» для закриття вікна *Material sets*.

► Натиснути на кнопку «OK» для закриття вікна *Modify soil layers* (Змінити шари ґрунту).

Увагу! *PLAXIS 3D розрізняє проектну та глобальну бази даних за матеріалами. Набір даних з одного проекту може бути використаний для іншого. Для перегляду глобальної бази у вікні Material sets слід натиснути на кнопку «Show global» (Показати глобальну базу даних).*

4.2. Визначення конструктивних елементів

Конструктивні елементи створюються в режимі *Structures* (Конструкції) програми PLAXIS. Для того щоб перейти до задання конструктивних елементів, необхідно натиснути на кнопку «*Structures*».

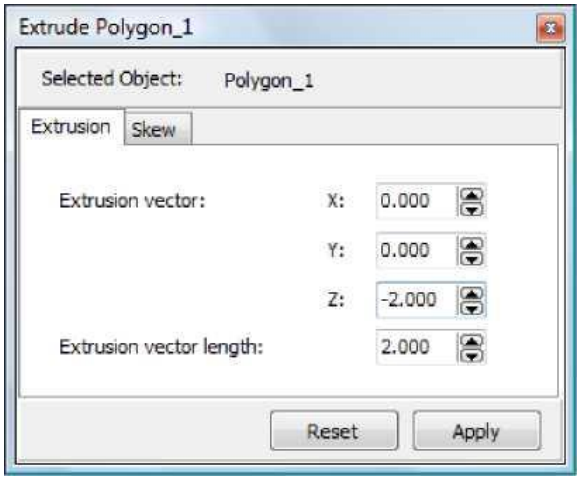


Рис. 1.10. Вкладка *Extrude* (Видавити)

Для моделювання будівлі необхідно натиснути «*Create surface*» (Створити поверхню) і помістити курсор в точці з координатами (0_0_0).

Після натиснення лівої кнопки миші буде задана перша точка поверхні.

Аналогічним чином задати три інші точки з координатами, відповідно, (0_18_0), (18_18_0), (18_0_0). Натиснути на праву кнопку миші або на клавішу «Esc» для закінчення завдання поверхні. Зверніть увагу, що створена поверхня, як і раніше залишається виділеною і показана червоним кольором.

► Натиснути на кнопку *Extrude object* (Видавити об'єкт) для створення об’єму з поверхні

►У вікні *Extrude* (видавити) (рис. 1.10) змінити значення z на -2. Для закриття вікна клацнути по кнопці «Apply» (Застосувати).

► Клацнути по кнопці «*Select*» (Вибрати). Клацнути по створеної поверхні за допомогою правої кнопки миші. Вибрати в меню опцію *Delete* (Видалити). Це призведе до видалення поверхні, але обсяг будівлі залишиться.

Введення конструктивних елементів та побудова моделі загалом завершено. Наступним кроком – будуємо сітку скінченних елементів.

4.3. Побудова та генерація сітки скінченних елементів

Для того щоб перейти в режим побудови сітки (*Mesh*), необхідно натиснути на кнопку *Mesh* (Сітка). PLAXIS 3D виконує побудову та генерацію сінки повністю в автоматичному режимі. Під час цього процесу геометрична модель ділиться на додаткові конструктивні елементи. При генрації сітки враховується стан всіх геометричних об'єктів в геометричній моделі, так що сітка кінцевих елементів враховує точне положення шарів (без осереднень), навантажень і конструкцій. Локальне подрібнення сітки буде виконано в межах будівлі.

Для побудови сітки необхідно зробити наступне:

► Натиснути на кнопку *Refine mesh* (Подрібнити сітку) на бічній панелі  інструментів. Обсяг будівлі забарвиться в зелений колір.

► Натиснути на кнопку *Generate mesh* (Побудувати сітку) на бічній панелі  інструментів або обрати опцію *Generate mesh* (Побудувати сітку) в меню *Mesh* (Сітка). Обрати для опції *Element distribution* (Поділ елементів) варіант поділу сітки *Coarse* (Велика сітка) і клацнути по кнопці OK, щоб почати побудову сітки.

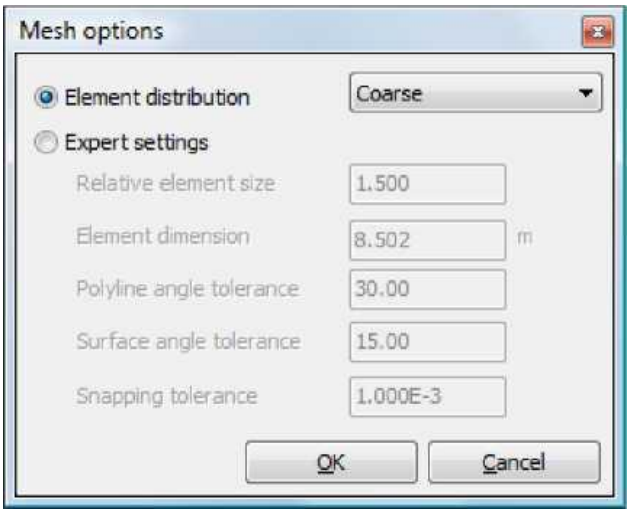


Рис. 1.11 Вікно опцій побудови сітки (*Mesh options*)

Після того, як сітка буде побудована, натиснути на кнопку *View*  (Вигляд). У відкритому вікні буде відображена побудована сітка (рис. 1.12).

Для повернення в режим сітки (*Mesh*) натиснути на кнопку *Close* (Закрити).

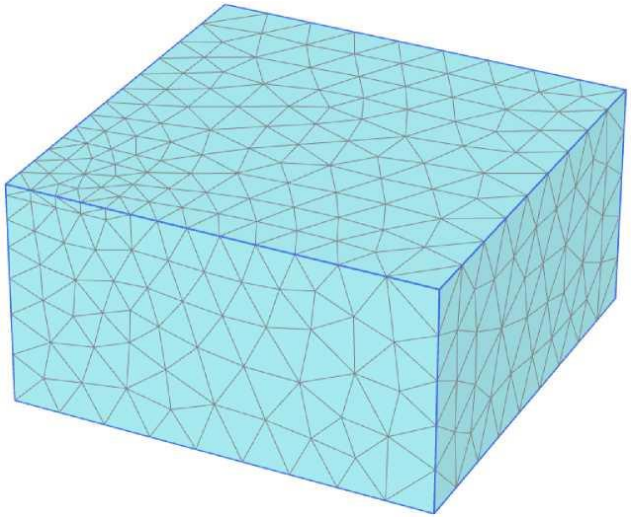


Рис. 1.12. Побудована сітка в вікні *Output* (Вивід даних)

4.6. Виконання обчислень (числового розрахунку моделі)

Побудова сітки завершує створення скінченно-елементної моделі. Переходимо до завдання фаз розрахунку, обираємо опцію *Staged construction* (Поетапне будівництво).

Початкові умови

На початковій фазі (*Initial phase*) завжди проводиться завдання початкових умов. В цілому, до початкових умов відносяться геометрична конфігурація і початковий напружений стан, тобто природне напруження від власної ваги, поровий тиск і параметри стану ґрунту. Початковий РҐВ вже було введено у вікні *Modify soil layers*. Цей рівень враховується при розрахунку початкового ефективного напруженого стану ґрунту. Тому немає необхідності переходити до вкладки рівнів води (*Water levels*).

Після створення нового проекту автоматично створюється перша фаза розрахунку під назвою «*Initial phase*» («Початкова фаза»), яка обирається у вікні провідника фаз (*Phases explorer*) (рис. 1.13). Всі конструктивні елементи і навантаження, присутні в геометричній моделі спочатку, автоматично відключаються. Активними з самого початку є тільки масив ґрунту.

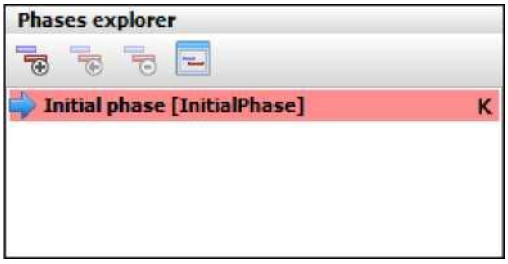


Рис. 1.13. Провідник фаз

У програмі PLAXIS 3D передбачено два методи завдання початкових напружень – метод гравітаційного навантаження і процедура K_o. Стандартно на початковій фазі для розрахунку вибирається процедура K_o. Зверніть увагу, що в Провіднику фаз ця процедура позначається літерою «К».

Увага! *Процедура K_o може використовуватися тільки для геометричних моделей з горизонтальним нашаруванням шарів, горизонтальною поверхнею основи і горизонтальним рівнем ґрунтових вод.*

Для виведення на екран вікна Phases (Фази) (Рис. 1.13) слід натиснути на кнопку *Edit phase* (Редагувати фазу) або двічі натиснути на потрібну фазу в провіднику фаз.

► Натиснути на кнопку OK для закриття вікна *Phases* (Фази).

► Перевірити, щоб всі об'ємні елементи ґрунту в проекті були активними, і щоб їм було присвоєні відповідні матеріали матеріал *Clay* (Глина).

Стадія будівництва (Construction stage)

Після завдання початкових умов можна моделювати будівлю. Це буде виконано на окремій фазі розрахунку, яку необхідно додати в такий спосіб:

► Натиснути на кнопку Add (Додати) у вікні Провідника фаз (*Phases explorer*). У провіднику з'явиться нова фаза під назвою *Phase_1*.

► Двічі натиснути на потрібну фазу для відкриття вікна Phases.

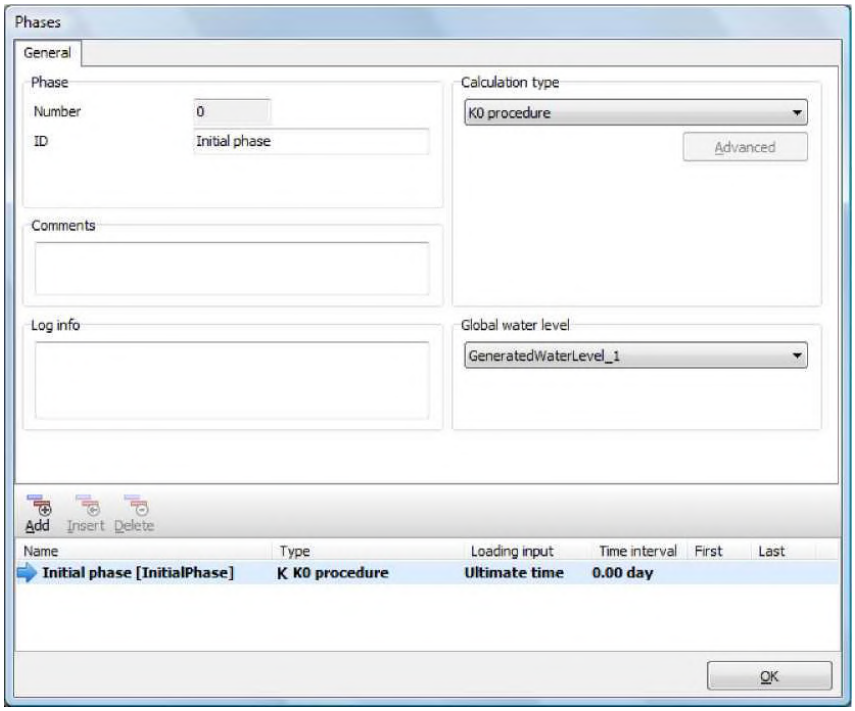


Рис. 1.14. Вид вкладки *General* (Загальні властивості) вікна *Phases* (Фази) для розрахунку початкової фази (*Initial phase*)

► На вкладці *General* (Загальні властивості) можна ввести в поле ID відповідна назва для нової фази (наприклад, «*Building*» («Будівля»)). У початковій фазі (*Initial phase*) не можна вводити.

► У полі *Calculation type* (Тип розрахунків) вибрати варіант *Plastic* (Пластичний) і клацнути по вкладці *Parameters* (Параметри) для переходу до завдання параметрів.

► Вкладка *Parameters* (рис. 1.15) містить керуючі параметри розрахунку. Зберегти в груповому блоці *Iterative procedure* (Ітераційна процедура) параметри, що задаються стандартно, а в полі *Additional steps* (Додаткові кроки) – значення 250.

► Ми задали параметри розрахунку для фази *Building*. Клацнути по кнопці «OK» для закриття вікна *Phases* (Фази).

► Клацнути правою кнопкою миші по об'єму будівлі. У меню вибрати позицію *Set material* (Задати матеріал) і в ній опцію *Building*.

► Натиснути правою кнопкою миші по об'єму будівлі. У меню вибрати позицію Set material (Задати матеріал) і в ній опцію *Building*.

Виконання обчислень

Всі фази розрахунку (в нашому випадку дві фази) для виконання позначені синьою стрілкою. Порядок виконання розрахунку контролюється параметром *Start from phase* (Почати з фази ...).

Для запуску процесу обчислень натиснути на кнопку *Calculate* (Розрахунок). 

Не звертайте уваги на попередження про те, що не вибрані вузли і точки напружень для побудови кривих.

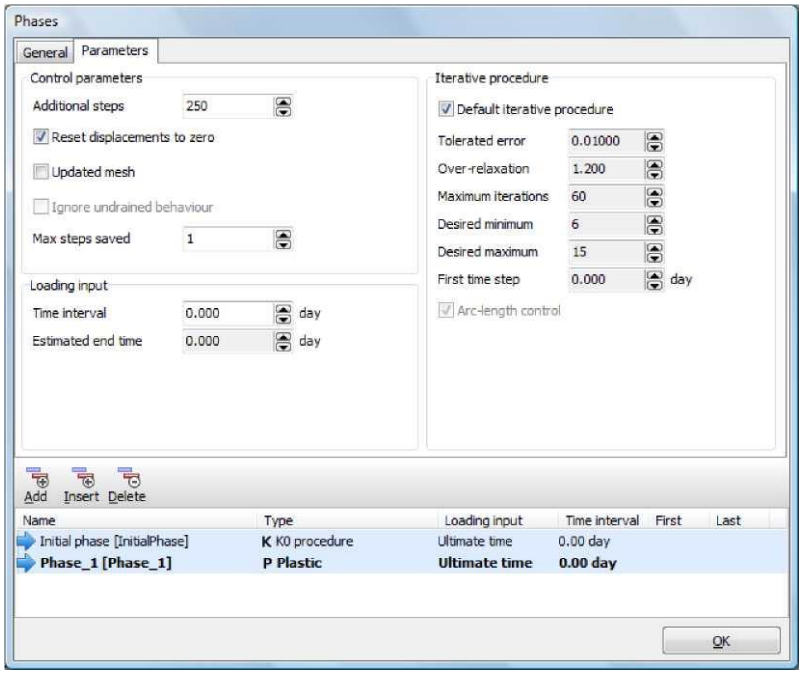


Рис. 1.15. Вигляд вкладки *Parameters* вікна *Phases* для розрахунку *Building*

Під час розрахунку на екрані з'являється вікно з інформацією про хід виконання поточної фази розрахунку (рис. 1.16).

Постійно відновлювальна інформація в вікні «*Active tasks*» містить дані про хід процесу розрахунку: номер поточного кроку обчислення, похибку поточної ітерації та ін.

Процес обчислення займає кілька секунд. Після завершення розрахунку вікно закриється, а головне вікно знову стане активним.

Програма оновлює список фаз в провіднику фаз, показуючи за допомогою зеленої «галочки», що обчислення були завершені успішно. Невдало завершилася фаза розрахунку зазначається червоним хрестом.

Перед переглядом отриманих результатів збережіть проект.

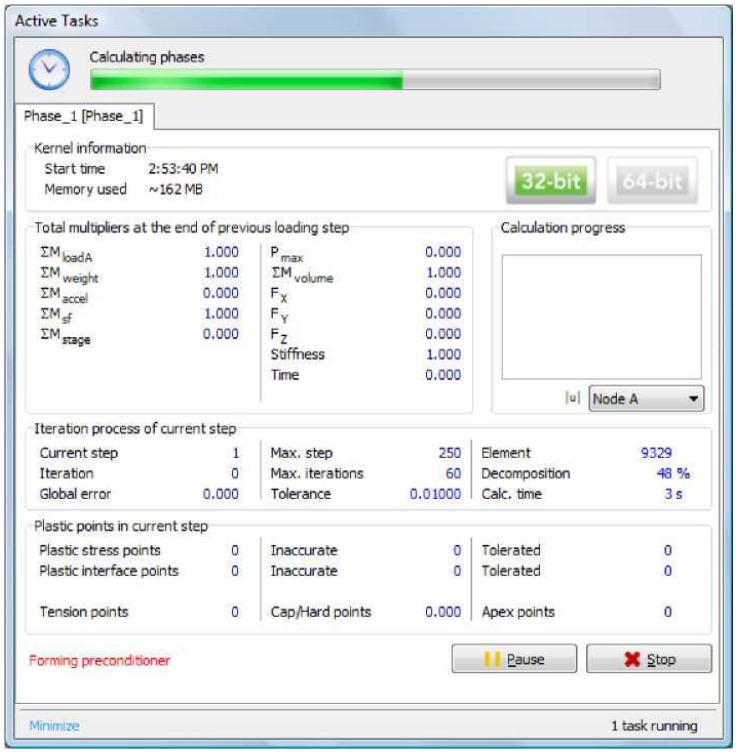


Рис. 1.16. Вікно активних завдань (*Active tasks*), що показує хід розрахунку

Перегляд результатів розрахунку

Після завершення розрахунку можна переглянути отримані результати за допомогою програми виведення даних (Output program). Ця програма дозволяє переглянути переміщення і напруження у всій тривимірної моделі, а також в окремих поперечних перетинах або конструктивних елементах. Результати розрахунків можуть бути також виведені в табличній формі.

Для перегляду поточних результатів необхідно зробити наступне:

► Вибрати останню фазу розрахунку (Building) в Провіднику фаз.

► Натиснути на кнопку View calculation results (Подивитися результати розрахунку) на бічній панелі інструментів для відкриття програми виведення даних Output program.

► Вибрати в меню Deformations (Деформації) опцію Total Displacements (Повні переміщення). Тепер повні переміщення будуть показані різними кольорами (рис. 1.17).

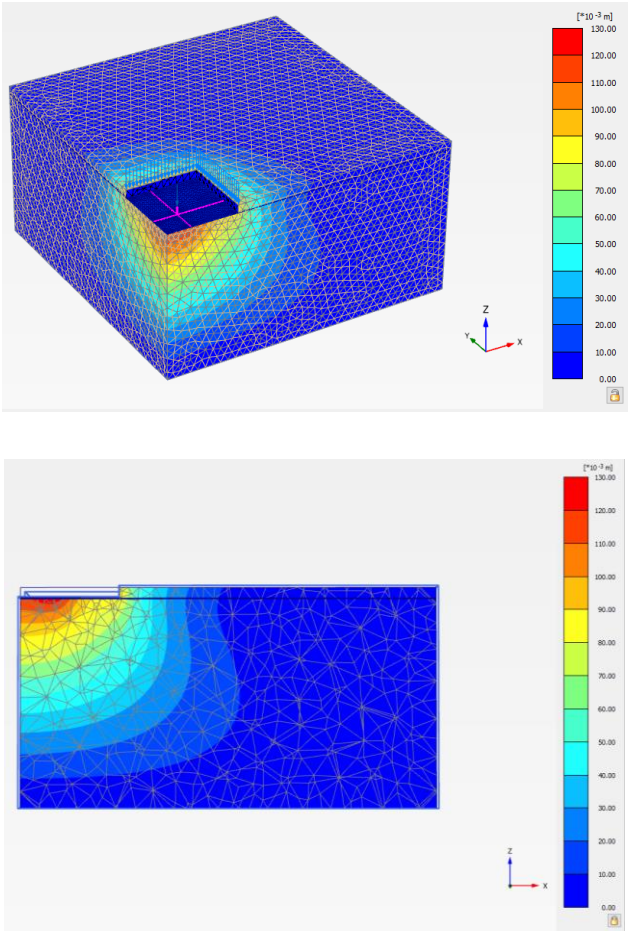


Рис. 1.17 Схема розповсюдження загальних переміщень
для останньої фази розрахунку

Значення переміщень в межах моделі вказані на шкалі умовних позначень відповідним кольором. Якщо шкала умовних позначень відсутня, слід вибрати опцію *Legend* (Умовні позначення) в меню *View*.

У вікні *Output* натиснути на кнопку *Iso-surfaces* (З-поверхні) для виведення областей, що мають однакове переміщення.

8. Питання для обговорення

1. У чому полягає головна відмінність між Plaxis 2D та Plaxis 3D?
2. Які типи задач доцільно моделювати саме в Plaxis 3D?
3. Чому важливо враховувати тривимірність ґрунтових процесів у геотехнічних розрахунках?
4. Які вхідні дані найбільш критичні для точності розрахунків у Plaxis 3D?
5. Як правильно обрати граничні умови для моделі?
6. Чим небезпечна ідеалізація ґрунту у вигляді лінійно-еластичної моделі?

7. Коли варто застосовувати розширені моделі (Hardening Soil, Soft Soil Creep тощо)?
8. Як у Plaxis 3D змоделювати пальове поле та оцінити взаємодію паль між собою?
9. Які особливості врахування роботи фундаменту на слабких ґрунтах у тривимірній моделі?
10. Як можна використати BIM-дані (наприклад, із Revit чи Civil 3D) у Plaxis 3D для побудови геотехнічної моделі?
11. У яких випадках тривимірна модель може дати суттєво інші результати, ніж двовимірна?
12. Як правильно задати розміри моделі ґрунту у програмному комплексі Plaxis 3D?

Дискусійні/критичні питання

13. Чи можна вважати результати чисельного моделювання у Plaxis 3D «остаточною істиною»?
14. Як поєднати результати експериментальних польових досліджень (наприклад, випробування палі статичним навантаженням) із моделями Plaxis 3D?
15. Як адаптувати параметри ґрунту для розрахунку у Plaxis 3D?
16. Чому геотехні комплекси потребують особливого підходу для BIM моделювання?
17. Які обмеження програмного комплексу Plaxis 3D ви вважаєте найсуттєвішими?
18. Наскільки доцільно використовувати Plaxis 3D у навчальному процесі для підготовки майбутніх інженерів-будівельників?

9. Можливі напрямки вирішення

Інтеграція Plaxis 3D у навчальні програми:

- включення спеціальних курсів і практикумів з чисельного моделювання геотехнічних процесів;
- використання Plaxis 3D як базового інструменту при виконанні курсових і дипломних проєктів з основ і фундаментів, огороджень котлованів тощо;
- залучення студентів до аналізу реальних інженерних кейсів у 3D-середовищі.

Розробка методичних матеріалів:

- створення покрокових інструкцій із побудови геотехнічної моделі (геометрія, сітка, граничні умови);
- підготовка відеоуроків та навчальних прикладів (фундамент, котлован, пальові куші, тунель);
- формування базових бібліотек параметрів ґрунтів з урахуванням ДБН/EN та практичних рекомендацій.

Практична інтеграція розрахунків:

- порівняння результатів моделювання в Plaxis 3D з даними польових випробувань (наприклад, статичне випробування палі);
- зіставлення чисельних результатів із ручними методами розрахунку осідань, несучої здатності, стійкості укосів;
- виконання аналізу чутливості параметрів ґрунту та граничних умов.

Організація командної роботи:

- навчання студентів сумісному використанню Plaxis 3D у складі міждисциплінарних команд (геологи, конструктори, проєктувальники);
- інтеграція результатів Plaxis у BIM-процеси для координації з архітектурними та конструктивними моделями;
- відпрацювання практики ведення «журналу змін» і контролю версій геотехнічної моделі.

Науково-дослідна діяльність:

- дослідження ефективності різних конститутивних моделей ґрунту (Mohr-Coulomb, Hardening Soil, Soft Soil Creep);
- перевірка нових методик калібрування параметрів ґрунту за результатами польових випробувань;
- аналіз впливу просторової неоднорідності ґрунтів на результати розрахунків у 3D-моделях.

Цифровізація експлуатації:

- використання моделей Plaxis 3D для прогнозу довгострокових осідань та контролю стану споруд;
- навчання студентів інтеграції розрахункових даних з системами моніторингу деформацій та напружень;
- формування навичок цифрового супроводу споруд на етапах експлуатації та реконструкції.

10. Рішення (приклад)

Використання Plaxis 3D для моделювання геотехнічних процесів при проєктуванні основ та фундаментів навчальних об’єктів (наприклад, виробничих будівель або інженерних споруд) дозволяє студентам реалізувати повний цикл чисельного аналізу поведінки ґрунтової основи. Поєднання Plaxis 3D з розрахунковими комплексами, такими як Tekla Structures чи LIRA-FEM, забезпечує перевірку узгодженості взаємодії «основа-фундамент-споруда» та достовірність розрахункових моделей.

Застосування Plaxis 3D формує у студентів компетенції з побудови тривимірних геотехнічних моделей, аналізу напружено-деформованого стану ґрунтів і прогнозування стійкості конструкцій. Такий підхід сприяє розвитку інженерного мислення та розумінню фізики ґрунтових процесів, що дозволяє не лише виконувати моделювання, а й критично оцінювати отримані результати. Це відповідає сучасним вимогам підготовки фахівців у сфері геотехніки та цифрового проєктування.

Практична інтеграція розрахунків у навчальний процес передбачає порівняння результатів моделювання з даними польових випробувань, зіставлення чисельних результатів із аналітичними методами та проведення аналізу чутливості параметрів ґрунтів.

Важливо також організувати командну роботу студентів у міждисциплінарних проєктах, що поєднують геотехнічне моделювання в Plaxis із BIM-процесами, з відпрацюванням практики контролю версій і ведення журналу змін. Науково-дослідна діяльність має зосереджуватися на порівнянні перевірених моделей ґрунту, калібруванні параметрів за польовими даними та аналізі просторової неоднорідності. У межах цифровізації експлуатації споруд Plaxis 3D може використовуватися для прогнозу довгострокових осідань, інтеграції з системами моніторингу деформацій і формування навичок цифрового супроводу споруд протягом усього життєвого циклу.

11. Практичне завдання для студентів

Для виконання контрольної роботи необхідно обрати із таблиць 3.1 - 3.4 вихідні дані за власним варіантом та виконати поставлену задачу (п. 4).

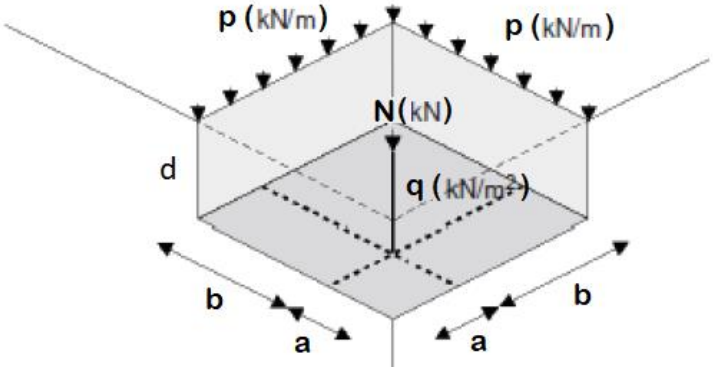


Рис. 2.1. Геометрична модель підвального поверху

Таблиця 8.1

Вихідні дані для самостійної роботи

№ вариант	Розмір плити, м×м	a, м	b, м	N, кН	q, кН/м^2	p, кН/м	d, м
1	17×17	5	12	11000	5,3	360	2
2	16×16	4	12	10000	5,1	370	2
3	15×15	3	12	9000	4,9	350	2
4	14×14	2	12	8000	5,4	310	1
5	13×13	5	8	7000	5,2	240	1
6	12×12	4	8	6000	5,3	250	1
7	11×11	5	6	9000	5,0	300	2
8	10×10	5	5	8000	4,8	320	2
9	19×19	6	13	7000	4,5	280	1
10	20×20	6	14	6000	4,7	200	1

У випадаючому меню *Material model* (Модель матеріалу) вибрати розрахункову модель Кулона-Мора (*Mohr-Coulomb*), а у випадаючому меню *Drainage type* (Тип поведінки матеріалу) – *Drained* (дренований).

Таблиця 8.2

Фізико-механічні характеристики ґрунту

Пилувато-глинистий ґрунт	Характеристика ґрунту	Варіант									
	Розмірна величина	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7	№8	№9	№10
Питома вага ґрунту вище рівня РҐВ	γ_{unsat}, *кН/м*^{3}	17,2	16,9	16,7	17,1	17,5	17,4	17,8	17,6	16,8	16,9
Питома вага ґрунту нижче рівня РҐВ	γ_{sat}, *кН/м*^{3}	18,2	18,9	17,7	18,1	18,5	18,4	18,8	18,6	18,8	18,9
Модуль Юнга	E', *кН/м*^{2}	10000	11000	12000	9800	9500	9000	9200	12500	10000	11500
Коефіцієнт Пуассона	ν'	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Зчеплення	c_{ref}, *кН/м*^{2}	10	15	14	12	11	16	13	14	12	9
Кут тертя	φ'	30,0	25	23	26	27	28	29	22	24	28
Кут ділатансії	ψ	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Метод завдання K_0		Автоматично *(Automatic)*									
Коефіцієнт бокового тиску ґрунту	K_0	0,50	0,55	0,60	0,65	0,59	0,52	0,58	0,62	0,61	0,63
Тип поведінки матеріалу	*Type* (Тип)	Дренований									

Таблиця 8.3

Властивості матеріалів перекриття і стін підвального поверху

Параметр	Позначення	Підлога підвалу	Стіна підвалу	Од. вим.
Товщина	*d*	0,5	0,3	*м*
Вага	γ	15	15,5	$кН/м^3$
Тип поведінки	*Type*	Лінійне, ізотропне	Лінійне, ізотропне	-
Модуль Юнга	*E*	$3 \cdot 10^7$	$3 \cdot 10^7$	$кН/м^2$
Коефіцієнт Пуассона	*v*	0,15	0,15	-
Модуль зсуву	*G*	$1{,}304 \cdot 10^7$	$1{,}304 \cdot 10^7$	$кН/м^2$

Таблиця 8.4

Характеристики матеріалів колон і балок перекриття підвального поверху

Параметр	Позначення	Колона підвалу	Балка підвалу	Од. вим.
Площа поперечного перетину	*A*	0.49	0.7	$м^2$
Об'ємна вага	γ	24.0	6.0	$кН/м^3$
Тип поведінки	*Type*	лінійне	лінійне	-
модуль Юнга	*E*	$3 \cdot 10^7$	$3 \cdot 10^7$	$кН/м^2$
Момент інерції	I_3	0.020	0.058	$м^4$
	I_2	0.020	0.029	$м^4$

Інструкції для індивідуальної роботи (Plaxis 3D):

1. Побудувати 3D-геотехнічну модель у Plaxis 3D.
2. Виконати статичний розрахунок напружено-деформованого стану ґрунтової основи під навантаженням від споруди.
3. Обґрунтувати вибір моделі ґрунту (Hardening Soil, Mohr-Coulomb чи інша) та параметрів, використаних для розрахунку.
4. Підготувати результати у вигляді візуалізацій: ізополя осідань; розподіл напружень у ґрунтовому масиві; графіки осідання у контрольних точках.
5. Оформити звіт та креслення з виконаної роботи.

12. Обговорення та рефлексія

Використання Plaxis 3D як програмного комплексу для геотехнічного моделювання дозволяє студентам не лише оволодіти сучасними інструментами чисельного аналізу, а й критично переосмислити підхід до проєктування основ та фундаментів у складних інженерно-геологічних умовах. Важливо розглянути, як змінюється роль інженера-геотехніка у цифровому середовищі, які професійні компетенції стають ключовими для роботи з BIM-орієнтованими моделями, а також які виклики виникають при поєднанні національних норм [17] та вимог Єврокодів у практиці.

Запитання для дискусії в аудиторії.

1. Яку роль відіграє ПК Plaxis у BIM-орієнтованому проєктуванні?
2. Чим відрізняється BIM-модель будівлі від BIM-моделі геотехнічної системи (ґрунт, фундамент, підземні споруди)?
3. Як імпортувати геометрію фундаменту чи пальового поля з Revit або Civil 3D у Plaxis 3D?
4. Які формати даних можуть бути проміжними «мостами» між BIM та Plaxis?
5. Як результати моделювання (осідання, напруження, криві деформацій) можна візуалізувати в BIM-середовищі?
6. У яких випадках інтеграція BIM + Plaxis найбільш доцільна: котловани, підземні споруди, висотні будівлі?
7. Чи здатна BIM-модель «відреагувати» на зміну параметрів ґрунту, якщо вони уточнені у Plaxis?
8. Як результати Plaxis можуть допомогти конструкторам у BIM-середовищі приймати більш точні рішення?
9. Які проблеми виникають через відсутність єдиного стандарту для геотехнічних даних у BIM?
10. Чи можна створити бібліотеку «геотехнічних об’єктів» (шари ґрунту, палі, анкери), які були б сумісні з BIM і Plaxis?
11. Чи можна вважати, що BIM без Plaxis є «неповною цифровою моделлю» споруди?
12. Які головні бар’єри інтеграції Plaxis у BIM-середовище: технічні, економічні чи методологічні?
13. Чи варто майбутнім інженерам навчатися одночасно BIM і Plaxis, щоб володіти повним циклом цифрового проєктування?
14. Наскільки реалістичним є створення єдиного цифрового двійника споруди, який об’єднає архітектуру, конструкції та геотехніку?

10. Висновки викладача

Застосування Plaxis 3D у навчальному процесі дозволяє студентам практично засвоїти сучасні методи геотехнічного моделювання, включаючи побудову тривимірних моделей основ і фундаментів, аналіз напружено-деформованого стану ґрунтів та конструкцій, а також перевірку розрахункових схем відповідно до ДБН і Єврокодів.

Виконання кейсових завдань у цьому програмному середовищі продемонструвало значення інтеграції BIM-підходів у геотехнічні дослідження, сприяло формуванню навичок критичного аналізу результатів розрахунків і забезпечило зв’язок між теоретичною підготовкою та реальними потребами сучасної будівельної практики.

Список використаних джерел

17. ДБН В.2.1-10:2018 Основи і фундаменти будівель. Основні положення – Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2018. – 36 с.
18. Винников Ю.Л. Математичне моделювання взаємодії фундаментів з ущільненими основами при зведенні та наступній роботі: Монографія / Ю.Л. Винников – Полтава: ПолтНТУ ім. Юрія Кондратюка, 2016. – 280 с.
19. Brinkgreve R.B.J. Plaxis 2D-version 9. Finite Element Code for Soil and Rock Analyses / R.B.J. Brinkgreve, W. Broere, D. Waterman // User Manual – Rotterdam: Balkema – 2008.
20. Олег Матвійків, Сергій Ткаченко, Володимир Хаханов Навчальний посібник "Інженерне проектування складних об'єктів і систем" 2016. – 261с.

21. С. Ю. Саєнко, І. В. Нечипоренко / Основи САПР. Навчальний посібник – Х. : ХДУХТ, 2017. – 120 с.

22. PLAXIS 3D 2024.3 / General Information Manual. April. 03, 2025 – 34 p.

23. PLAXIS 3D 2024.3 / Tutorial Manual. April. 03, 2025 – 188 p.

Рекомендована для самостійного вивчення

24. Piling Engineering / K. Fleming. A.Weltman, M. Randolph, K. Elson. – London; New York: Taylor and Francis, 2008. – 398 p.

25. Методичні вказівки до виконання практичних завдань з використанням ПК PLAXIS 3D з дисципліни «Моделювання взаємодії фундаментів з ґрунтовим середовищем» для студентів ступеня магістра спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» денної та заочної форм навчання / Укладачі: Сєдін В. Л., Бікус К. М., Ковба В. В., Загільський В. А., Кононов Д. В. – Дніпро: ДВНЗ ПДАБА, 2019. – 31 с.

26. Методичні вказівки до виконання контрольної роботи з дисципліни «Моделювання взаємодії фундаментів з ґрунтовим середовищем» для студентів ступеня магістра спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» заочної форми навчання. / Укладачі: Сєдін В. Л., Бікус К. М., Ковба В. В., Загільський В. А., Ульянов В.Ю., – Дніпро: ДВНЗ ПДАБА, 2022. – 28 с.

10. ЗАСТОСУВАННЯ BIM У КОНСТРУКТИВНОМУ ПРОЄКТУВАННІ: КЕЙС-СТАДІ З АНАЛІЗУ ІНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТІ, ДЕТАЛЮВАННЯ АРМУВАННЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ОБСЯГІВ РОБІТ

Р. Ю. Титаренко
Р. Є. Хміль
О. Р. Позняк

1. АНОТАЦІЯ

Інформаційне моделювання будівель (BIM) дедалі ширше застосовується у будівництві, пропонуючи централізовану віртуальну модель із міждисциплінарними даними. Повна інтероперабельність у процесі конструктивного проєктування залишається складним завданням через обмеження сучасних систем.

У кейс-дослідженні конструктивного проєкту було оцінено робочий процес – від моделювання та передачі даних між Revit і Robot, через структурний аналіз і деталювання арматури, до інтеграції результатів у головну BIM-модель. Частину обмежень вдалося подолати завдяки автоматизованій передачі креслень і кількості матеріалів, а додаткові можливості BIM забезпечили створення спеціалізованих креслень і карт арматурних сіток.

Такий підхід демонструє ефективний робочий процес, що підвищує продуктивність і ефективність роботи в інженерно-конструкторських бюро.

2. ВСТУП

Методологія інформаційного моделювання будівель (BIM) ґрунтується на створенні централізованої цифрової 3D-моделі будівлі або інфраструктури, яка оновлюється протягом усього життєвого циклу проєкту [2]. Ця модель організовує дані ієрархічно, дозволяючи отримувати інформацію за спеціальністю, елементом або матеріалом. Інструменти BIM дають змогу працювати з інформацією для таких завдань, як графічне представлення, кількісний облік матеріалів, складання бюджету та планування будівництва. Централізована інформація та спільні платформи зменшують помилки та конфлікти, що дозволяє економити кошти протягом усього життєвого циклу будівлі [4].

У конструктивному проєктуванні параметричні об’єкти представляють елементи, такі як плити, балки, колони та фундаменти, з властивостями, наприклад, модулем пружності, коефіцієнтом Пуассона та щільністю матеріалу. Інженери-конструктори створюють параметричну модель і передають її до програмного забезпечення для аналізу, щоб перевірити каркас і підготувати креслення. Повна інтероперабельність є критично важливою, особливо для передачі результатів аналізу та деталювання арматури назад у BIM-модель, що часто стає головним викликом у конструктивних проєктах на основі BIM.

Сучасні BIM-інструменти не завжди забезпечують ефективну інтероперабельність, що призводить до невідповідностей, упущень та помилок у даних під час передачі моделей між системами. Основна мета – виявити обмеження на кожному етапі та запропонувати стратегії для зменшення неточностей у процесі BIM. Хоча BIM надає очевидні переваги – покращена співпраця, швидкі зміни проєкту, високоякісне параметричне моделювання та краща комунікація з клієнтами і командами – його впровадження потребує технологічних інвестицій, навчання та організаційних змін. Попередні дослідження в Університеті Лісабона підкреслили проблеми інтероперабельності між системами, такими як Revit, Robot, SAP, ArchiCAD і ETABS, особливо при передачі аналітичних моделей, навантажень і деталювання арматури. Незважаючи на ці проблеми, BIM дозволяє конструкторам ефективно аналізувати альтернативи проєкту, підвищувати точність і зменшувати витрати на виправлення помилок, хоча питання інтероперабельності залишаються ключовою перепоною для ширшого впровадження [5].

У дослідженні Сампайо і Гомеша [3] аналіз зосереджений на інтероперабельності між двома інтегрованими програмами Autodesk: Revit, що використовується для моделювання, та Robot, що застосовується для структурних розрахунків із прямим доступом із Revit. Оскільки обидві програми походять від однієї компанії, дані передаються у власному форматі. Було використано кейс-будівлю для дослідження процесів моделювання та аналізу, де відбувається передача даних: конструктивне рішення моделюється у Revit і перевіряється аналітичний каркас; модель переноситься в Robot і перевіряється її геометрична узгодженість; у Robot виконуються структурний аналіз і деталювання арматури; дані арматури передаються назад у Revit і перевіряються; нарешті, модель завершується, а креслення та карти арматури генеруються автоматично [1].

На кожному етапі оцінюється ефективність інтероперабельності, щоб визначити, які завдання найкраще виконувати в кожному програмному забезпеченні, забезпечуючи точність даних. Під час передач моделі перевіряються конструктивні моделі, діаграми, звіти та 3D-виходи, виявляються прогалини, невідповідності та упущення. Незважаючи на обмеження, що переважно пов’язані з інтероперабельністю, процес демонструє явні переваги для розробки конструктивних проєктів на BIM-платформах.

3. МЕТОДИ

3.1. Моделювання кейс-стаді

Вибраною моделлю для розробки конструктивного проєкту в BIM-середовищі є односімейний будинок в Алгарве, Португалія (див. рис. 3.1, 3.2). Конструктивне рішення представлено у вигляді цифрових креслень та звіту, що детально описує методику розрахунку та первісні розміри елементів. Креслення фундаменту та перекриттів містять усю необхідну інформацію для створення репрезентативної BIM-моделі.



Рис. 3.1. Архітектура BIM-моделі

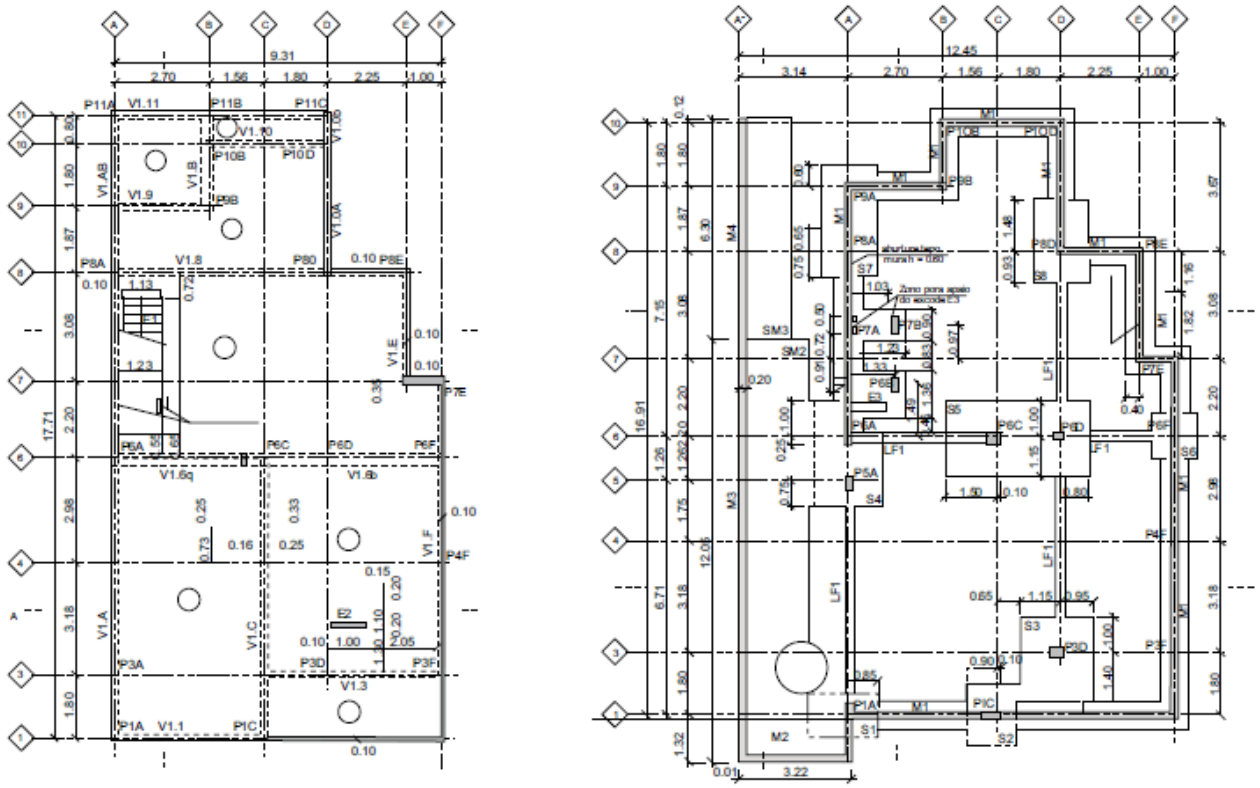


Рис. 3.2. Технічні креслення конструктивного проєкту

3.1.1. Конструктивне рішення

BIM-модель була створена за допомогою Revit (Autodesk) на основі конструктивних креслень проєкту. Вілла має два наземні поверхи та підвал, що потребує чотирьох рівнів моделювання: фундамент, перший поверх, другий поверх та дах (див. рис. 3.3, 3.4). Конструкція виконана з залізобетону (RC).

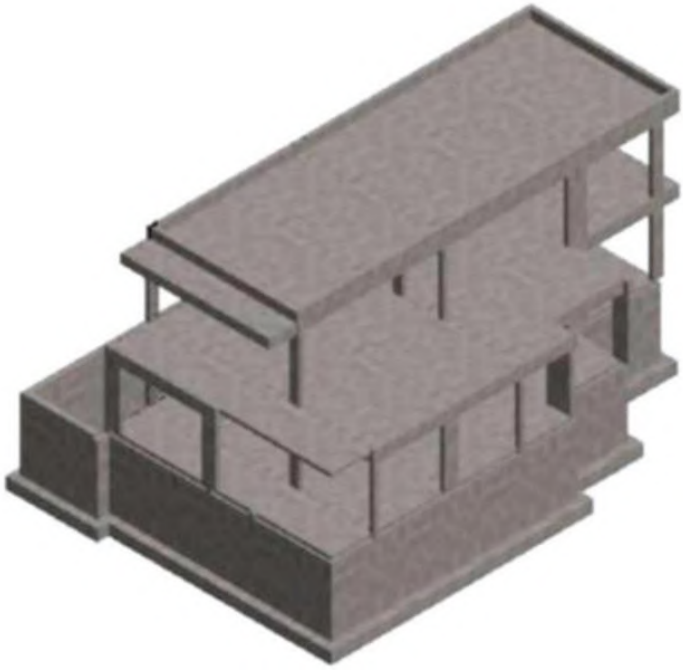


Рис. 3.3. 3D-перспектива конструктивної BIM-моделі

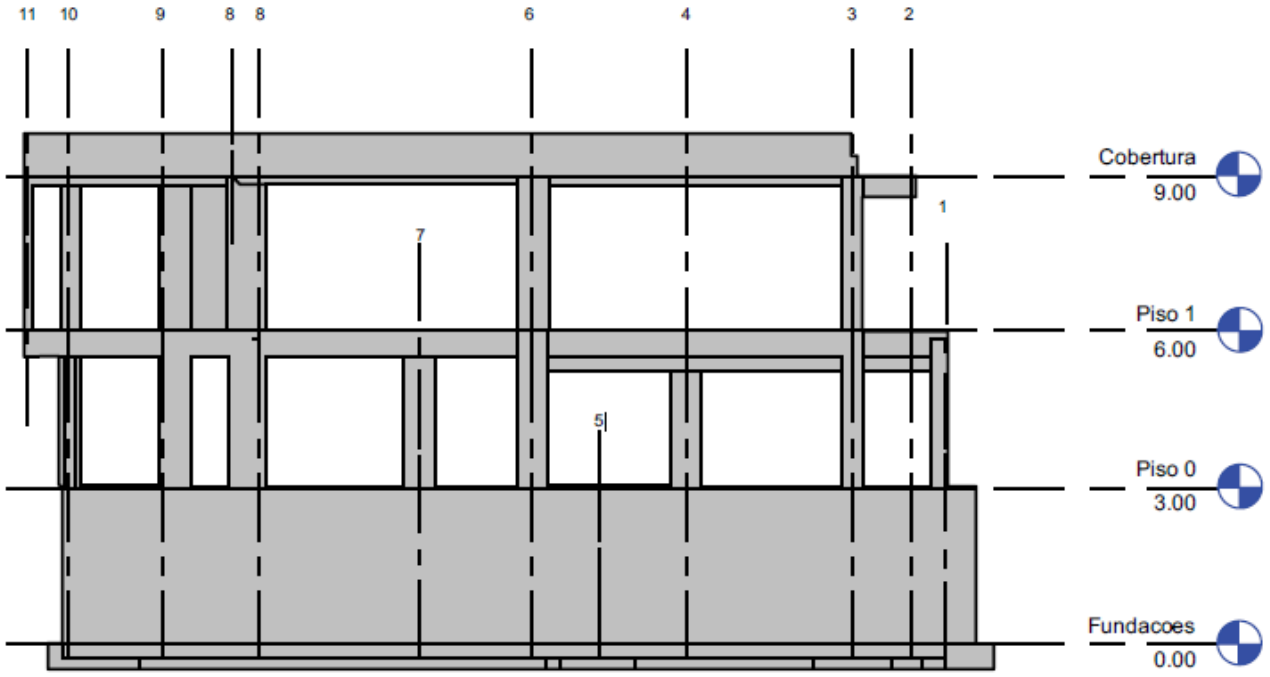


Рис. 3.4. Фасадний вигляд конструктивної BIM-моделі

Під час створення моделі були використані параметричні елементи, такі як колони, несучі стіни, балки та плити (див. рис. 3.5–3.7), кожен з яких був зв’язаний з відповідними характеристиками матеріалів – бетону та сталі (див. табл. 3.1).

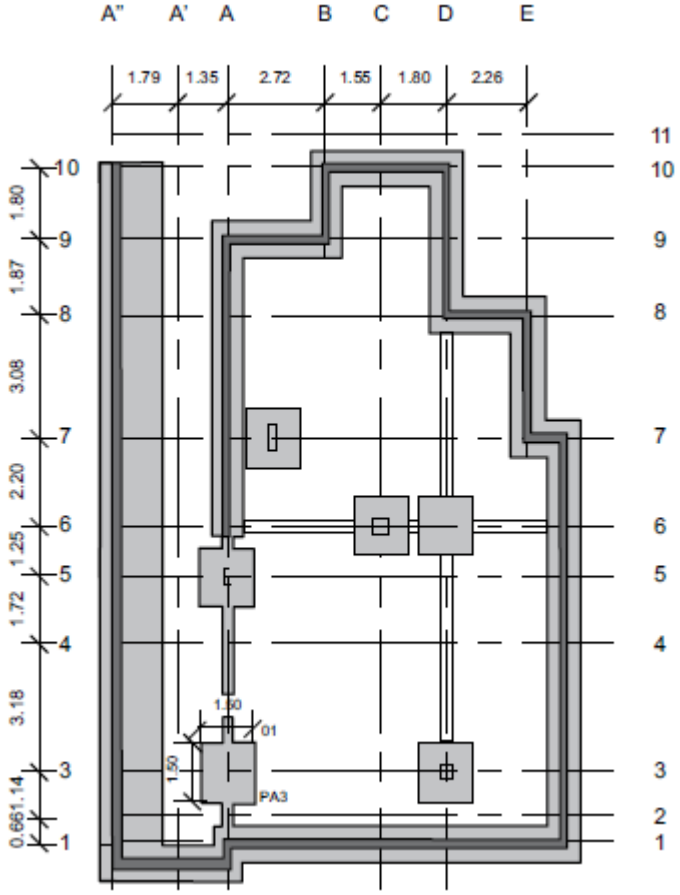


Рис. 3.5. План фундаменту конструктивної моделі

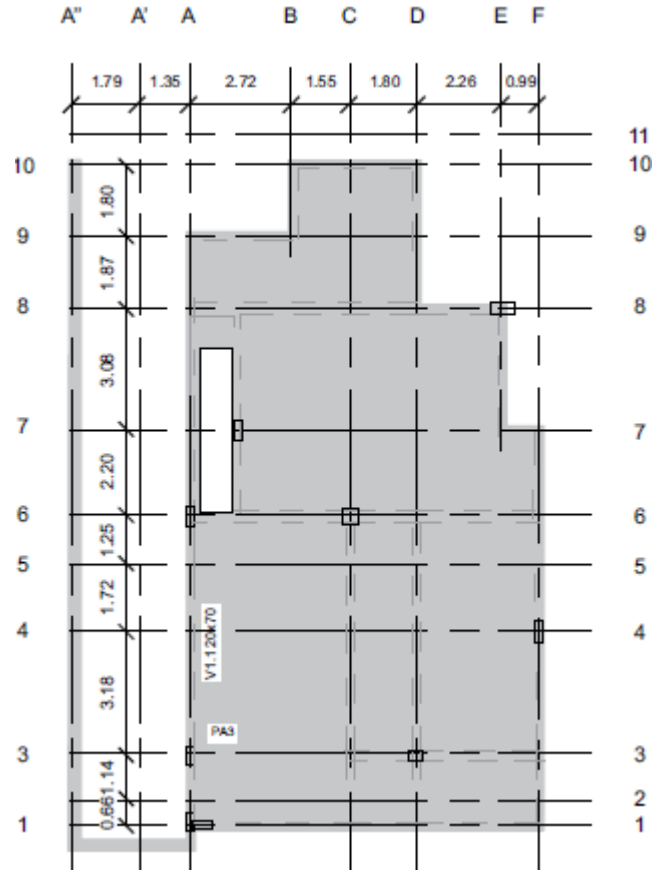


Рис. 3.6. План першого поверху конструктивної моделі

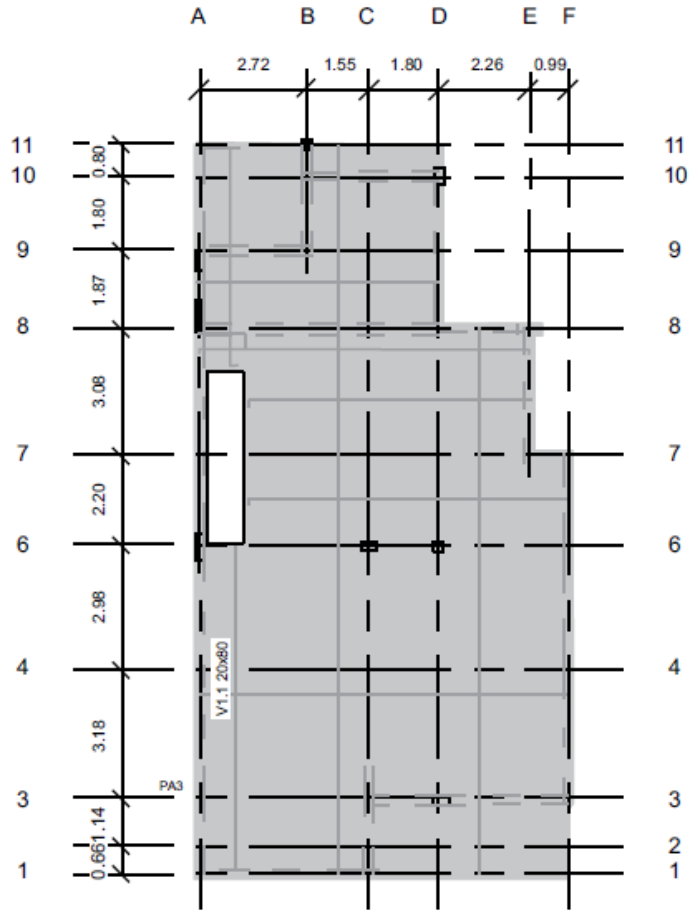


Рис. 3.7. План другого поверху конструктивної моделі

Таблиця 3.1.

Характеристики конструктивних матеріалів

Матеріал	f_{ck} МПа	f_{cd} МПа	f_{ctm} МПа	E_{cm} ГПа	γ_c кН/м^3	f_{yk} МПа	f_{yd} МПа	E_s ГПа	ε_y	γ_s кН/м^3
Бетон C30/37	30.0	20.0	2.9	33.0	24.0	–	–	–	–	–
Сталь A500 NR SD	–	–	–	–	–	500	435	200	2.18×10^{-3}	30.0

Плита з бетону розрахована з балками та однорідною товщиною 160 мм по всіх панелях на обох поверхах. На першому поверсі передбачені несучі периферійні стіни, а також включені центральні колони, що проходять через усі верхні рівні. Система фундаментів є простою і складається з стрічкових фундаментів під периферійними стінами та ізольованих фундаментів під центральними колонами, всі вони з'єднані фундаментними балками.

Модель створюється за допомогою сітки осей, розміщеної безпосередньо на імпортованих DWG-кресленнях (див. рис. 3.8). Моделювання починається з колон, далі додаються стіни, балки (див. рис. 3.9), плити та нарешті фундаменти (див. рис. 3.10).

Програмне забезпечення надає параметричні бібліотеки конструктивних елементів, кожен із яких налаштований під необхідні розміри перерізу (див. табл. 3.2), товщини та призначений матеріал із відповідними механічними властивостями.

Кожен елемент конструктивної сімейства містить дані, необхідні для аналітичної дискретизації. Наприклад, балка дискретизується вздовж своєї осі (див. рис. 4.1) і пов'язується з її площею перерізу та моментом інерції – ключовими параметрами для конструктивного аналізу.

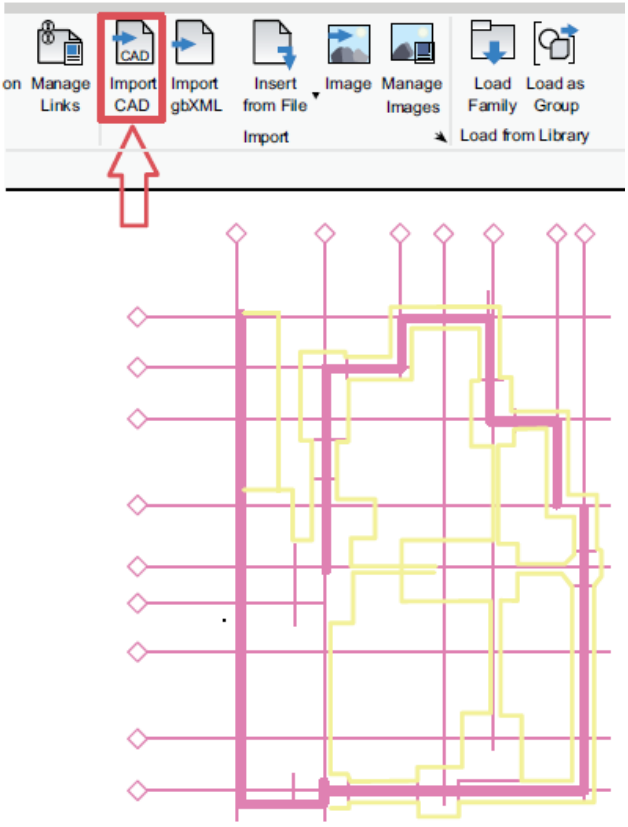


Рис. 3.8. Процес імпорту креслень у Revit

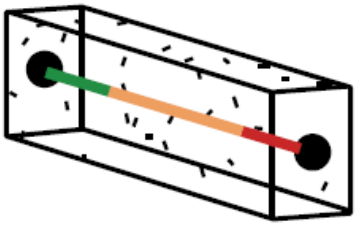


Рис. 3.9. Геометричне та аналітичне представлення балки

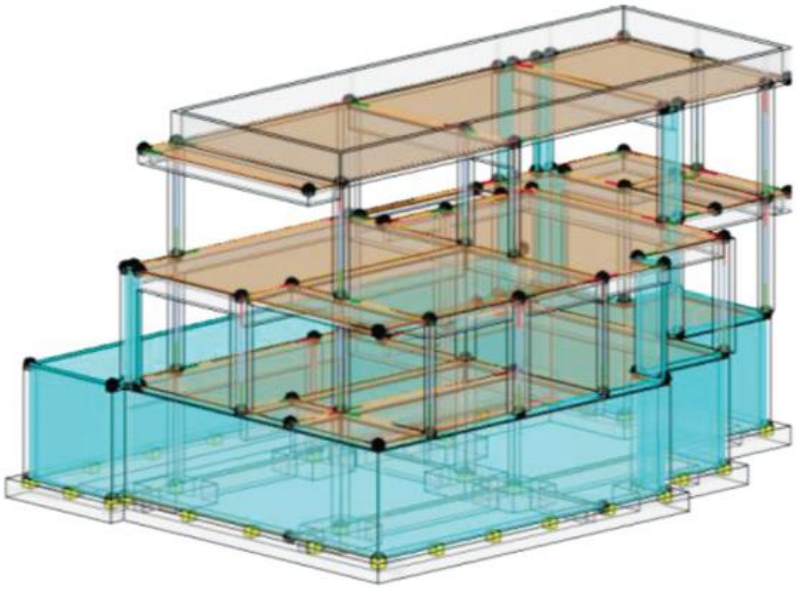


Рис. 3.10. Аналітичне представлення конструктивного рішення

Таблиця 3.2.

Створення балки в редакторі Revit

Сімейство	Бетон-прямокутне	Навантаження
Тип:	V20×30	Дублювати
		Перейменувати
	Параметри типу	
	Конструктивні	
	Форма перерізу	
	Розміри	
	b	200
	h	500

У системі моделювання виконується початкова геометрична перевірка, щоб перевірити узгодженість вузлів з'єднання між елементами, із внесенням виправлень на основі аналітичного представлення конструкції. На будь-якому етапі програмне забезпечення може одночасно відображати геометричну та аналітичну моделі та застосовувати фільтри для виявлення помилок, щоб виявити невідповідності у з'єднаннях елементів, які інженер-моделювальник повинен виправити (див. рис. 3.11).

Навантаження можуть застосовуватися безпосередньо у Revit, створюючи різні постійні та змінні навантаження та необхідні комбінації навантажень (див. табл. 3.3). Однак для сейсмічного аналізу використовується лише Robot, оскільки він забезпечує коректне та повне призначення навантажень і комбінацій відповідно до чинних норм. Тому, хоча Revit може представляти більшість навантажень і комбінацій, усі навантаження та комбінації були застосовані в Robot (див. рис. 3.12).

Таблиця 3.3.

Випадки і комбінації навантажень, які призначені моделі

Випадки навантажень				Категорія	
Назва		Номер випадку	Характер навантаження		
1	DL1	1	Постійне	Постійні навантаження	
2	SC2	3	Тимчасове	Тимчасові навантаження	
3	SC1	4	Тимчасове	Тимчасові навантаження	
4	RCP	2	Постійне	Постійні навантаження	
5	Modal	5	Постійне	Постійні навантаження	
Комбінації навантажень				Тип	Стан
	Назва	Формула			
1	ELU	1.35×CL1+1.35×RCP+1.5×RC2		Комбінація	Граничний
2	ELS+CQ	1.0×CL1+1.0×RCP+0.3×RC2		Комбінація	Експлуатаційний

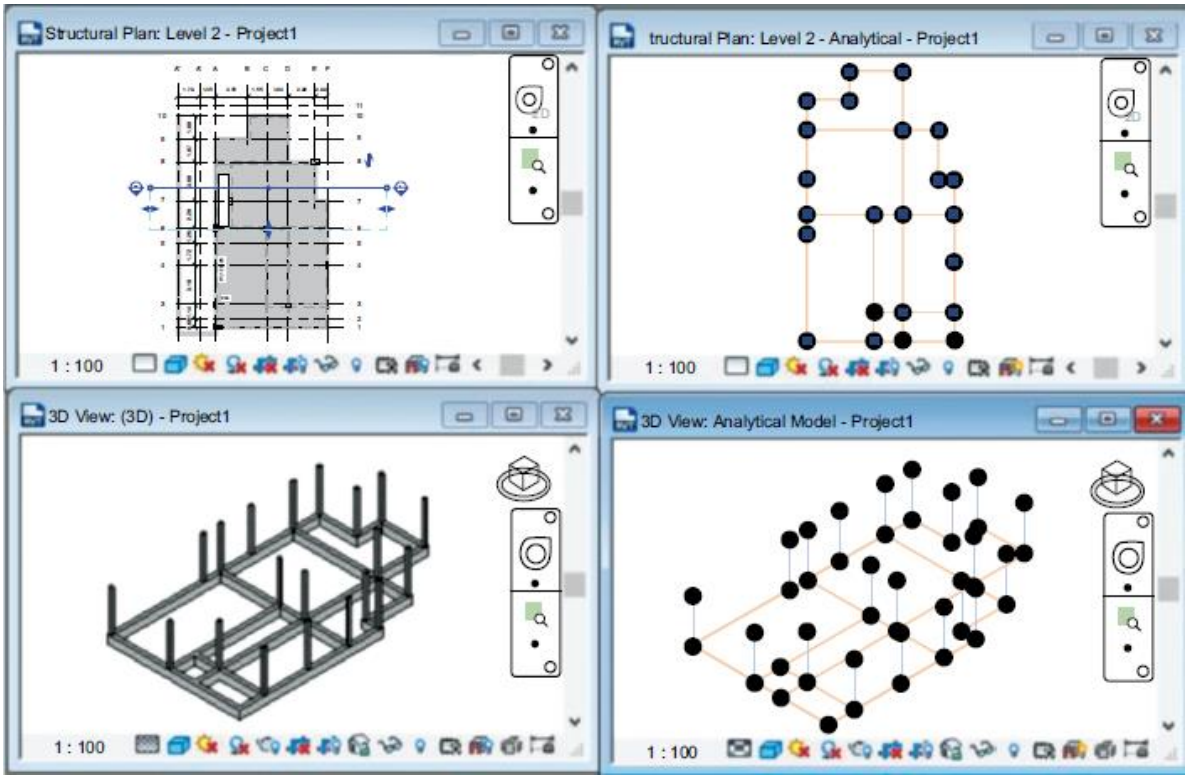


Рис. 3.11. Порівняльне представлення геометричної та аналітичної моделей

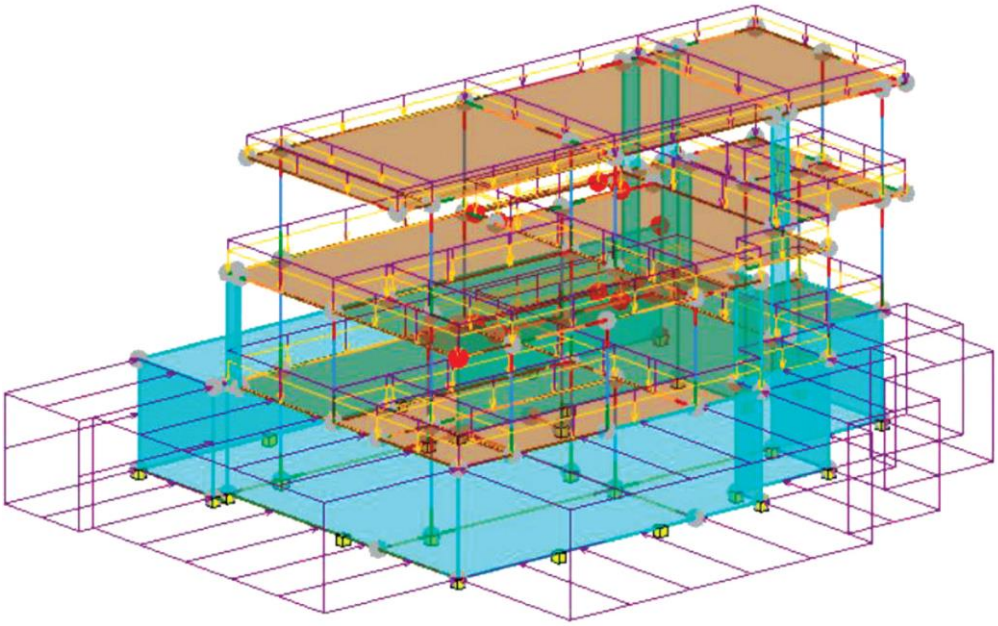


Рис. 3.12. Застосування навантажень

3.1.2. Передача моделі

Проєктування конструкцій вимагає використання системи для розрахунку несучої здатності. У BIM-процесі структурна модель передається в аналітичний інструмент, часто за допомогою універсального формату Industry Foundation Classes (IFC). Проте передача через IFC може спричиняти проблеми сумісності, що призводить до помилок, пропусків і дублювання даних.

Згідно з дослідженням Сампайо та Гомеша [3], модель, створену в Revit, було передано до Robot – аналітичного інструмента Autodesk – у рідному форматі, що забезпечує кращу сумісність. Незважаючи на це, під час передачі були виявлені деякі помилки, переважно через регіональні відмінності та невідповідності параметрів:

1. Бетон C30/37 зберіг своє позначення, однак значення механічних характеристик потребували коригування.

2. Розміри перерізів і товщини були правильними, але положення елементів вимагали уточнення; верхні поверхні балок і плит потрібно було вирівняти, за винятком верхнього поверху.

3. Навантаження були передані з корекціями, проте комбінації навантажень і коефіцієнти надійності не повністю відповідали станам граничної рівноваги (LLS) та експлуатаційної придатності (SLS).

Після усунення зазначених недоліків було проведено структурний аналіз, обчислено зусилля, перевірено попереднє проєктування та визначено деталі армування.

4. СТРУКТУРНИЙ АНАЛІЗ

Структурні зусилля були визначені шляхом 3D-аналізу, який передбачав лінійно-еластичну поведінку матеріалів і геометричну лінійність. Розрахунки виконувалися відповідно до чинних нормативів щодо навантажень, проєктування залізобетону та сейсмостійкості.

Постійні навантаження включають власну вагу конструктивних елементів (77,5 кН/м^3 для бетону, 55 кН/м^3 для сталі), ненесучі стіни, покриття, а також тиск ґрунту на стіни фундаменту (20 кН/м^2).

Змінні навантаження враховують нормативне використання: 2 кН/м^2 для поверхів 0 та 1, і 1 кН/м^2 для покрівлі.

Сейсмічні навантаження визначалися з урахуванням розташування будівлі в регіоні Алгарве, у сейсмічних зонах 1.3 та 2.3, з прискореннями 1,5 м/с^2 та 1,7 м/с^2 відповідно, і типом ґрунту B.

Комбінації навантажень були визначені відповідно до чинних стандартів для граничного стану міцності (ULS) та граничного стану придатності до експлуатації (SLS).

Під час перевірок конструкцій враховувалися деформації та розтріскування, із контролем мінімальної кількості арматури, кроку та діаметра стрижнів.

Граничні прогини становлять l/250 для суцільних плит і балок під дією майже постійних навантажень, та l/500 у зонах перегородкових стін.

Постійні та змінні навантаження були застосовані коректно; при цьому коефіцієнти надійності у комбінаціях були відкориговані, а сейсмічна дія додана.

Програма Robot забезпечує зручне застосування навантажень і визначення їх комбінацій, тому рекомендується імпортувати модель без навантажень і накладати їх безпосередньо в середовищі Robot.

4.1. Результати структурного аналізу

Аналіз структурних зусиль підтверджує відповідність початково встановленого попереднього розміру елементів. Зусилля представлені як для окремих комбінацій навантажень, так і у вигляді конвертів усіх комбінацій, що дозволяє перевірити конструкцію за умов ULS та SLS. Напруження та деформації візуалізуються через 2D-діаграми або 3D-моделі (див. рис. 4.1, 4.2).

Програмне забезпечення виконує динамічний аналіз для сейсмічних навантажень, надаючи результати у вигляді числових таблиць та динамічних анімацій, що демонструють режими коливань конструкції (див. рис. 4.3, табл. 4.1).

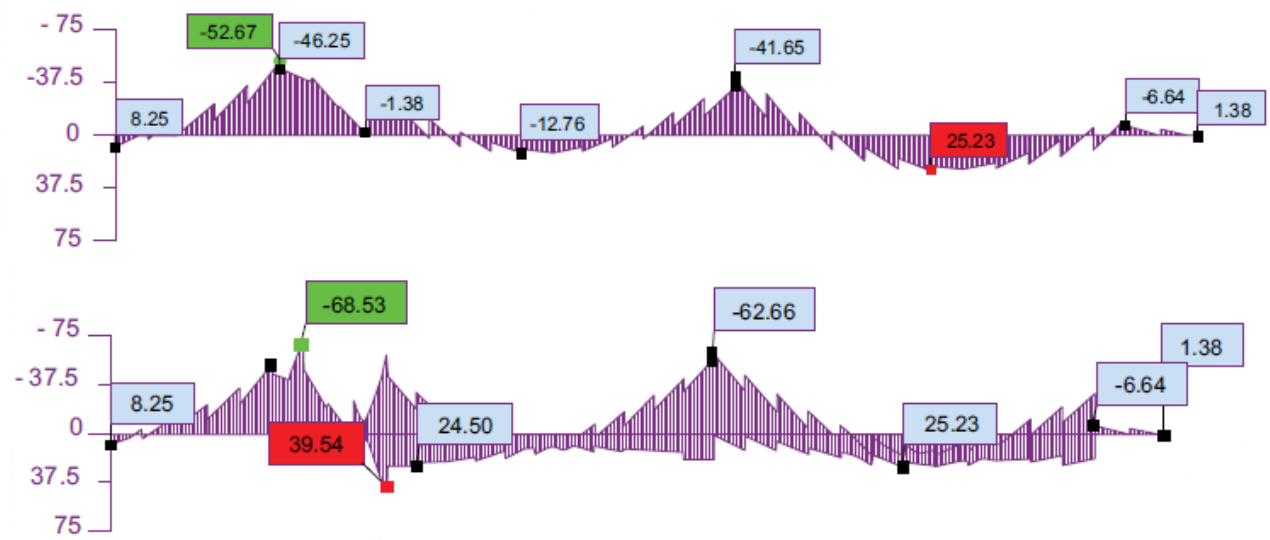


Рис. 4.1. Діаграми згинальних моментів для балок

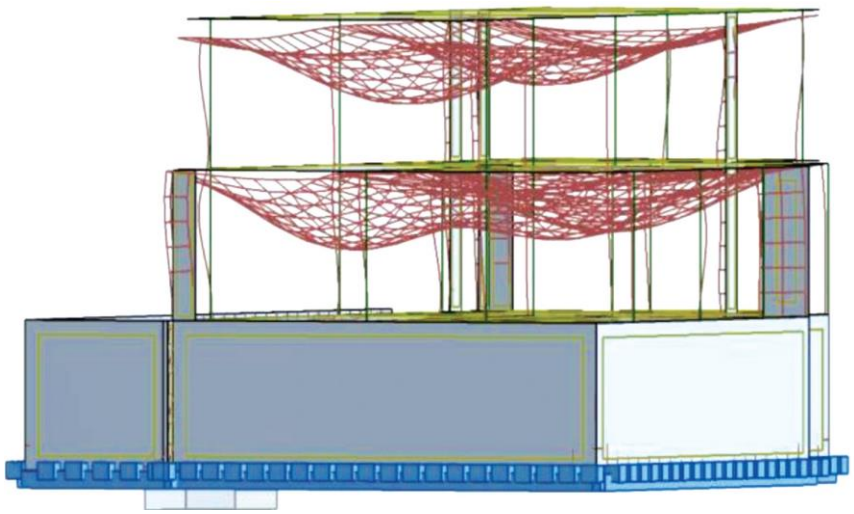


Рис. 4.2. Діаграми деформацій плит

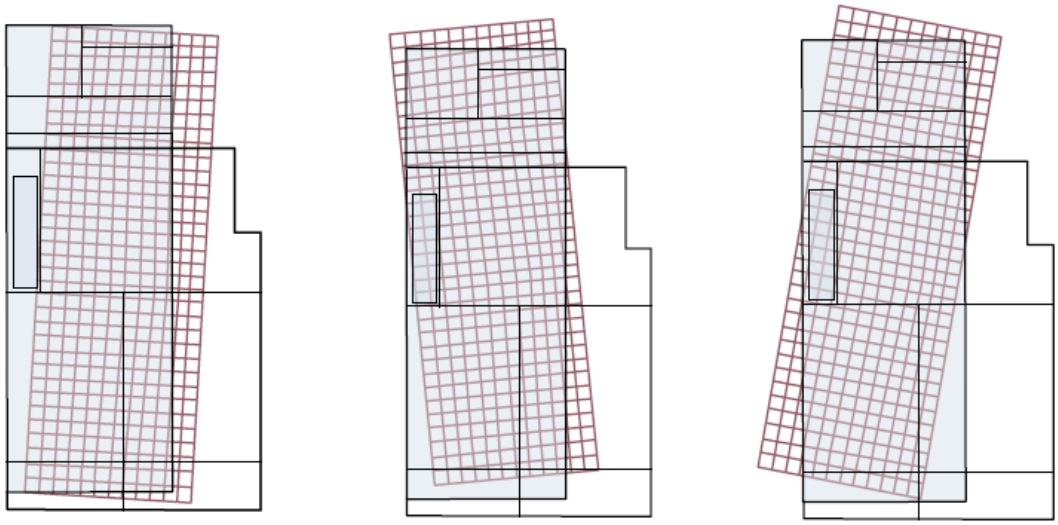


Рис. 4.3. Режими коливань

Таблиця 4.1.

Зсуви моделі по осях *X* та *Y*

Режим	Частота (Гц)	Період (с)	Зсув по *X*		Зсув по *Y*	
			UX (%)	SUX (%)	UY (%)	SUY (%)
1	3.28	0.30	46.77	46.77	3.70	3.70
2	3.70	0.27	16.58	63.35	23.75	24.45
3	4.43	0.23	0.89	64.24	55.69	83.14
4	8.07	0.12	34.86	99.10	0.00	83.14
5	8.42	0.12	0.00	99.10	6.35	83.49
6	12.19	0.08	0.04	99.14	9.70	99.18

4.2. Деталювання арматури

Необхідні площі арматури для кожного елемента визначаються на основі обчислених зусиль. Програмне забезпечення дозволяє автоматичне деталювання арматури, кероване параметрами, встановленими проєктувальником. Рис. 4.4 та 4.5 показують деталі арматури балки VA на поверсі 0, згенеровані через інтерфейс системи з урахуванням обчисленої площі арматури (див. табл. 4.2).

Арматура для колони підвалу P1 деталізується на основі складеного згинального зусилля (див. рис. 4.6, 4.7). Використовуючи можливості програмного забезпечення, можна також виконати попереднє розміщення та розміри фундаментів і плит, причому результати представлені у вигляді таблиць, діаграм або розрахункових приміток (див. рис. 4.8, 4.9 та табл. 4.3).

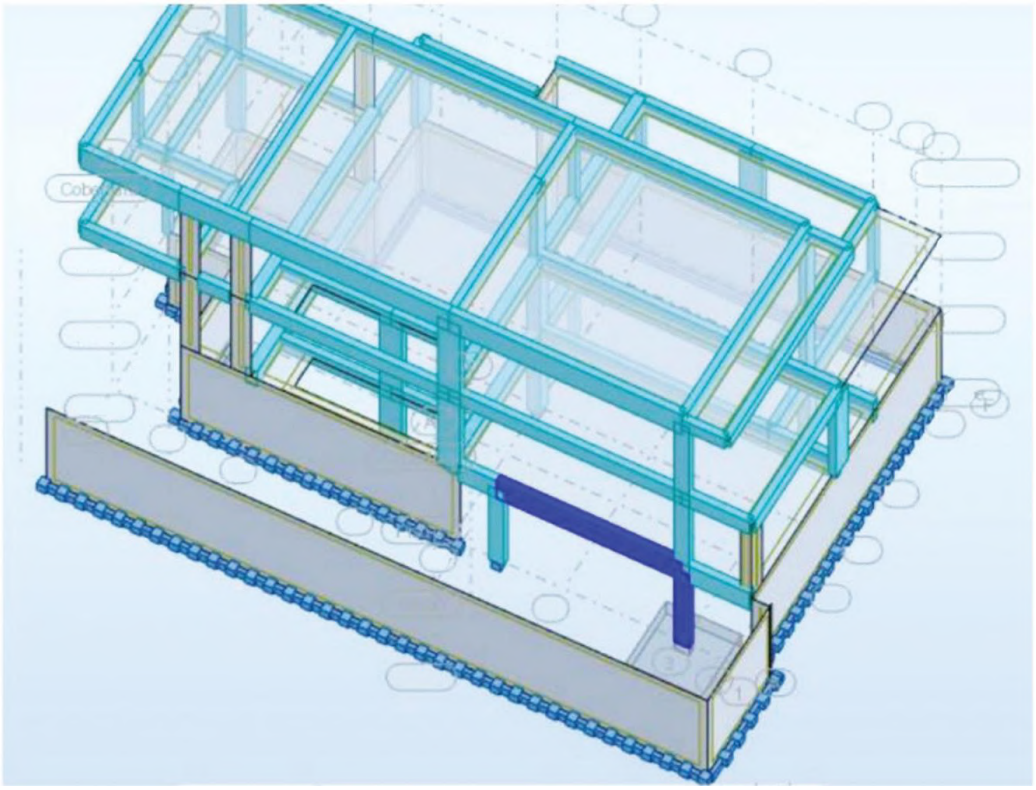


Рис. 4.4. Вибір балки в моделі

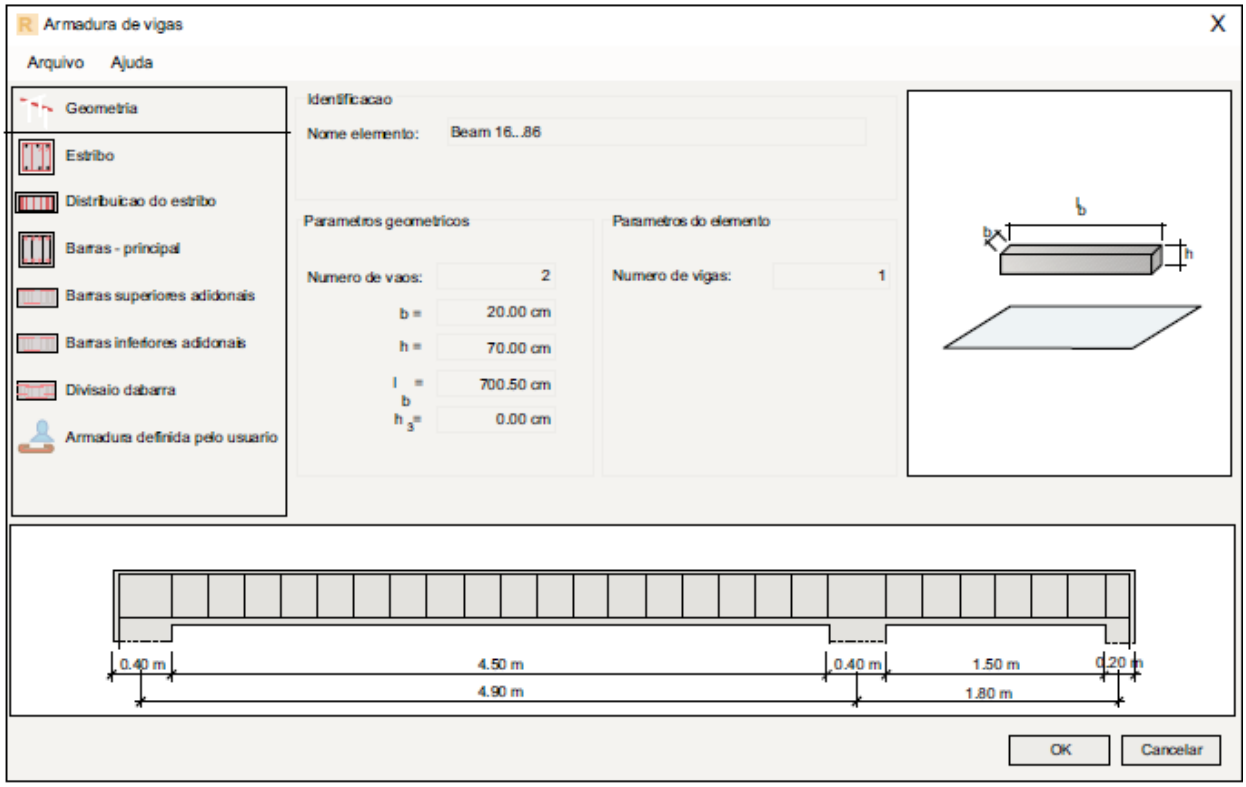


Рис. 4.5. Інтерфейс проєктування арматури балки

Table 4.2.

Необхідні площі арматури для балки

M (кН×м)	M_{ed} (кН×м)	A_s (см^2) необх.	Рішення	b (м)	d (м)	f_{cd} (кПа)	f_{yd} (МПа)
$M+_{min}$	24.94	0.88	2F16	0.20	0.66	20000	434782.6
$M-_{max}$	32.60	1.15					

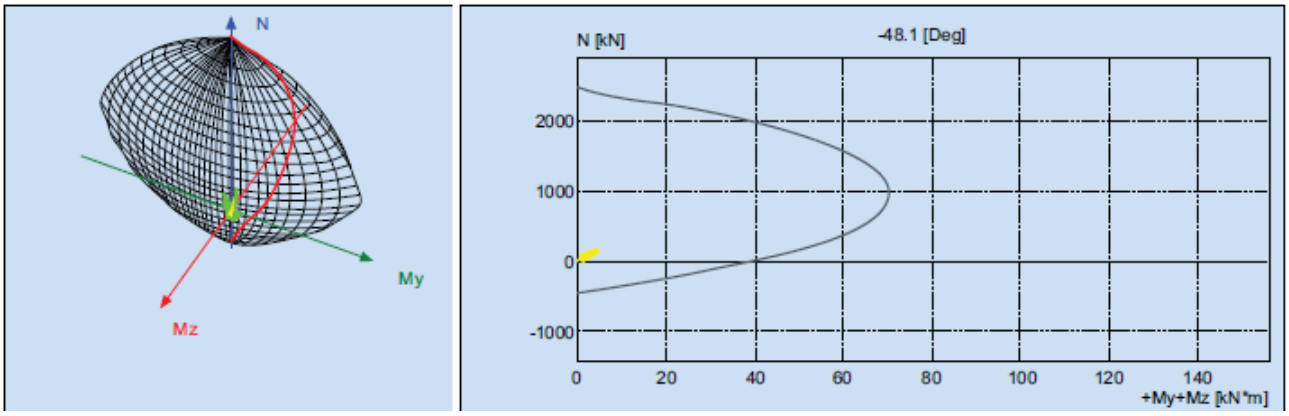


Рис. 4.6. Діаграма взаємодії колони
за нормальними зусиллями та моментами (N-M)

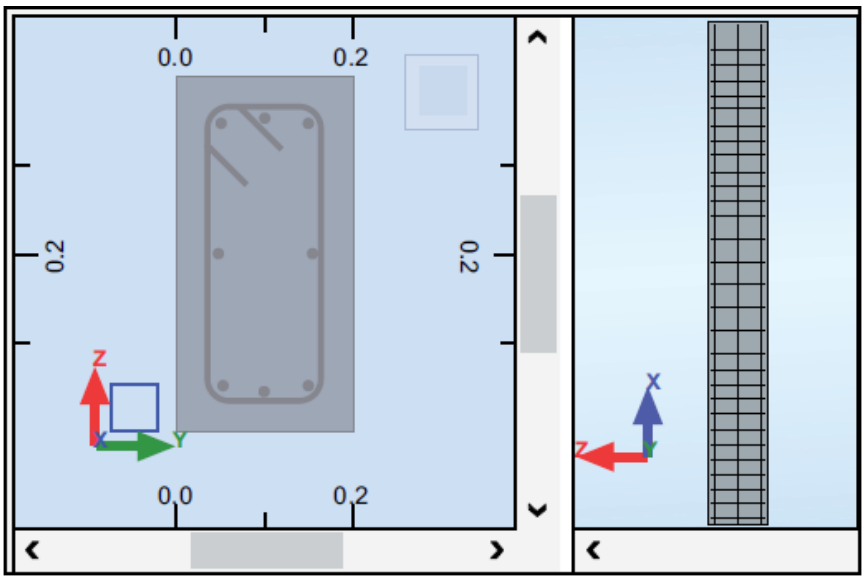


Рис. 4.7. Зображення арматури колони

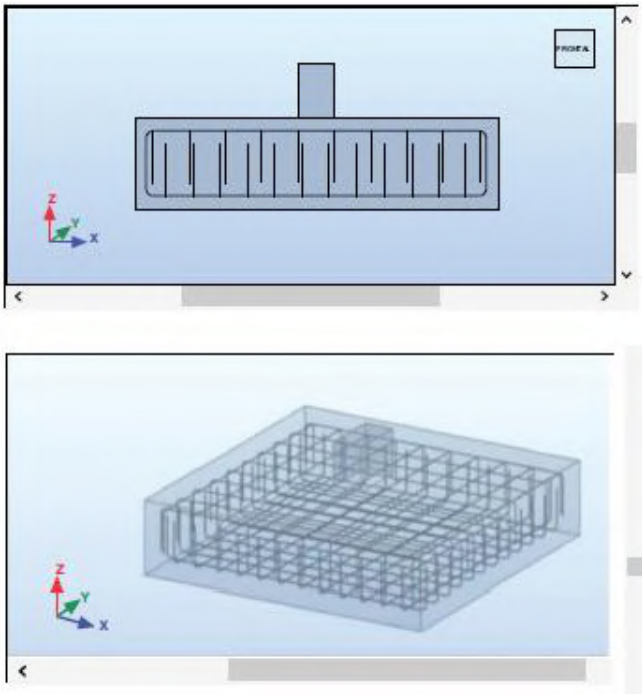


Рис. 4.8. Деталювання арматури фундаменту

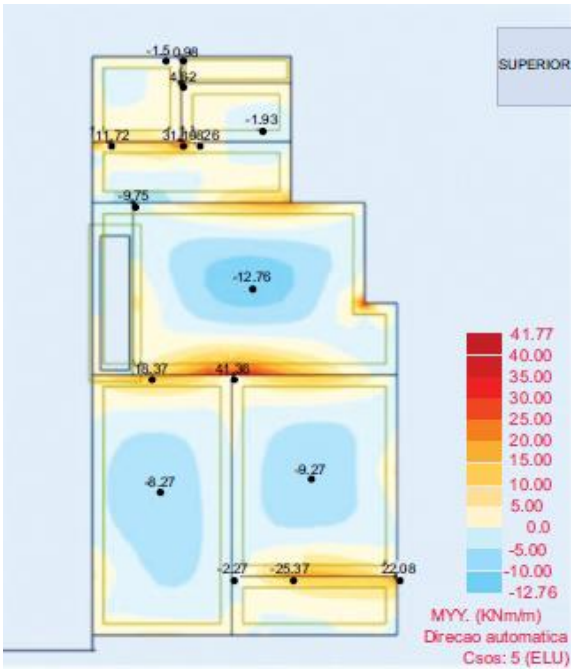


Рис. 4.9. Діаграма згинальних моментів плити 1-го поверху

Таблиця 4.3.

Площі арматури у фундаментах

Фундаменти	$A_{s,int}$ (Рішення)	$A_{s,int}$ (см^2/м)	$A_{s,sup}$ (Рішення)	$A_{s,sup}$ (см^2/м)
Напрямок *x–x*	F12//0.15	7.54	F10//0.20	3.93
Напрямок *y–y*				

4.3. Передача інформації про арматуру

Методологія BIM базується на централізації інформації про проєкт на одній платформі, включно з геометричними моделями, кресленнями, таблицями та звітами з аналізу. Результати структурного аналізу необхідно передавати назад у початкову модель. Цей етап часто є проблематичним через залишкові неточності, незважаючи на технологічний прогрес і вдосконалення формату IFC.

При передачі даних про арматуру з Robot у Revit виникають деякі невідповідності. Наприклад, безперервні балки в Robot, що перекривають кілька суміжних прольотів, у Revit моделюються окремо, що призводить до повторного розміщення арматури для кожного прольоту. Це виправляється шляхом видалення зайвих елементів арматури (див. рис. 4.10).

Revit не розпізнає арматуру фундаментів, оскільки початкова передача трактувала фундаменти як прості опори без розмірів. Аналогічно, дані про арматуру плит з Robot не розпізнаються у Revit. Щоб усунути ці проблеми, деталювання арматури має бути завершене або скориговане за допомогою інструментів Revit та розширень Reinforcement (див. рис. 4.11–4.13), які дозволяють інтуїтивне, частково автоматизоване створення арматури та копіювання її між схожими елементами.

Robot також генерує детальні креслення, що підтримують моделювання та графічну документацію (див. рис. 4.14).

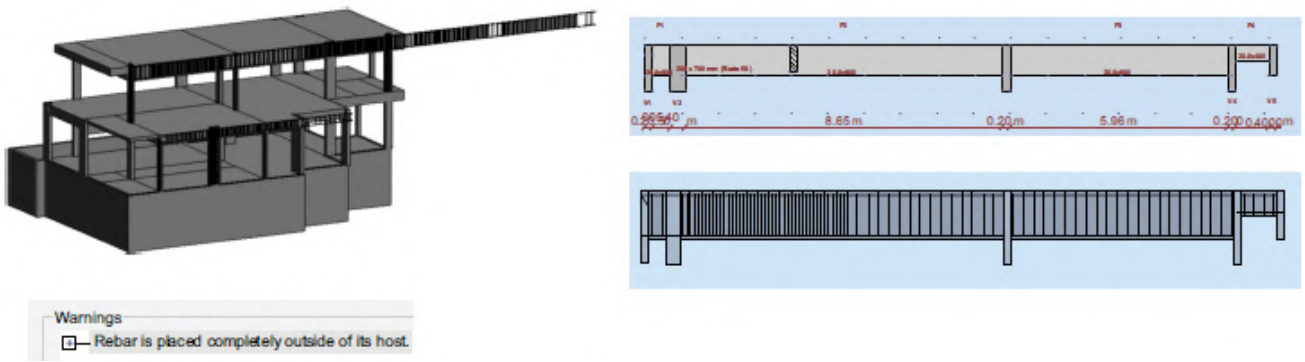


Рис. 4.10. Помилка при передачі в Revit через визначення балки як безперервної на всіх прольотах у Robot

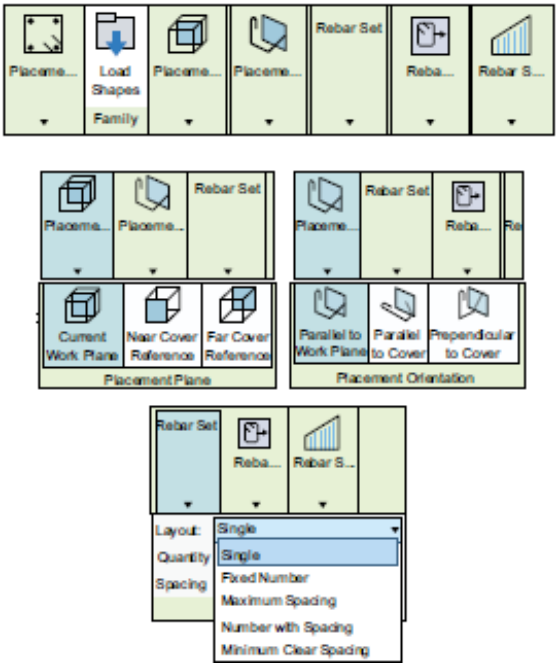


Рис. 4.11. Інтерфейси розширень арматури Revit: типи елементів

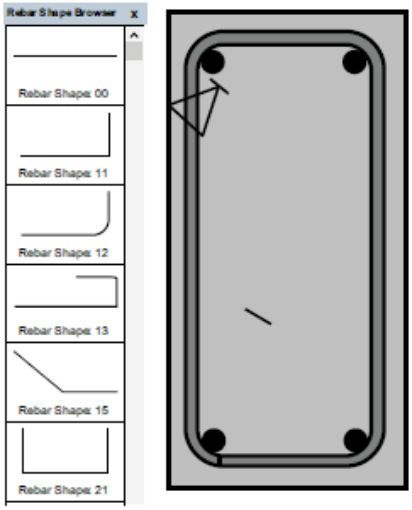


Рис. 4.12. Інтерфейси розширень арматури Revit: балка

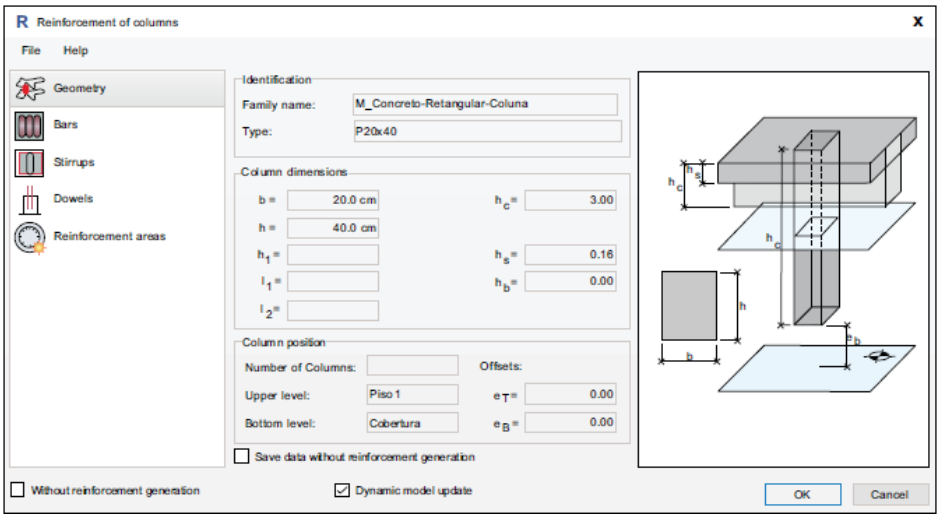


Рис. 4.13. Інтерфейси розширень арматури Revit: колони

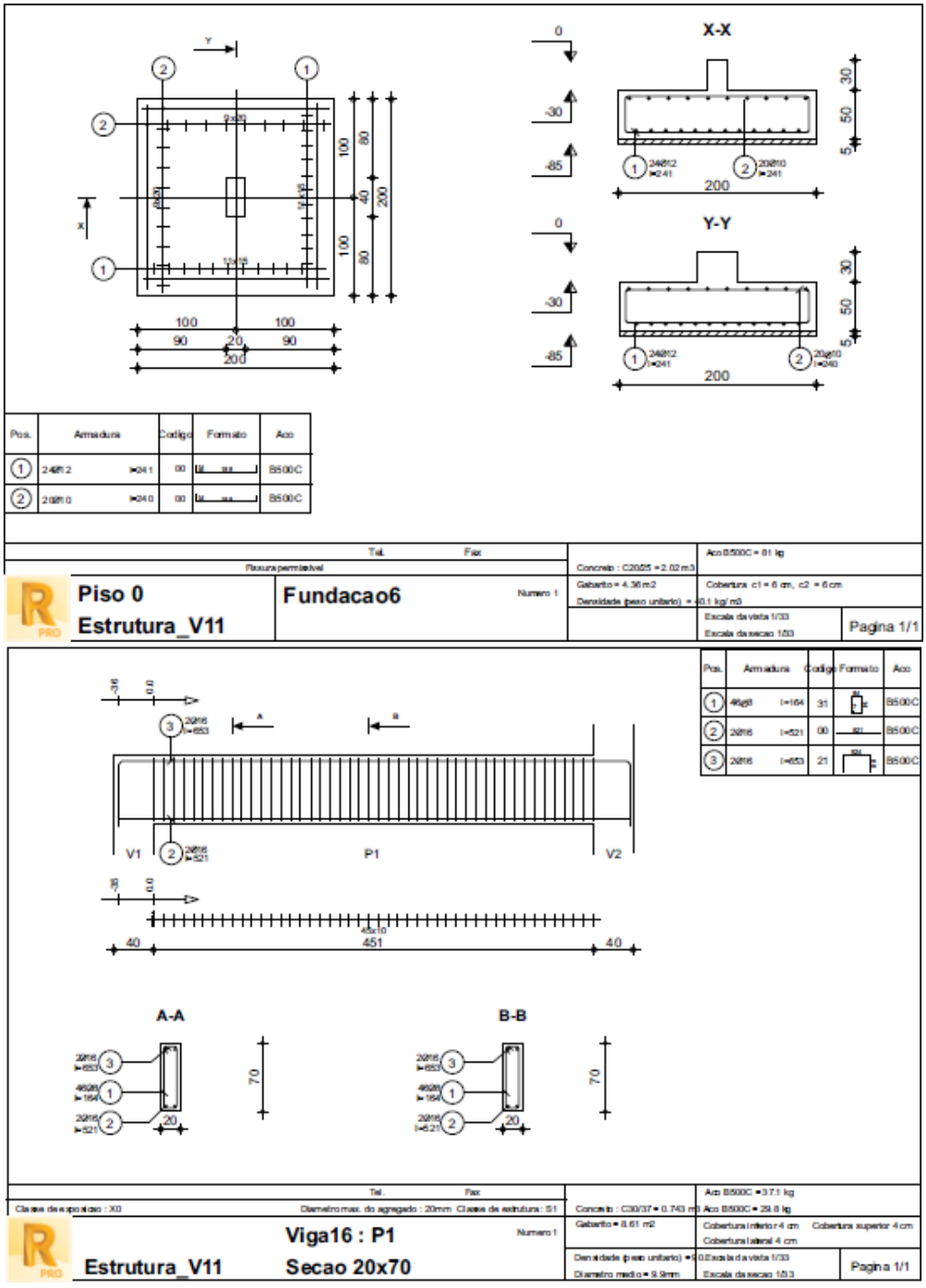


Рис. 4.14. Аркуші креслень, згенеровані автоматично програмою Robot

Ці представлення були збережені у форматі DWG в Robot та імпортовані в Revit для моделювання відсутньої арматури. Після моделювання арматури для всіх елементів BIM-модель стає повною. Традиційні вихідні документи проєкту, такі як креслення та таблиці результатів, можна легко генерувати за допомогою вбудованих функцій Revit.

4.4. Креслення та кількість арматури

Креслення та таблиці кількостей матеріалів створюються на основі повної, оновленої моделі. Інструменти BIM дають змогу динамічно формувати та зберігати проєкції, розрізи й таблиці безпосередньо з моделі. У процесі розвитку проєкту, із внесенням змін і коригувань, ці креслення та таблиці автоматично оновлюються. Це забезпечує узгодженість даних і дає змогу ефективно отримувати інформацію для проєктної документації, кошторисування, планування технічного обслуговування або управління будівлею.

4.5. Графічні документи

Армування було змодельовано для всіх елементів за допомогою інструмента Extensions Reinforcement, що дало змогу створювати креслення та таблиці. Хоча передавання графіки з Robot до Revit досі потребує певних доопрацювань, значна частина документації формується автоматично в Robot і імпортується до Revit. Це демонструє, що інструменти BIM суттєво спрощують процес створення технічних креслень для конструкторів. Геометрична модель слугує основою для креслень, усуваючи потребу у ручному формуванні розрізів, фасадів і планів. Креслення відповідають певним виглядам або проєкціям моделі й зберігаються на платформі як динамічні, окремі схеми (див. рис. 4.15, 4.16).

Revit використовує сімейства (families) для керування елементами, такими як лінії, текст і розміри (див. рис. 4.17, 4.18). Позначення (анотації) на кожному кресленні можна налаштувати відповідно до стандартів конструкторської документації. Проте для динамічного редагування блоків потрібен певний досвід користувача.

Revit автоматично розпізнає арматуру при відображенні поперечного перерізу балки, але позначає лише один поздовжній стрижень і одне хомутове кільце. Зазвичай потрібно позначати всі поздовжні стрижні та крок хомутів (див. рис. 4.9, 4.20). Необхідне додаткове опрацювання анотацій, однак при оновленні поперечного перерізу відповідні позначення змінюються автоматично.

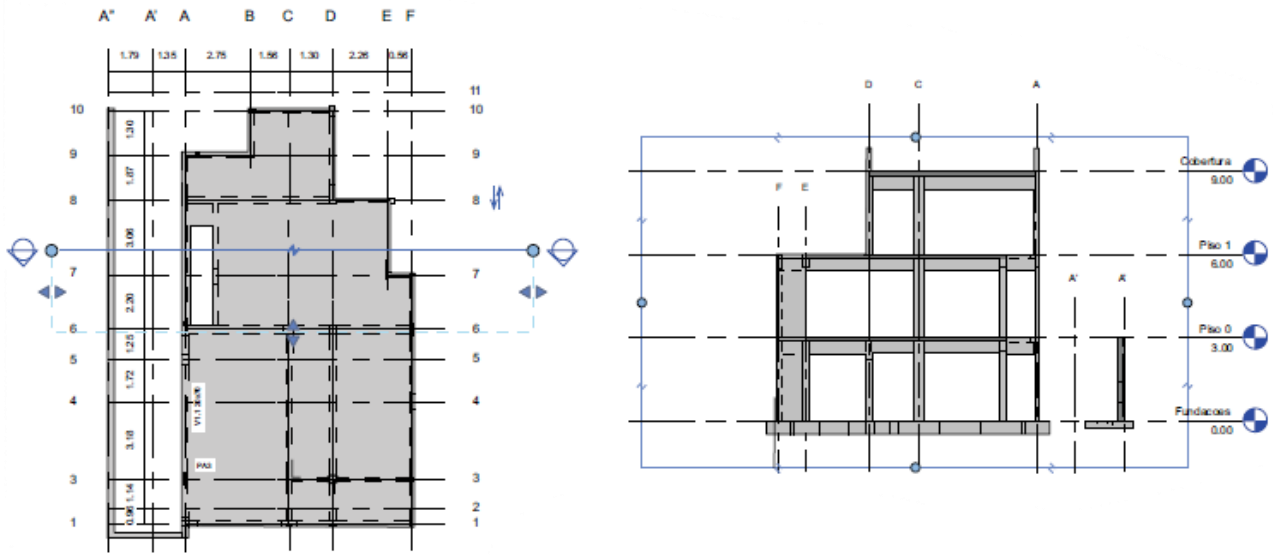


Рис. 4.15. Вертикальний розріз, згенерований на плані другого поверху

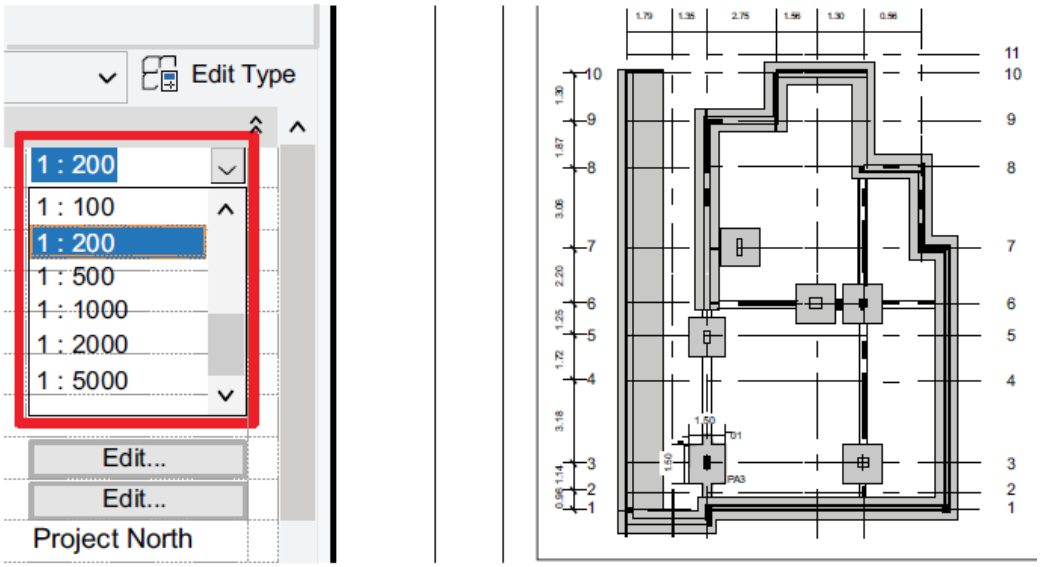


Рис. 4.16. Вибір масштабу для відображення креслень фундаменту

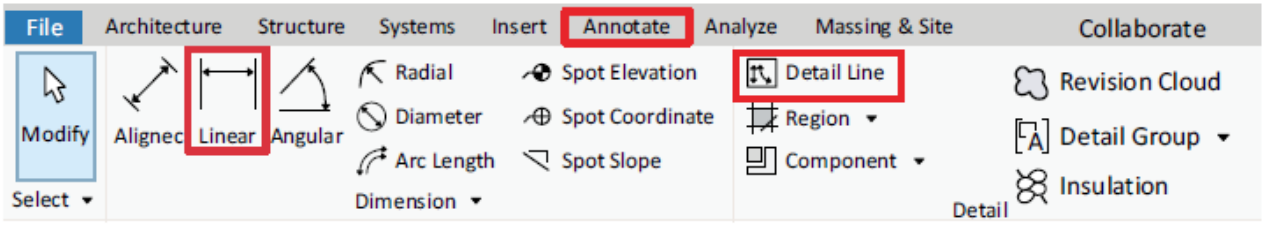


Рис. 4.17. Меню інструментів нанесення розмірів

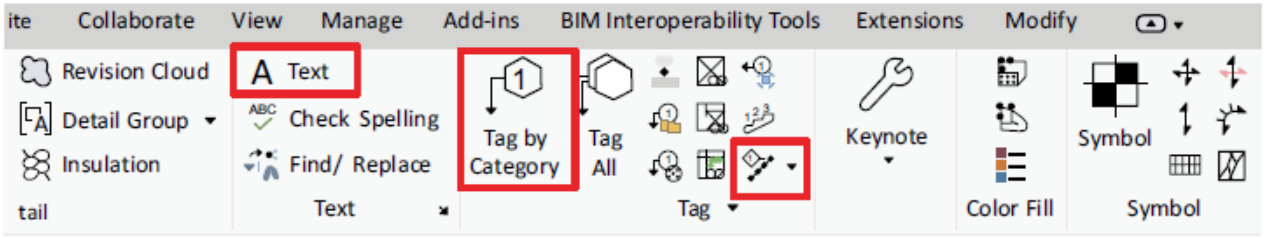


Рис. 4.18. Підписи та анотації

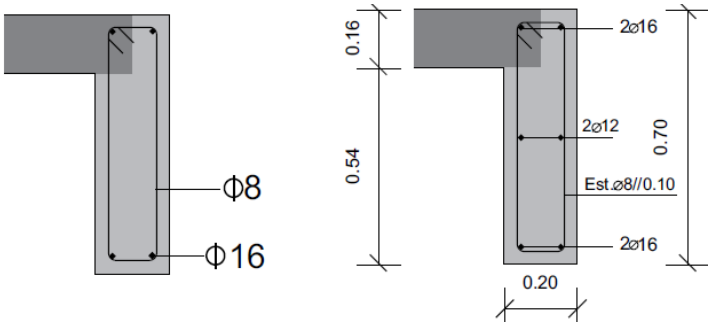


Рис. 4.19. Автоматичне (ліворуч) і ручне (праворуч) деталювання армування балки

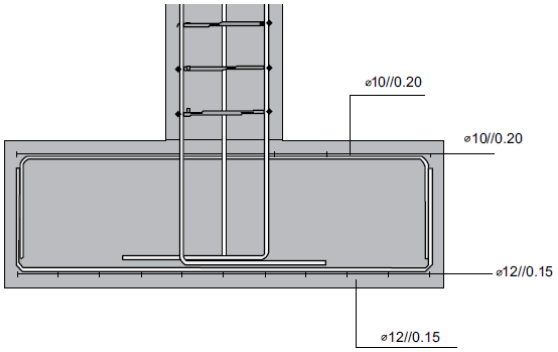


Рис. 4.20. Ручне деталювання армування фундаменту

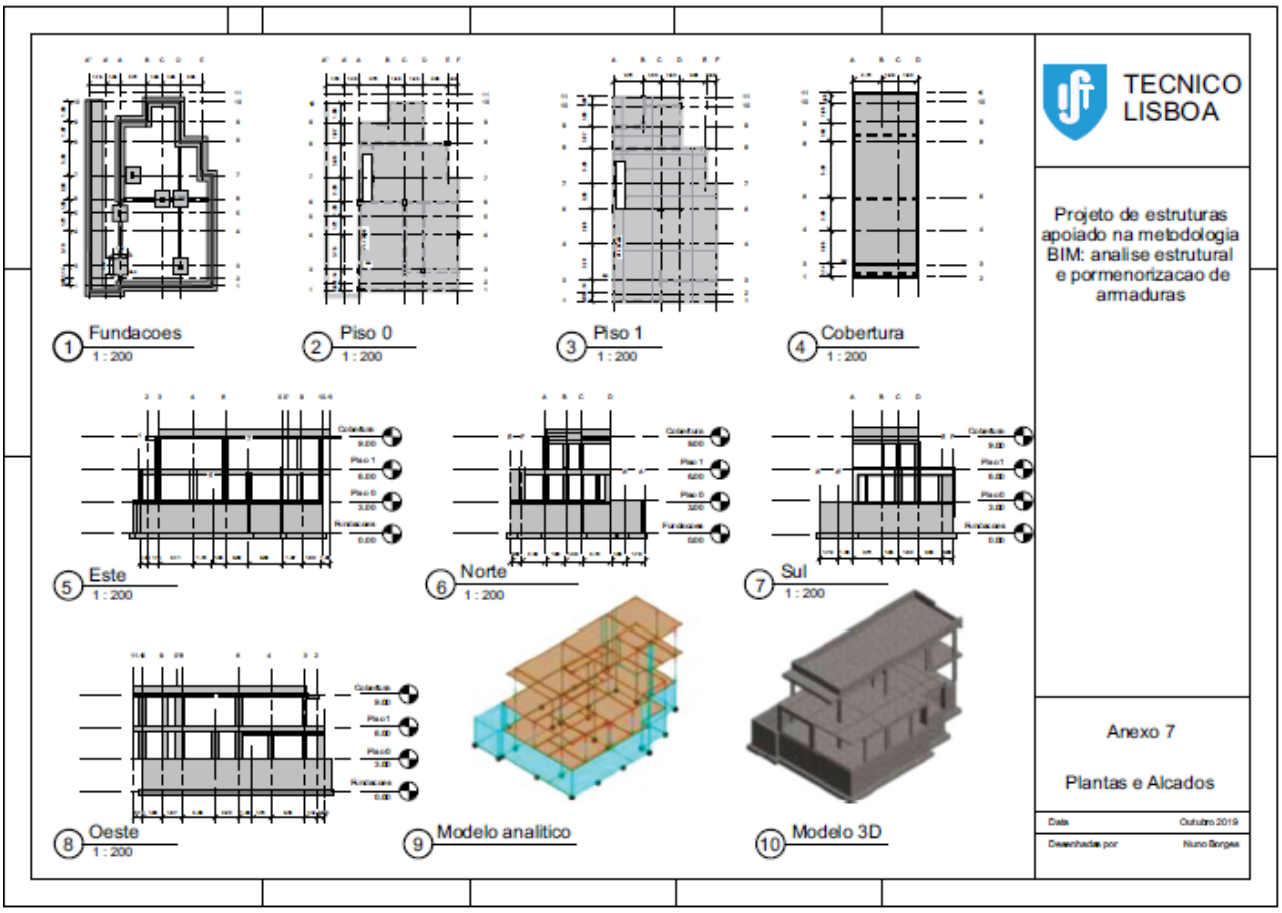


Рис. 4.21. Розташування аркушів креслень із графічними макетами та динамічними рамками

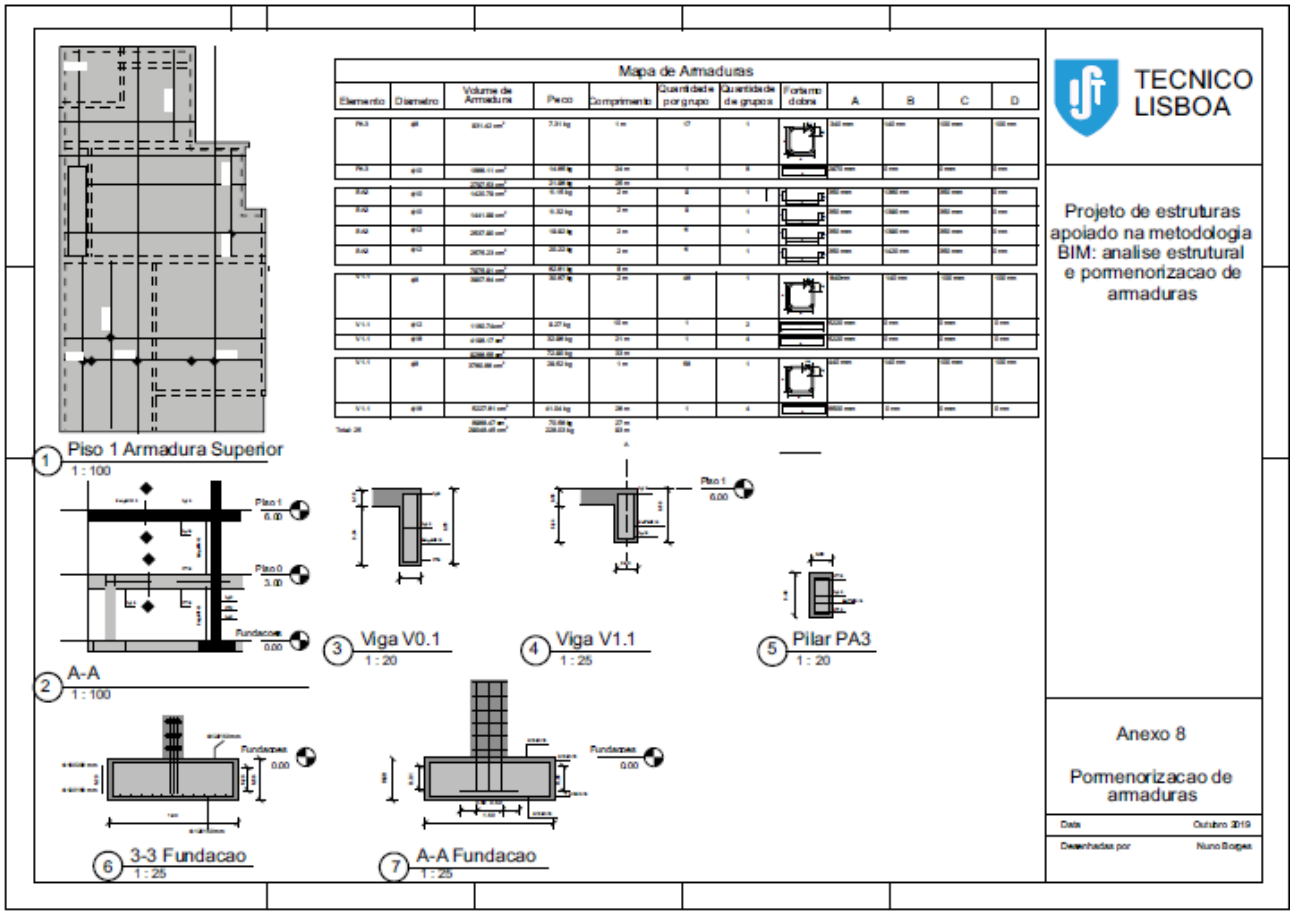


Рис. 4.21 (продовження). Розташування аркушів креслень
із графічними макетами та динамічними рамками

Різні креслення та таблиці можуть бути зібрані в аркуші креслень, пов'язані з проєктом. Було створено кілька аркушів, щоб досягти бажаного графічного та конструктивного представлення (див. рис. 4.21).

4.6. Відомість матеріалів

У BIM інженери можуть отримувати доступ до розрахункових даних і інтегрувати їх на єдиній проєктній платформі. Таблиці кількостей матеріалів (QTO) містять перелік матеріалів, розміри елементів, механічні властивості та значення навантажень. QTO забезпечує детальні вимірювання матеріалів і трудовитрат для виконання проєкту. Примітки розрахунків з Robot не можна безпосередньо прикріпити до Revit, але їх можна експортувати у вигляді зображень або до Excel/Word для довідки, хоча оновлення слід робити спочатку в Robot.

Для сейсмічного або модального аналізу Revit лише ідентифікує навантаження та їх комбінації; результати розрахунків з Robot можна додавати у вигляді зображень, включно з діаграмами напружень і деформацій (див. рис. 4.22, 4.23).

Кількості матеріалів, включно з об'ємом бетону та арматури для окремого елемента або поверху, можна організовувати у динамічних таблицях з прив'язкою до одиничних витрат і трудовитрат. Revit дозволяє створювати редаговані таблиці, які можна включати в креслення, експортувати до Excel або використовувати в проєктній документації.

Нарешті, можна згенерувати карти форматування арматури, що показують розміри та кількість елементів. Такі карти допомагають на будівельному майданчику, надаючи дані для різання та згинання арматури, або підтримують фабричне виготовлення, зменшуючи обсяг робіт і час складання на місці.

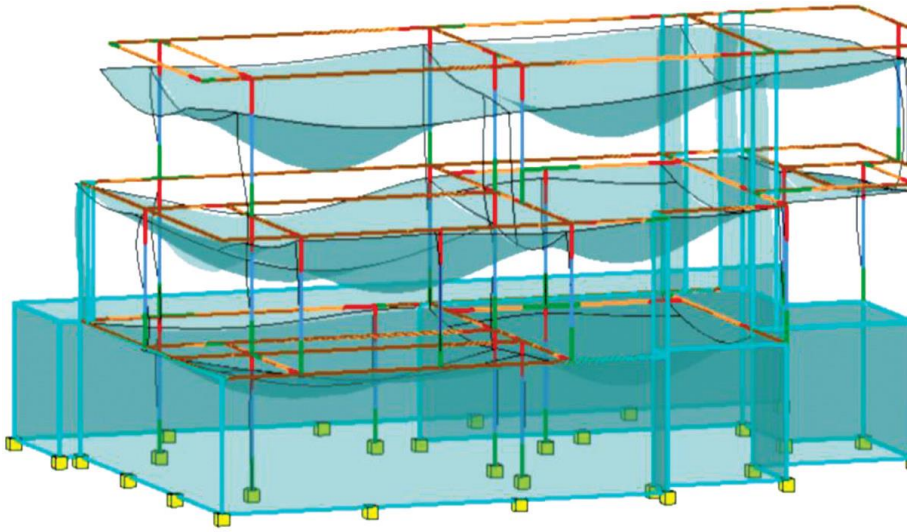
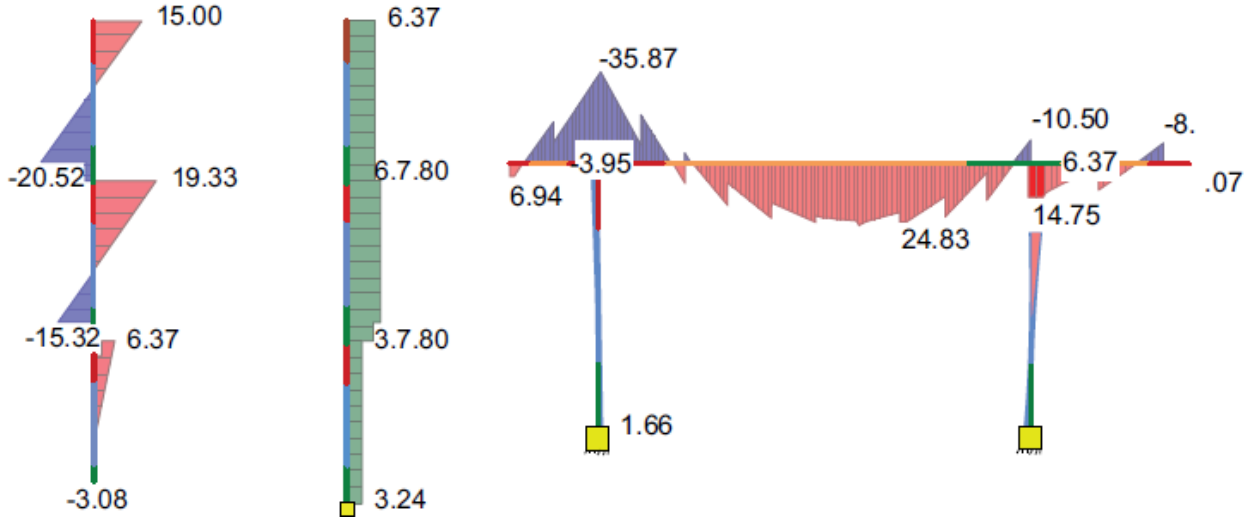


Рис. 4.22. Деформації плити



Діаграми напружень колони (ліворуч) та балки (праворуч)

5. ОБГОВОРЕННЯ

Проаналізоване дослідження підкреслює основні переваги та обмеження BIM у сфері конструктивного проєктування.

5.1. Виявлені переваги:

1. Висока параметрична здатність моделювання дозволяє досліджувати альтернативні рішення та перевіряти модель як геометрично, так і аналітично перед проведенням розрахунків.

2. Передача даних між Revit і Robot забезпечує перевірку на помилки та їх виправлення.

3. Динамічні креслення та таблиці автоматично оновлюються з фінальної моделі; аркуші креслень можуть містити проєкції, діаграми та таблиці.

4. Таблиці та карти арматури, що показують діаметри стержнів, їх кількість та конфігурацію, підтримують підготовку на будівельному майданчику та фабричне виготовлення елементів.

5.2. Виявлені обмеження:

1. Геометричну узгодженість слід ретельно перевіряти в Revit до та після передачі даних у Robot.

2. Передача навантажень, комбінацій та сейсмічних впливів між Revit і Robot може бути проблематичною.

3. Арматура з Robot часто містить помилки при імпорті в Revit.

4. Примітки, діаграми та анімації необхідно імпортувати як статичні зображення, автоматичне оновлення неможливе.

5.3. Рекомендації для інженерів:

1. Визначати, оптимізувати та перевіряти конструктивну модель в Revit.

2. Застосовувати всі навантаження та комбінації, включно із сейсмічними, у Robot.

3. Генерувати креслення, моделі, графіки та звіти в Robot, а потім передавати їх у Revit, виправляючи відсутні елементи.

4. Використовувати динамічні таблиці, креслення та карти Revit для забезпечення узгодженості та легкого оновлення даних.

6. ВИСНОВКИ

1. Методологія BIM надає значні переваги у різних сферах будівництва та швидко впроваджується у світі. Використання базових інструментів BIM у конструктивному проєктуванні дозволяє ефективно виконувати параметричне моделювання, легко перевіряти узгодженість аналітичної моделі та частково автоматизувати створення графічних документів.

2. Проблеми сумісності можуть виникати при двосторонньому обміні даними між системами моделювання та аналізу, а впровадження BIM у конструктивне проєктування вимагає додаткового навчання та освоєння розширень.

3. Робочий процес охоплює весь цикл: створення моделі в Revit, її аналіз у Robot, повернення результатів у Revit із виправленням обмежень, підготовку креслень та карт кількостей. Це дозволяє визначити найефективнішу стратегію застосування BIM у конструктивних бюро.

4. Загалом, впровадження BIM прискорює та автоматизує процес конструктивного проєктування. Інженери повинні чітко розуміти, які завдання ефективніше виконуються в кожній системі та які додаткові процедури слід застосовувати.

7. СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Borges N.M. Design of structures supported by BIM methodology: structural analysis and reinforcement detailing. MS Thesis. Lisbon, Portugal: Technical University. 2019.

2. Sacks R. et al. BIM Handbook: A guide to building information modeling for owners, designers, engineers, contractors, and facility managers, 3rd ed. *John Wiley & Sons, Inc.* 2018. 688 pgs. http://dx.doi.org/10.1002/9781119287568.

3. Sampaio A.Z., Gomes A.M. BIM Structural Project Applied in A Case Study: Interoperability Analyses, Reinforcement Detailing Drawings and Quantity Take-off. *The Open Construction & Building Technology Journal*. 2021. No. 15. P. 196–220. https://doi.org/10.2174/1874836802115010196.

4. Underwood J. and Isikdag U. Handbook of research on building information modeling and construction informatics: Concepts and technologies. 2009. 757 pgs. http://dx.doi.org/10.4018/978-1-60566-928-1.

5. Wang Q. et al. Cell-Based Transport Path Obstruction Detection Approach for 4D BIM Construction Planning. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2018. No. 145(3). http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001583.

Навчальне видання

Болотов Максим Геннадійович
Ганєєв Тимур Рашитович
Давидов Ігор Ігорович
Загільський Віталій Анатолійович
Ковба Владислав Валерійович
Левківський Дмитро Володимирович
Малахов Віктор Валерійович
Москвітіна Анна Сергіївна
Позняк Оксана Романівна
Пущіна Наталія Валентинівна
Рибачов Сергій Григорович
Руденко Михайло Миколайович
Сєдін Володимир Леонідович
Сорока Микола Миколайович
Сур'янінов Микола Георгійович
Титаренко Роман Юрійович
Хміль Роман Євгенович
Чабан Вячеслав Петрович
Шеховцов Владислав Ігорович

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ПРОЄКТУВАННЯ, АНАЛІЗУ ТА ОЦІНКИ БУДІВЕЛЬНИХ СИСТЕМ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ BIM-ТЕХНОЛОГІЙ

Практикум

Електронне видання

Відповідальні редактори: Ю. В. Булгакова, Н. С. Чернова
Комп'ютерна верстка Н. С. Чернова
Дизайн обкладинки Н. С. Чернова

Експертний висновок склав І. І. Назаренко, Президент Академії будівництва України, доктор технічних наук, професор, машин і обладнання технологічних процесів Київський національний університет будівництва і архітектури, заслужений діяч науки і техніки України (м. Київ)

Формат 1/16. Ум. друк. арк. 13,25. Обл.-вид. арк. 13,32.
Зам. № 119.

Видавець: Український державний університет науки і технологій.
вул. Лазаряна 2, ауд 2216, ауд. 263 (наукова бібліотека)
м. Дніпро, 49010
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 7709 від 14.12.2022

Адреса видавця та дільниці оперативної поліграфії:
вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, 49010.

Co-funded by the European Union

The Bridge BIM architecture engineering construction

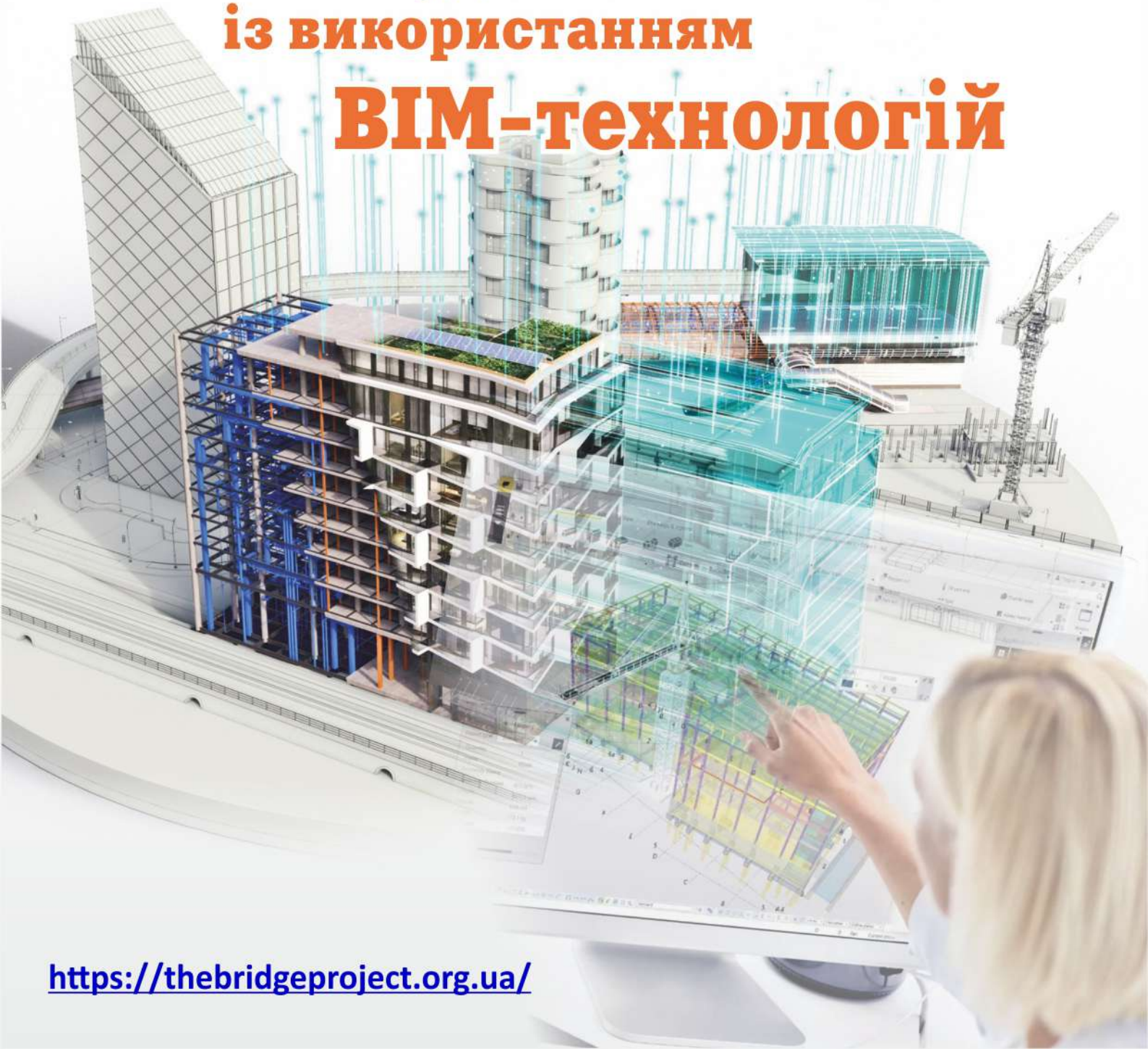
Практикум

СУЧАСНІ ПІДХОДИ

до проєктування, аналізу та оцінки будівельних систем

із використанням

BIM-технологій



https://thebridgeproject.org.ua/