

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІСТИТУТ ім. Ю.М. ПОТЕБНИ

Кафедра Міського будівництва і архітектури

(повна назва)

Кваліфікаційна робота

рівень вищої освіти Магістр

(рівень вищої освіти)

на тему: **Покращення процесів проектування
об'єктів містобудування за рахунок автоматизації
процесів**

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1922 –
мопа

Великий Олександр

Анатолійович

(прізвище та ініціали)

Спеціальність

192 «Будівництво та цивільна
інженерія»

(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма

«Містобудівництво та об'ємно
просторова архітектура»

(шифр і назва)

Керівник проф., д.т.н. Савін В.О.

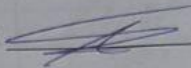
(прізвище та ініціали)

Запоріжжя, 2024 року

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні
Кафедра міського будівництва і архітектури
Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр
Спеціальність 192 Будівництво та цивільна інженерія
Освітня програма Містобудування та об'ємно-просторова архітектура

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри 

А.В. Банах

« 10 » 10 2022 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Веласко 20 Александра Александровича
(прізвище, ім'я та по-батькові)

1. Тема роботи «Покращення процесів проєктування об'єктів містобудування за рахунок автоматизації»

керівник роботи к.т.н., доцент Савін Валерій Олександрович
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджений наказом ЗНУ від « 09 » 10 2022 року № 1578-с

2. Строк подання студентом роботи _____

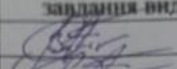
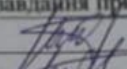
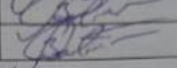
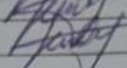
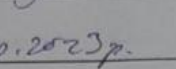
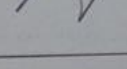
3. Вихідні дані до роботи: Покращення процесів проєктування об'єктів містобудування за рахунок автоматизації

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) _____

Проблеми сучасного проєктування, Сутність створення інформаційної моделі проєкта, аналіз нових можливостей програмних продуктів в сфері автоматизації процесів проєктування, аналіз єдиної інформаційної системи проєктування об'єктів містобудування, дослідження методів автоматизації процесу проєктування об'єктів містобудування, AI інструменти архітектора для генерації концепт-рішень у фотореалістичній якості, автоматизоване AI генерування 2D-креслень, AI генерування 3D-візуалізації, AI та доповнення реальність

3. Підписи графічного матеріалу (з точними позначеннями об'єктів зовнішнього креслення)
Графіки можливості ресурсів та копіюв, статистичні дані використання BIM
проектувальників у BIM, суть єдиної інформаційної системи, аналіз
можливостей нових програмних продуктів, AI технології у BIM, методи
використання AI у BIM.

6. Консультанти розділів роботи

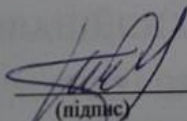
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Арутюнян І.А		
2	Добровольська О.Г		
3	Савін В.О		

7. Дата видачі завдання 10.10.2023р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

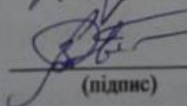
№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Затвердження теми кваліфікаційної роботи у наукового керівника		Вик.
2	Затвердження змісту роботи		Вик.
3	Огляд літератури за темою кваліфікаційної роботи		Вик.
4	Розробка чернетки I розділу кваліфікаційної роботи		Вик.
5	Написання I розділу кваліфікаційної роботи		Вик.
6	Розробка чернетки II розділу кваліфікаційної роботи		Вик.
7	Написання II розділу кваліфікаційної роботи		Вик.
8	Розробка чернетки III розділу кваліфікаційної роботи		Вик.
9	Написання III розділу кваліфікаційної роботи		Вик.
10	Виконання креслень демонстраційного матеріалу		Вик.
11	Оформлення кваліфікаційної роботи згідно вимог		Вик.
12	Попередній захист кваліфікаційної роботи		Вик.
13	Проходження нормоконтролю		Вик.
14	Подання кваліфікаційної роботи на рецензію		Вик.
15	Подання кваліфікаційної роботи на кафедру		Вик.
16	Захист кваліфікаційної роботи.		Вик.

Студент


(підпис)

Великий О.А
(ініціали та прізвище)

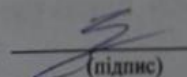
Керівник роботи


(підпис)

Савін В.О
(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер


(підпис)

Гребенюк І.В
(ініціали та прізвище)

ЗМІСТ

	стр.
Вступ	5
1 ТЕОРЕТИЧНІ ПОСТУЛАТИ СУЧАСНОГО ПРОЄКТУВАННЯ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД	8
1.1 Проблеми сучасного проєктування	8
1.2 Сутність створення інформаційної моделі проєкта.....	15
1.3 Аналіз нових можливостей програмних продуктів в сфері автоматизації процесів проєктування.....	22
2 ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ТА МОДЕЛЕЙ СУЧАСНОГО ПРОЄКТУВАННЯ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД	34
2.1 Аналіз єдиної інформаційної системи проєктування об’єктів містобудування.....	
2.2 Дослідження методів автоматизації процесу проєктування об’єктів містобудування.....	34
3 ПОКРАЩЕННЯ ПРОЦЕСІВ ПРОЄКТУВАННЯ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД ЗА РАХУНОК ІННОВАЦІЙНИХ АІ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ВІМ АВТОМАТИЗАЦІЇ	59
3.1 АІ інструменти архітектора для генерації концепт-рішень у фотореалістичній якості.....	59
3.2 Автоматизоване АІ генерування 2D-креслень.....	59
3.3 АІ генерування 3D-візуалізації, АІ та доповнена реальність	85
ВИСНОВКИ	95
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	97

Вступ

Сьогоднішні будівельні тенденції запроваджують все більш складні архітектурні форми, тому проєктувальники та будівельники шукають інноваційні рішення, щоб втілити їх у реальність. Успіх, безпека, екологічність в будівництві стали головними причинами потреби в точній інформації, починаючи зі стадії проєктування. Крім того, постійно є бюджетні обмеження.

Тенденції вимагають технологічності. Технологічність це інформаційна насущне питання для будівельників, проєктувальників та управляючих проєктом в їх повсякденній роботі. При використанні інформаційно-технологічної моделі будівництво може стати дешевшим, швидшим та ефективним. Оскільки будівництво - це процес, то програмне забезпечення повинно допомагати вирішувати більшість проблем, включаючи роботу зі змінами під час виконання будівельних робіт. Менеджери проєкту можуть управляти змінами, знаходити колізії, уникати помилок, забезпечити високу якість з найменшим браком та відходами.

Можливість планувати процеси та графіки робіт, виявляти проблеми на стадії проєктування до початку будівельних робіт. Завдяки цьому на будівельному майданчику буде менше непередбачуваних проблем. Будівництво із готових конструкцій ще одна тенденція, яка зумовлює вирішальне значення точної інформації. Будинки та споруди із збірних елементів та конструкцій набуває все більшу популярність в міру переходу будівельної галузі до економії та росту автоматизації. Навіть габаритні вироби, такі як покрівельні конструкції, несучі балки, колони, пілони тощо приїжджають на будівельний майданчик в готовому вигляді, в потрібний час. Відповідно, кожен такий виріб повинен бути точно використаний в своєму призначенню. Для організації подібного процесу, потрібна точна актуальна інформація. Саме такою інформацією наповненні інформаційно-технологічні моделі.

«Проєктування, будівництво та експлуатація будівель та споруд коштують дорожче, чим повинні, а реалізація будівельних проєктів займає

занадто багато часу. Нам потрібно вдосконалити організацію спільної роботи між усіма учасниками будівництва» [1].

Актуальність теми

Замовники проєкту вже давно змирилися з типовими проблемами будівельних проєктів, такими як перевитрата бюджету і відставання від графіка виконання робіт.

Однак ситуація сьогодні на ринку змушує їх переглянути своє ставлення до процесу розробки і реалізації проєкту.

У використанні інструментів та процесів інформаційного моделювання власник майбутнього об'єкта може набути значних переваг.

Тому **метою роботи** аналіз теоретико-методологічних засад (аспектів) та практичних рекомендацій як базової наукової складової задля покращення процесів проєктування об'єктів містобудування використовуючи сучасні інформаційно-технологічні моделі.

Об'єктом дослідження є процес забезпечення ефективного будівництва будівель та споруд за рахунок впровадження оптимізації процесів проєктування, інноваційних підходів та автоматизації BIM моделювання.

Предметом дослідження Аналіз використання програмного забезпечення, власний експертний аналіз проєктування, досвід автоматизації BIM моделювання, впровадження інновацій та AI технологій в процесі проєктування, консультації з фахівцями, моніторинг та аналіз тенденцій розвитку галузі та аналіз літературних джерел

Задачі дослідження

1 Аналіз теоретико-методологічного огляду в розрізі покращення процесів проєктування будівель та споруд за рахунок автоматизації

2 На етапі концепції проводиться оцінка різних характеристик об'єкта, включаючи аналіз планувальних рішень та функціональний аналіз.

3 Дослідження сценаріїв, що відповідають альтернативності варіантів проєкту, оцінюванню енергоефективності та споживанню різних видів ресурсів на стадії експлуатації.

4. Модель оптимізації управління і технічного обслуговування будівель та споруд на базі автоматизації.

Методи дослідження це автоматизовані системи управління та економіко-математичні підходи, направленні на покращення процесів проектування для досягнення ефекту.

Наукова новизна. Дослідження в даній роботі полягає у розробці інтегрованого методологічного підходу, який поєднує оптимізацію BIM процесу, передові інноваційні AI технології та автоматизацію за рахунок сучасних світових ПЗ для підвищення ефективності проектування та будівництва будівель та споруд у BIM галузі.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що дані методи побудови технологічно-інформаційних моделей можуть знайти своє використання як для власника майбутнього об'єкта, так і для всіх учасників будівництва. В основі цих методів розглянуті актуальні питання та проблеми будівництва, які виникають на різних стадіях життєвого циклу будівель та споруд містобудування.

Апробація Запропонована робота виконана в Запорізькому національному університеті, на кафедрі «Міське будівництво та господарство». Дана робота брала участь в науково-технічній конференції студентів, магістрантів, аспірантів та викладачів Запорізького національного університету.

4.12 Тези відповіді на конференціях: Добровольська О.Г., Великий О.А. Про автоматизацію проектування об'єктів містобудування. МОЛОДА НАУКА-2023 : збірник наукових праць студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчених. Том V. Запоріжжя: ЗНУ, 2023. Т. 5 С. 148-149. URL: https://sites.znu.edu.ua/stud-sci-soc//2023/tom_5_2023_r_k_.pdf. [2]

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИЧНІ ПОСТУЛАТИ СУЧАСНОГО ПРОЄКТУВАННЯ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД

Сучасне проектування будівель вимагає інтеграції передових технологій для забезпечення ефективності та високої якості. Проблематика процесу полягає у високих витратах через помилки на етапі проектування, що часто виникають через неефективну взаємодію між спеціалістами. Вирішенням є застосування BIM-технологій, які дозволяють оптимізувати весь процес, від концепції до експлуатації, забезпечуючи точне планування та високу координацію між усіма учасниками проекту. Перехід до цифрової координації проектів обіцяє значне скорочення помилок, економію ресурсів та підвищення загальної ефективності проектування [3].

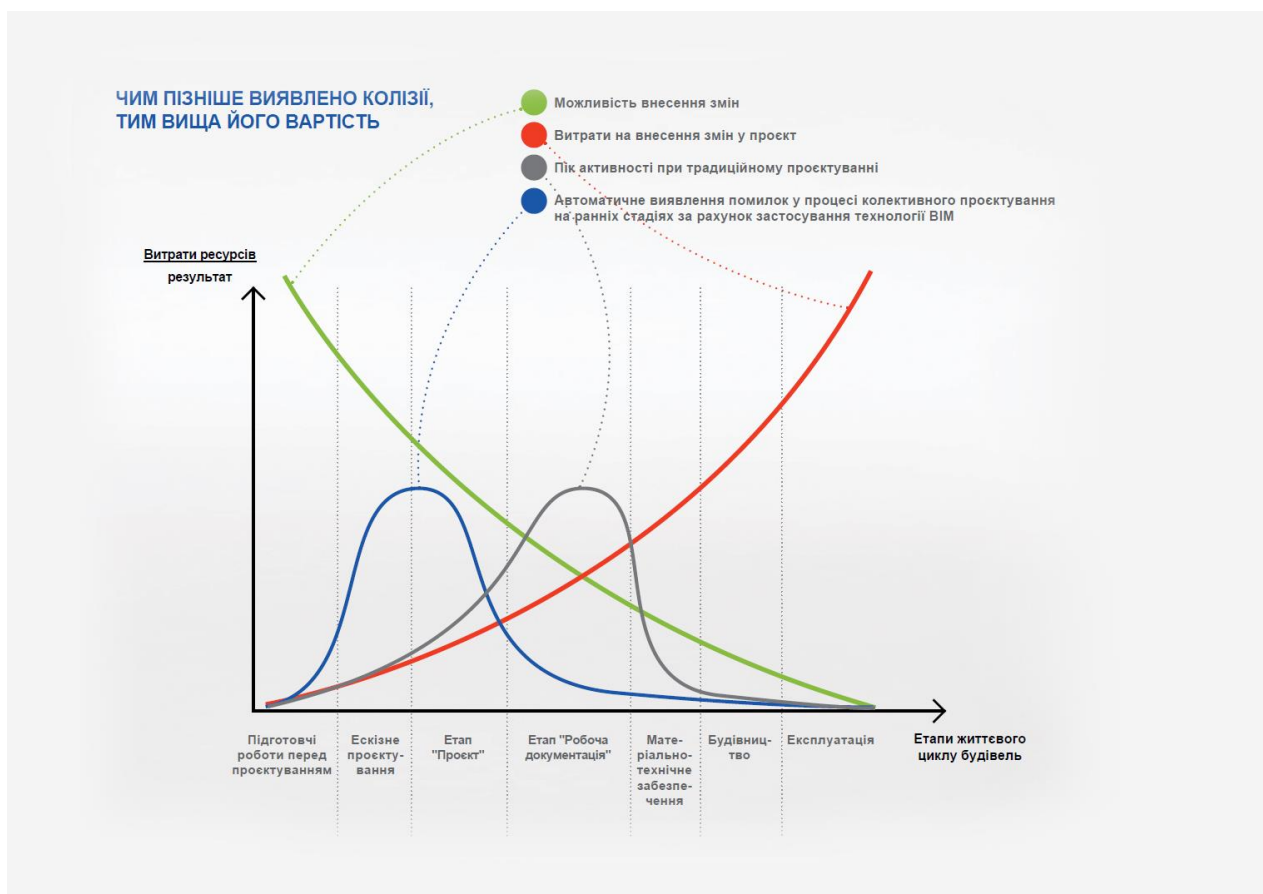
1.1 Проблеми сучасного проектування

Якщо подивитися на вартість життєвого циклу будівлі або споруди від ідеї до будівництва та експлуатації, то на проектування припадає незначна доля інвестицій- близько 5%. При цьому помилки на стадії проектування, в результаті приводять до значних незапланованих витрат, на більш пізніх етапах і особливо на стадії будівництва. Дослідження показують, що подорожчання проекту в процесі будівництва складає близько 20%, відносно планового кошторису, а в середньому розходження бюджету та реальної вартості складає близько 50%.

Найчастіші помилки - це колізії між конструкціями будівлі або споруди та його інженерними мережами, відсутність технологічних отворів для інженерних систем, неправильний розрахунок об'єму матеріалів, пересічення інженерних комунікацій та їх облаштувань, неузгодженість вартості монтажу та

використаних конструкцій, або технологій будівельного процесу і витрат часу та ресурсів. Такі неузгодження викликані, в першу чергу, непродуктивною взаємодією спеціалістів, які виконують проектування різних розділів [4].

Неефективна комунікація архітекторів та конструкторів, архітекторів та інженерів, інженерів та конструкторів. Розрізненість роботи всіх спеціалістів, працюючих над проектом, часто призводить до виникнення неузгоджень та постійної рутинної роботи, це призводить до неможливості виявити колізії на пізніх етапах проектування та, в подальшому, до затягування термінів виконання проектування. Тим самим знижується якість проектної та робочої документації, що впливає на авторитет проектної компанії в цілому (рис. 1.1).



Рисуюнок 1.1 Залежність витрат ресурсів від виявлення колізій на етапах життєвого циклу об'єкту.

Точне планування робіт будівельної техніки на будівельному майданчику, коректні графіки закупівлі матеріалів, логістичні процеси будівництва та експлуатації вважаються слабкими місцями у проєктуванні будівель та споруд містобудування, а також у організації будівництва. В традиційному сучасному проєктуванні основна маса колізій виявляється та змінюється на стадії робочої документації та будівництва. Саме тому, вартість таких внесених змін дуже непередбачувана та може спонукати до використання матеріалів та ресурсів більш низької якості.

До однієї із основних проблем сучасного проєктування можна віднести кількість звернень на внесення змін до проєктної документації з боку будівельних організацій та будівельників. Обробка цих запитів займає вагомую кількість часу та витрат творчої енергії. Цей процес не може не впливати на організацію календарного графіка проєктування та на атмосферу всередині робочої групи проєктної компанії. Тому постає важливість питання чіткого відпрацьованого процесу взаємодії спільної роботи проєктної групи, а також управління даними їх корегуванням та збереженням. Можливість добратися влюбий момент часу до інформації стосовно будівництва об'єкта- головне завдання будь якої проєктної компанії, лаконічність подачі інформації, а також необхідна інформація щодо об'єму, матеріалу, класифікації, призначення.

Можливість вчасно відслідковувати актуальність проєктної документації, яка включає в себе не тільки креслення та модель, але і технічне завдання, виконане в текстових редакторах, електронних таблицях та специфікаціях. Тому в більшості випадків технологія спільної роботи будується на основі файлової системи. Така система має ряд недоліків, адже потребує підключення до єдиної платформи велику кількість «зовнішніх» учасників. На відміну від спеціалізованих рішень, файлова система не вирішує питання управління

інженерними даними, не вміє позбувати користувачів від рутинних операцій, небезпечна, потребує більшої уваги зі сторони системного адміністратора і має цілий ряд інших значущих недоліків.

Більшість сучасних проєктних організацій роблять акцент на таких процесах проєктування як: збір інформації в єдиному просторі, усунення втрат при передачі та збереження даних між відділами, ефективність колективної роботи, належна наглядність та якість інформації, що передається, зниження термінів розгляду проблемних місць та прийняття рішень, випуск акуратної та актуальної проєктної документації, експортування та імпортування файлів у форматі CAD, обмін даними із субпідрядниками, вчасне внесення змін та коригувань в проєктну документацію та аналіз вартості використаних матеріалів та ресурсів [5].

1.2 Сутність створення інформаційної моделі проєкта

Wikipedia визначає BIM як процес генерації та управління даними єдиної інфраструктури впродовж її життєвого циклу, що відбувається із використанням спеціального програмного забезпечення динамічного моделювання будівель у тривимірному просторі та реальному часі, з метою зменшення витрат часу та ресурсів у проєктуванні та будівництві (рис 1.2)

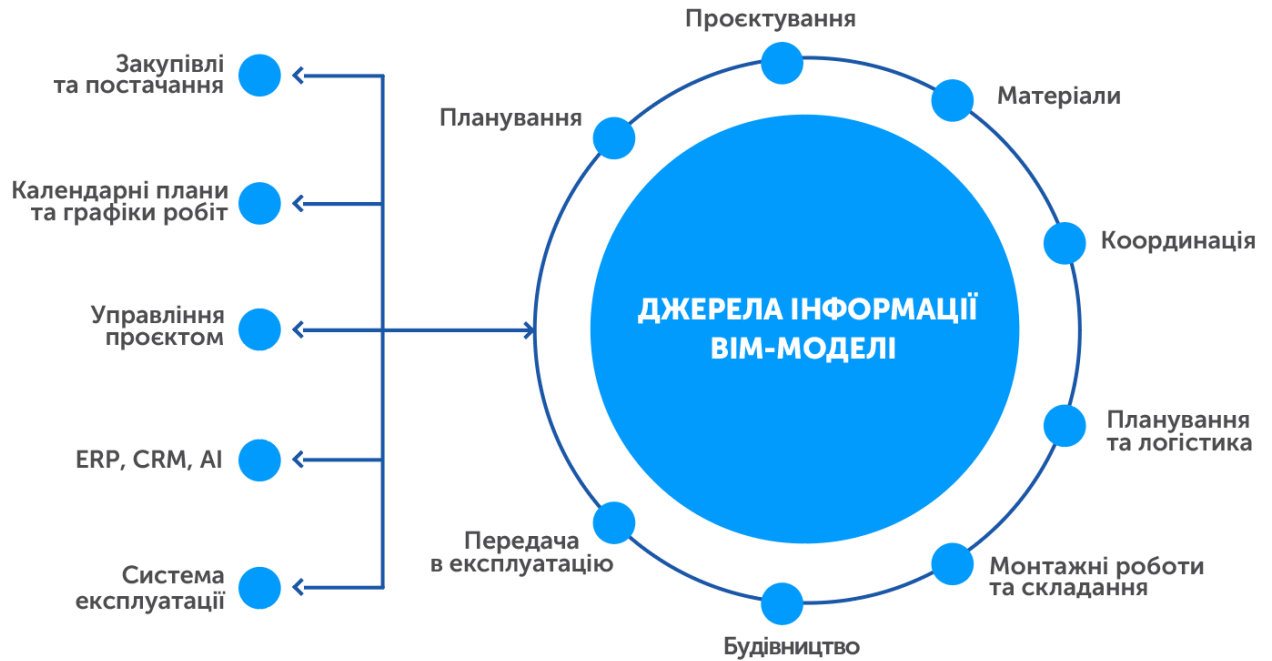


Рисунок 1.2- Джерела інформації BIM - моделі

Приблизно із 2002 р. розробники програмного забезпечення включили концепцію Building Information Model у свою термінологію, зробивши її одним із ключових понять. Невдовзі BIM було взято на озброєння Autodesk, Hexagon, Trimble, Nemetschek, Bentley Systems, Autodesk и Graphisoft. Згодом аббревіатура BIM стала загальноновживаним терміном серед фахівців у сфері автоматизованого проектування, здобувши широку популярність по всьому світу. Звичайно, термін "BIM" може використовуватися як для опису самої інформаційної моделі будівлі, так і для процесу інформаційного моделювання у будівництві. [6].

Суть цієї технології полягає у створенні тривимірної віртуальної моделі будівлі у цифровому форматі, яка містить повну інформацію про майбутній об'єкт. Застосування BIM-технології в проектуванні будинків включає в себе збір та комплексну обробку технологічної, архітектурно-конструкторської, економічної інформації про будівлю,- таким чином будівельний об'єкт і все, що

до нього відноситься, розглядаються як єдине ціле і це спрощує аналіз всеохоплюючого впливу будівництва на довкілля, інфраструктуру, ландшафт та дає вичерпну візуалізацію майбутньої функціональності проєкту, що має на меті, в тому числі, спрощення будівельної експертизи майбутнього об'єкту. В рамках реалізації Дорожньої карти по впровадженню BIM в Україні підготовлені перші редакції трьох національних стандартів – ДСТУ ISO 22263:20XX, ДСТУ ISO 12006-2:20XX та ДСТУ ISO 29481-1:20XX.

Інформаційне моделювання будівлі - це комплексний підхід до будівництва, експлуатації та обслуговування об'єкту, що передбачає збір та обробку всієї необхідної інформації про будівлю на всіх етапах її життєвого циклу. Кожен елемент будівлі представляється як просторова інформаційна модель, пов'язана з базою даних, до якої можуть бути привласнені різні атрибути. Такий підхід дозволяє проєктувати будівлю як єдине ціле, з урахуванням взаємозв'язків між її різними елементами. Зміна будь-якого параметра в автоматичному режимі впливає на інші параметри та елементи будівлі, що відображається у зміні креслень, візуалізацій, специфікацій та іншої

документації на всіх етапах будівництва та експлуатації. (рис1.3)

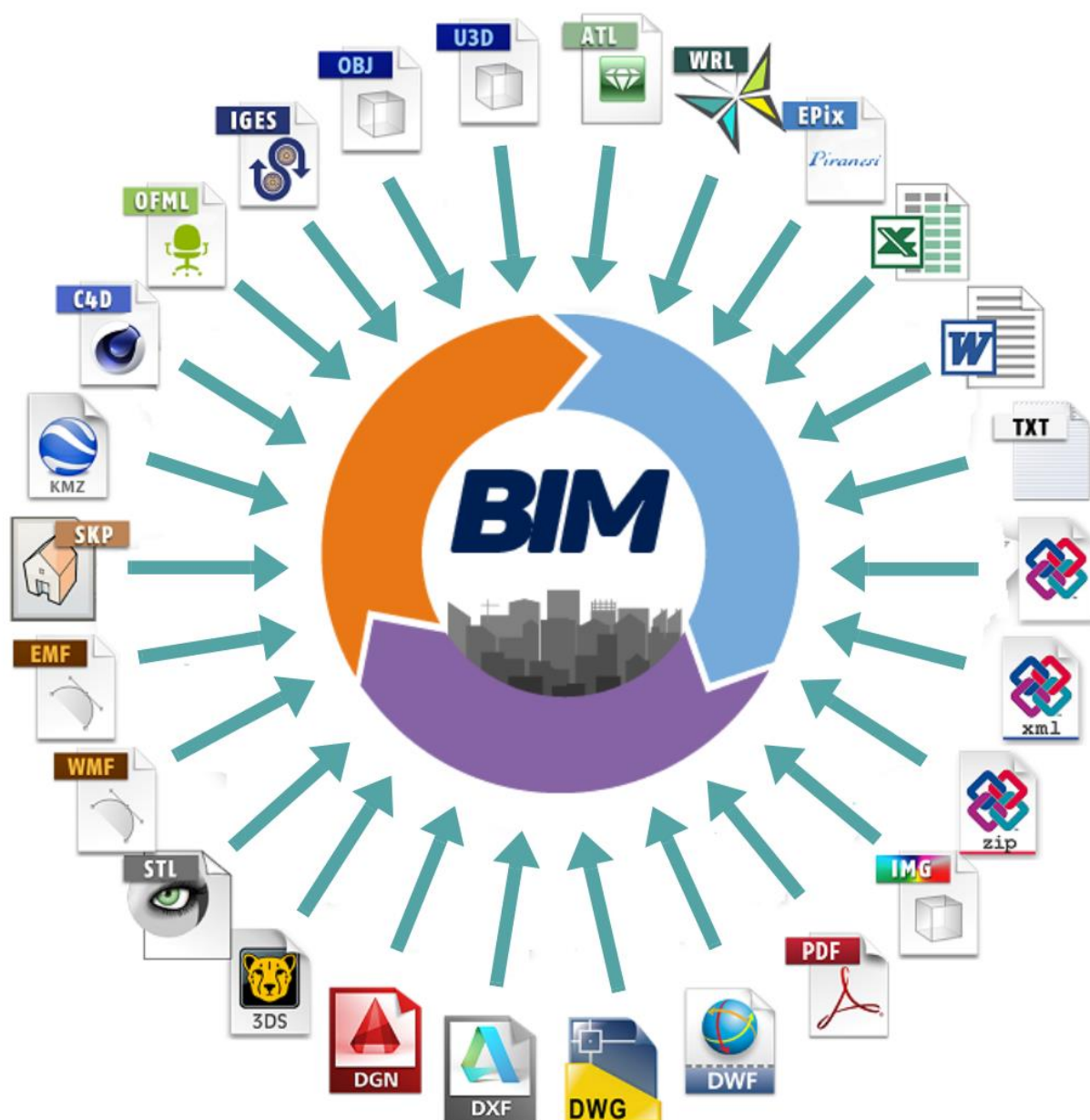


Рисунок 1.3 – Файловий обмін BIM моделі.

Компанія Autodesk визначає такі особливості BIM, як добра координація, узгодженість та взаємозв'язок, піддатливість розрахункам та аналізу, наявність геометричного прив'язування, придатність до комп'ютерного використання та можливість необхідних оновлень.

Інформація існуючого або запланованого об'єкта у BIM може використовуватися для прийняття конкретних проектних рішень, створення високоякісної проектної документації, передбачення експлуатаційних якостей об'єкта, розроблення кошторисів та будівельних планів, замовлення та виготовлення матеріалів, конструкцій та обладнання, управління зведенням будівлі та її експлуатацією, а також засобів технічного оснащення протягом усього життєвого циклу, управління будівлею як об'єктом комерційної діяльності, проектування та реконструкції або ремонту будівлі, її знесення та утилізації тощо.

Середовище BIM підтримує функції спільної роботи впродовж усього життєвого циклу будівлі без ризику неузгодженості або витрати даних, а також унеможливує помилки при їх передачі та перетворенні. Прийняття зважених рішень на ранніх етапах існування об'єкта заздалегідь дозволяє заощадити, адже відомо, що ціна внесення змін у проєкт зростає експоненціально із часом від початку робіт [7].

Таким чином, основними перевагами BIM є:- значне скорочення часу проектування для типових, регулярних об'єктів, а також для внесення змін у проектну документацію;- упередження конфліктів між системами та підсистемами будівлі і окремими елементами; детальне опрацювання збільшує прогностичність техніко економічних показників і зменшення операційних витрат; виявлення взаємозв'язків між елементами будівлі, функціональністю; здатність до накопичення предметних знань; можливість дослідження та оптимізації експлуатаційних показників; проєктовані системи можуть бути компактними та мати можливість значного ускладнення їх функцій та форми.

Наприклад, для розробки складного за формою та внутрішнім оснащенням нового корпусу Музею мистецтв у Денвері (США) була спеціально розроблена інформаційна модель, яка враховувала всі унікальні вимоги та характеристики цього об'єкта. Завдяки застосуванню BIM для організаційної взаємодії між субпідрядниками та оптимізації графіка робіт вдалося скоротити

термін будівництва на 14 місяців. Це призвело до економії приблизно 400 тисяч доларів при кошторисній вартості об'єкта в 70 мільйонів доларів. Сучасне інформаційне моделювання - Building Information Modeling, нерозривно поєднане із управлінням ефективністю (Building Performance Management) та життєвим циклом будівлі (Building Lifecycle anagement). Використання BIM дозволяє вести контроль ефективності інвестицій та накопичувати якісні та кількісні дані, що застосовуються у різних галузях. Висока точність BIM-моделей, враховуючи технологічні вимоги виготовлення, відкриває можливості для створення нових конструктивних та архітектурних форм. Наразі всі провідні розробники будівельних САПР - Autodesk, Nemetschek, Graphisoft, Tekla та ін. - підтримують у своїх продуктах технологію BIM. Для забезпечення сумісності між різними програмами був створений спеціальний формат обміну даними - IFC. Початково використовуваний для інтеграції між Autodesk Revit та Tekla, IFC поступово став основним інструментом для обміну повними даними, зберігаючи всю важливу інформацію.

Сучасні BIM-системи здатні об'єднувати підсистеми будівлі в один комплексний об'єкт, що вже реалізовано у деяких комплексах. В даний час BIM системи кожної будівлі є невід'ємною частиною її інтеграції у міське середовище. Це зумовлює перехід BIM-технологій у 4D та SD-системи.

Для забезпечення сумісності між різними програмами був створений спеціальний формат обміну даними - IFC. Початково використовуваний для інтеграції між Autodesk Revit та Tekla, IFC поступово став основним інструментом для обміну повними даними, зберігаючи всю важливу інформацію. Сучасні BIM-системи здатні об'єднувати підсистеми будівлі в один комплексний об'єкт, що вже реалізовано у деяких комплексах.

Архітектори та будівельники уже давно можуть створювати свої проєкти, використовуючи програми 3D- моделювання та візуалізації. Останнім часом BIM системи відчують на собі переваги перспективи знаходження в середині свого майбутнього творіння. Для цього користувачам потрібно лише надіти

окуляри віртуальної реальності та озирнутись навколо себе на 360 градусів. Їхні колеги, також у віртуальних окулярах, можуть разом з ними "відвідати" архітектурну модель та вносити зміни у проєкт у режимі реального часу.

Компанія Vizerra з Сан-Франциско розширює можливості інформаційного моделювання у своєму програмному продукті Revizto. Використовуючи технології 3D-ігор та хмарних сервісів, Revizto об'єднує різноманітні архітектурні простори та виробничі процеси у єдину наочну модель, якою можна маневрувати. Інтерактивний тривимірний робочий простір дозволяє користувачам "відвідати" об'єкти своїх розробок та одночасно вносити зміни. За допомогою трекара, вбудованого у Revizto, члени проєктної групи можуть працювати в реальному часі та розподіляти завдання.

Такий підхід допомагає клієнтам економити до 40% оплачуваного часу, оскільки тепер помилки, такі як нестача освітлення або незручне розташування опорних колон, можна виправити ще до початку будівництва. Тому доведено, що понад 30% загального бюджету проєкту витрачається на виправлення помилок, непомітних на етапі розробки. Абсолютно новий підхід у даній розробці доводить, що навіть у найсерйозніших галузях є місце для ігрових технологій. Представники компанії Vizerra зазначають, що наразі програма Revizto користується популярністю у понад 60 тисяч клієнтів у 150 країнах світу, включаючи відомі архітектурні та будівельні компанії, такі як Foster & Partners і Perkins & Will. Інші ключові гравці на ринку, такі як AutoCAD, Revit і Vectorworks Architect, також відзначаються. Прогнозується, що до 2025 року глобальні продажі у цій галузі досягнуть майже 12 мільярдів доларів. З урахуванням мого власного досвіду, я відзначаю, що управління робочим часом, витратами матеріалів і оптимізація процесу будівництва є критичними для успішного виконання великих будівельних проєктів [8].

В Україні спостерігається поживлення інтересу до інформаційного моделювання будівельних систем, однак цей процес притаманний лише

окремим інтегрованим підприємствам або компаніям із іноземними інвестиціями.

ВІМ активно використовується в будівельній галузі України, де його ефективність добре відчутна. Наприклад, у будівництві великих торговельно-розважальних центрів, таких як Ocean Plaza, "Республіка" у Києві, а також у проектуванні мультифункціональних об'єктів з складною внутрішньою інфраструктурою (наприклад, укриття над ЧАЕС). При цьому основними бар'єрами щодо впровадження ВІМ в Україні є: висока вартість програмних комплексів ВІМ порівняно із вартістю проектних послуг; рентабельність тільки для великих, типових або закордонних проєктів; нерегульованість нормативної бази щодо статусу інформаційного моделювання та його впровадження у процес будівництва на всіх етапах; недосконале законодавство, яке допускає виробництво не кваліфікованими учасниками; невизначеність розподілу відповідальності та права інтелектуальної власності; неготовність інвесторів додатково вкладати у інформаційні моделі; інерціальність та традиційність будівельної галузі, недостатнє розуміння переваг ВІМ; сумісність між різними програмними продуктами, вироблення єдиних стандартів із передачі даних; інерціальність будівельної галузі щодо впровадження ВІМ, неготовність виконавців проектування.

У той же час можна позначити чинники, що в сучасних умовах стимулюють впровадження ВІМ в Україні: орієнтація проектування на зовнішні західні ринки, для яких ВІМ є природним; імплементація європейських будівельних норм, що органічні для ВІМ комплексів; зростання вартості енергоносіїв, що змушує девелоперів та власників переходити на інформаційні технології проектування; впровадження енергоощадних програм та реформ; очікування закордонних інвестицій та програм і необхідність дієвого контролю за їх виконанням. Висока геометрична точність конструкцій, досягнута за допомогою ВІМ, і можливість передачі даних у системи САМ (у виробниче устаткування), різко підвищують технологічність виробництва та скорочують час монтажу. Крім того, це дозволяє реалізувати складні архітектурні форми,

мінімізує терміни на розроблення проєкту і внесення змін до нього. Перехід до використання BIM в майбутньому стане необхідністю, проте це можливо лише за умови зміни технологій та організації процесу проєктування. Для активного застосування BIM-технологій в Україні необхідно, перш за все, впровадити роз'яснювальну роботу, змінювати підхід замовників і проєктувальників будівельних об'єктів, при цьому ефективним замовником має бути держава. BIM виходить за межі проєктування і нерозривно застосовується для виробництва, експлуатації, діагностики будівель, слугує інформаційним кластером наповнення відомостями щодо взаємодії між системами будівлі, моделей їх деградації у реальних умовах, даних щодо ергономіки, екології при експлуатації та утилізації - так утворюється «Цифрове Місто».

Неунікнутність інтеграції BIM з іншими глобальними інформаційними інструментами, як от соціальні мережі, GPS та системи моніторингу навантажень і впливів на будівлю, впливає з мого власного досвіду в сфері будівництва. Ця інтеграція дозволяє значно покращити взаємодію будівлі з навколишнім середовищем, надаючи можливість керувати та коригувати стан будівлі як єдиної системи. Крім того, це забезпечує накопичення якісних та кількісних даних, що становлять основу для прийняття рішень у майбутніх проєктах. Детальна інформаційна модель будівлі дозволяє оптимізувати її параметри, виявляти чутливість до змін умов та параметрів, а також розкривати їх взаємозалежності [9].

Використання BIM під час будівництва та експлуатації будівлі дозволяє в режимі реального часу збирати та аналізувати історію відхилень стану елементів системи та проводити необхідні корективи. Застосування інтелектуалізованих інструментів виконання робіт та інтеграція із системами доповненої реальності мінімізує різницю між віртуальною та фактичною моделями, дозволяє вчасно виявляти позапланові ситуації та пропонувати шляхи реагування. Накопичений безцінний досвід може бути застосований для планування програми обслуговування та ремонтів, складання моделей деградації елементів систем як для конкретної будівлі, так і для аналогів. BIM

дозволяють формувати економіку стійкого розвитку, записувати та творити історію нашої цивілізації Незважаючи на всі труднощі Україна робить кроки для впровадження BIM-технологій. Один із кроків є те, що Кабінет Міністрів України затвердив розроблену Мінрегіоном Концепцію впровадження технологій будівельного інформаційного моделювання (BIM-технологій) в Україні, а також план заходів з її реалізації. Постанова, ухвалена 17 лютого 2021 року, прокладає шлях для впровадження технології BIM у будівництво як інструменту для цифрової трансформації будівельної галузі України. Ця концепція, розрахована до 2025 року, передбачає поетапну реалізацію.

На першому етапі, який охоплює 2021-2022 роки, передбачено ряд ключових заходів:

- Розроблення та ухвалення необхідних змін до законодавства, що стосується використання технологій BIM.
- Прийняття стандартів, які відповідають міжнародним та європейським нормативним документам у сфері будівельного інформаційного моделювання.
- Затвердження національних класифікаторів будівель та споруд, а також будівельної продукції, матеріалів, робіт та послуг.
- Розробка проєктів повторного використання для пріоритетних об'єктів соціальної інфраструктури, розроблених за допомогою технологій BIM.
- Розробка методики визначення та оцінювання життєвого циклу будівельних об'єктів.
- Забезпечення умов для навчання та підвищення кваліфікації з використання технологій BIM у будівництві.

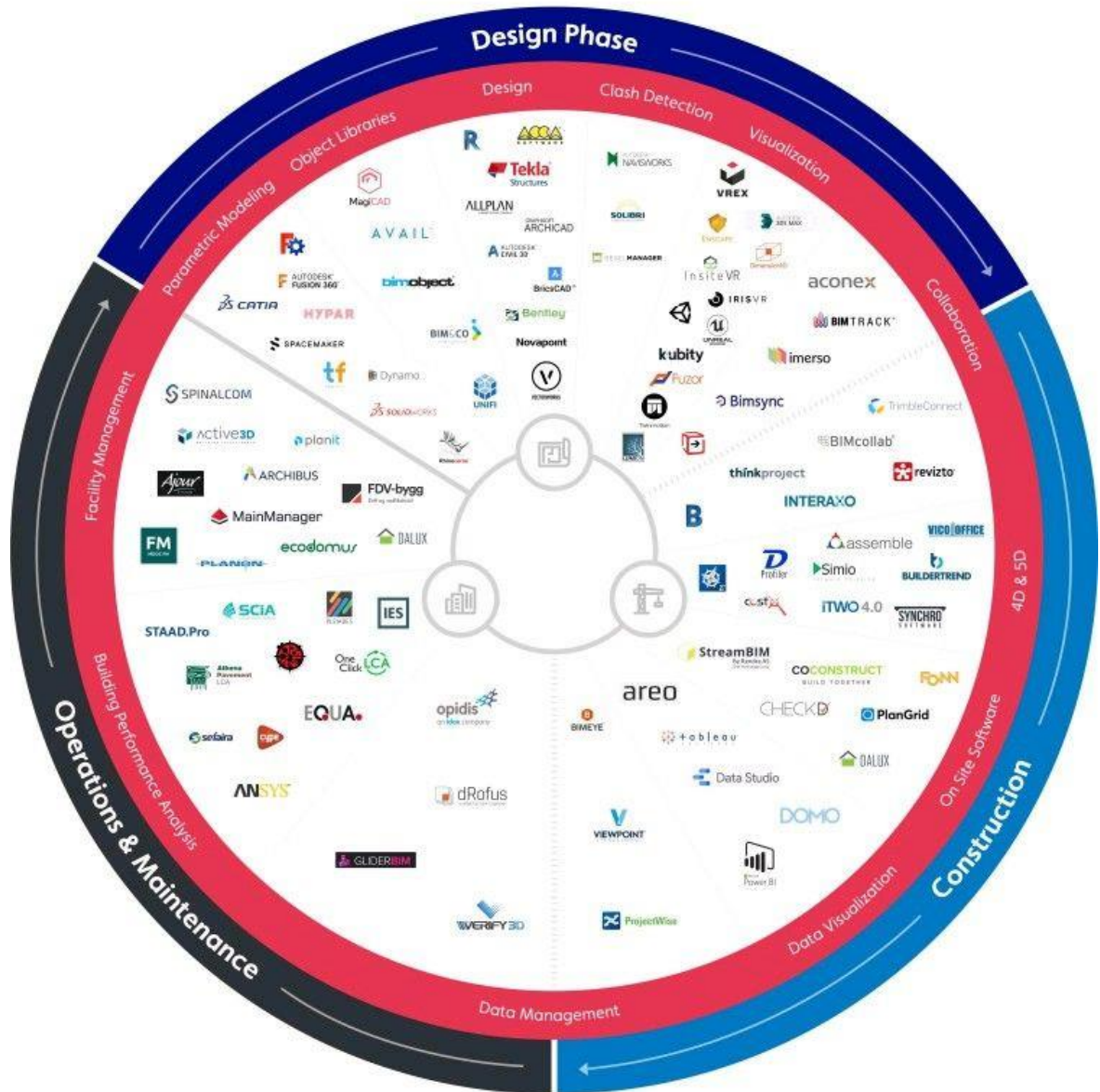
На другому етапі, з 2023 по 2025 роки, передбачається:

- Повна актуалізація будівельних норм з урахуванням особливостей використання технологій BIM.
- Реалізація пілотних проєктів будівництва з використанням будівельного інформаційного моделювання на рівні не менше 10% всіх проєктів будівництва, що фінансуються за рахунок державних видатків. [10].

1.3 Аналіз нових можливостей програмних продуктів в сфері автоматизації процесів проєктування

Технології проєктування удосконалюються із року в рік, використовуючи нові програмні комплекси з оновленими версіями, що сприяють збільшенню ефективності праці і при цьому скорочують трудовитрати на виконання конкретного проєкту. Перехід від класичного методу проєктування до технології BIM, обумовлений розвитком інформаційних технологій та появою спеціалізованих програмних комплексів, за допомогою яких можна створити цифрову модель об'єкта будівництва. Наявність такої моделі дозволяє використати різноманітні автоматизовані засоби аналізу та перевірок, випуску проєктної та робочої документації, візуального планування та оптимізації процесу будівництва, оцінки кошториса, та забезпечення регламентного доступу до даних об'єкта всім учасникам, що задіяні в процесі проєктування. Норвезька компанія Catenda по продажу програмних продуктів по всьому світу запропонувала своє карту відображення програмного забезпечення САПР. (рис 1.3) [11].

Mapping of the BIM software



Made with ❤️ in Norway by Catenda

Learn more about BIM collaboration on <https://www.catenda.no>

Рисунок 1.4 – Карта програмного забезпечення САПР від компанії

Catenda

Основною перевагою BIM моделей можна назвати їх динамічність, тобто при зміні окремих елементів моделі, автоматично оновлюються дані

параметрів, пов'язаних між собою. Активний розвиток цієї технології відбувся відносно недавно, значна кількість учасників будівельної сфери визнали ефективність BIM моделей, без яких неможливий подальший розвиток інвестиційного будівництва в Україні на новому якісному рівні. Основними труднощами, які виникають в результаті використання BIM:

- висока вартість закупки необхідного обладнання та програмного забезпечення;
- дефіцит кваліфікаційних кадрів, з відповідною кваліфікацією BIM технологій;
- проблеми з нормативною базою, державними стандартами, а також відсутність бази моделей для проектування об'єктів містобудування;
- відсутність переліку типових та шаблонних рішень;
- відсутність прозорого документообігу.

Вирішивши ці недоліки у впровадженні BIM технології, можна отримати потенційно важливі позитивні ефекти. На етапі будівництва впровадження технології BIM дозволить зекономити витрати, повисити точність планування та прозорість проектування, скоротити часові витрати на внутрішні узгодження та приймання рішень, налагодити злагодженість проєктної групи. Наявність інформаційної моделі дасть змогу вносити інноваційні конструктивні рішення, та забезпечить єдине бачення цілі проєкту всіма його учасниками. Зменшення тривалості проєктних робіт призведе також до зменшення накладних витрат [12].

Програмні комплекси, які зустрічаються частіше всього на українському ринку:

Archicad – програмний пакет для архітекторів, заснований на технології інформаційного моделювання (Building Information Modeling - BIM), створений угорською корпорацією Grafisoft, заснованою в 1982р., призначений для проектування архітектурно будівельних конструкцій та рішень, а також

елементів ландшафту, меблів. При роботі в пакеті використовується концепція віртуальної будівлі або споруди. Згідно цієї концепції, Archicad відтворює віртуальну існуючу у пам'яті комп'ютера модель. Для створення моделі на початкових етапах проєктувальник фактично вибудовує будівлю, використовуючи шаблони та бібліотеки конструктивних елементів. Після завершення побудови та моделювання, користувач має можливість вилучити всю необхідну інформацію для відтворення її у специфікаціях чи у відомостях матеріалів та ресурсів, експлікації, плани поверхів на різних відмітках, розрізи складних конструкцій, фасади будівлі або споруди. Archicad є одним із перших програмних продуктів в проєктній індустрії, зосередженим на BIM технологію, та формату взаємодії IFC. З 2007 року компанія Grafisoft стала у складі корпорації Nemetchek group (рис 1.) [13].

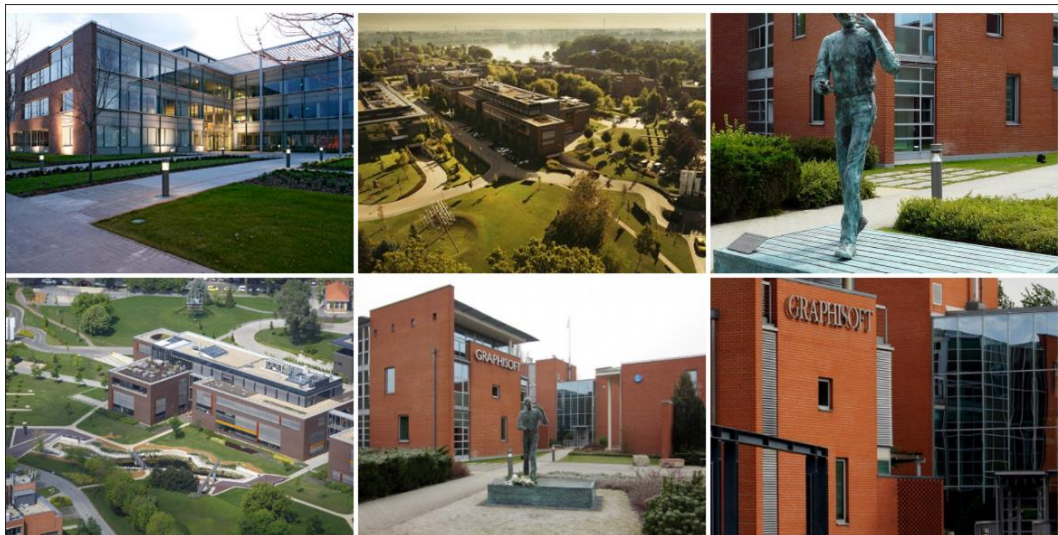


Рисунок 1.5 – Archicad 2023

AutoCAD – 2D та 3D вимірна система автоматизованого проєктування та креслення розроблена компанією Autodesk побудована на методології прямого моделювання. Перша версія системи була випущена в 1982 році. AutoCAD та спеціалізовані додатки на його основі знайшли широке використання в архітектурі, будівництві та в інших галузях промисловості. Програма підтримує формат BIM моделювання. Починаючи з версії 2010 автокад почав

підтримувати параметричне креслення, та динамічну прив'язку креслення із картографічними даними. Програма включає в собі повний набір інструментів для комплексного 3D-вимірного моделювання. Підтримка твердотільного, поверхневого та полігонального моделювання. Останні версії автокаду підтримують можливість візуалізації моделей за допомогою системи рендеренгу а mental ray.[8] Тим не менш 3-х вимірна параметризація поступається та не може конкурувати із такими програмними продуктами як Inventor, SolidWorks, Revit [14].

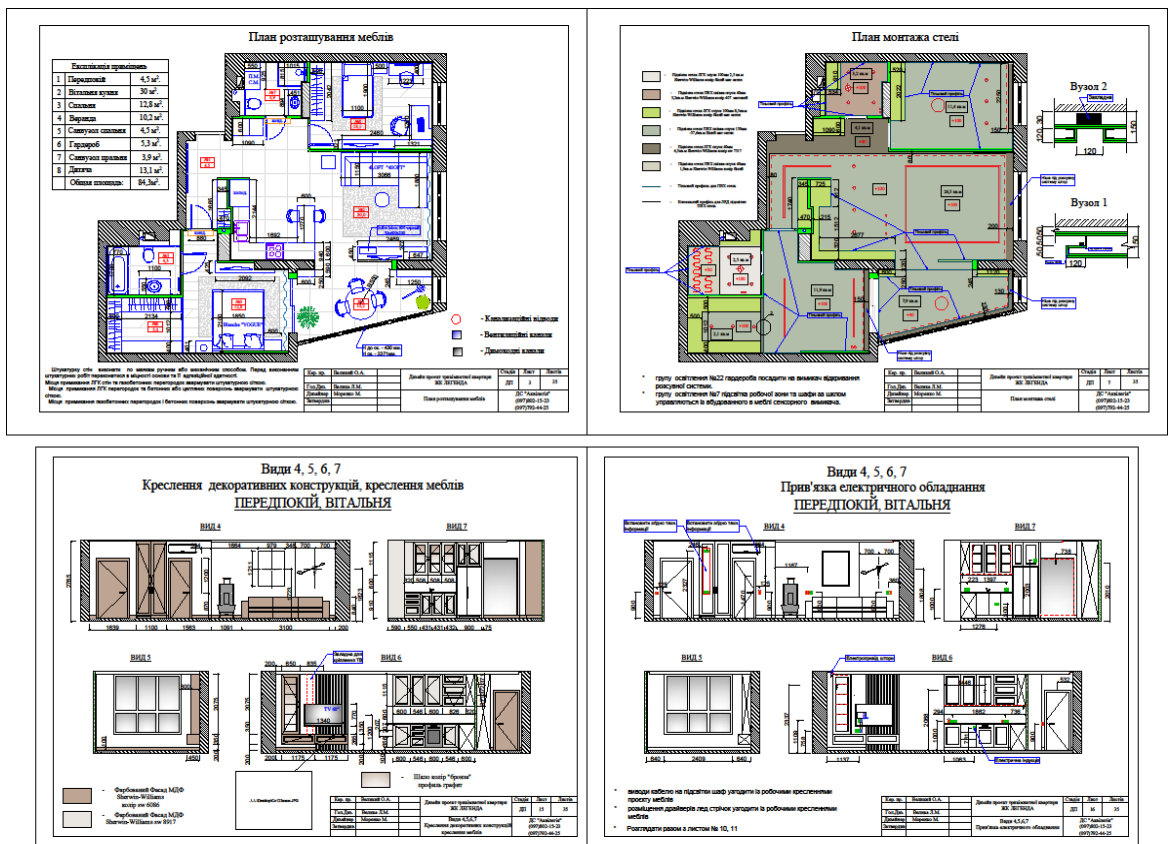


Рисунок 1.6 – Autocad 2024 «Електронний кульман»

Autodesk Revit Architectural – перша версія програмного продукту на основі параметричного моделювання була випущена в 2000 році. Цей автоматизований програмний комплекс реалізує принцип інформаційного моделювання будівель (Building Information Modeling, BIM). Revit надає можливість користувачам 3D вимірного проектування частин будівлі або

споруди із даними, які пов'язані між собою. Результатом налаштування методу моделювання є автоматичний набір різного значення специфікацій, відомостей, об'ємів та аналізу об'єкта будівництва. До бази даних Revit входить інформація про проект на різних етапах життєвого циклу будівлі(4D BIM) [15].

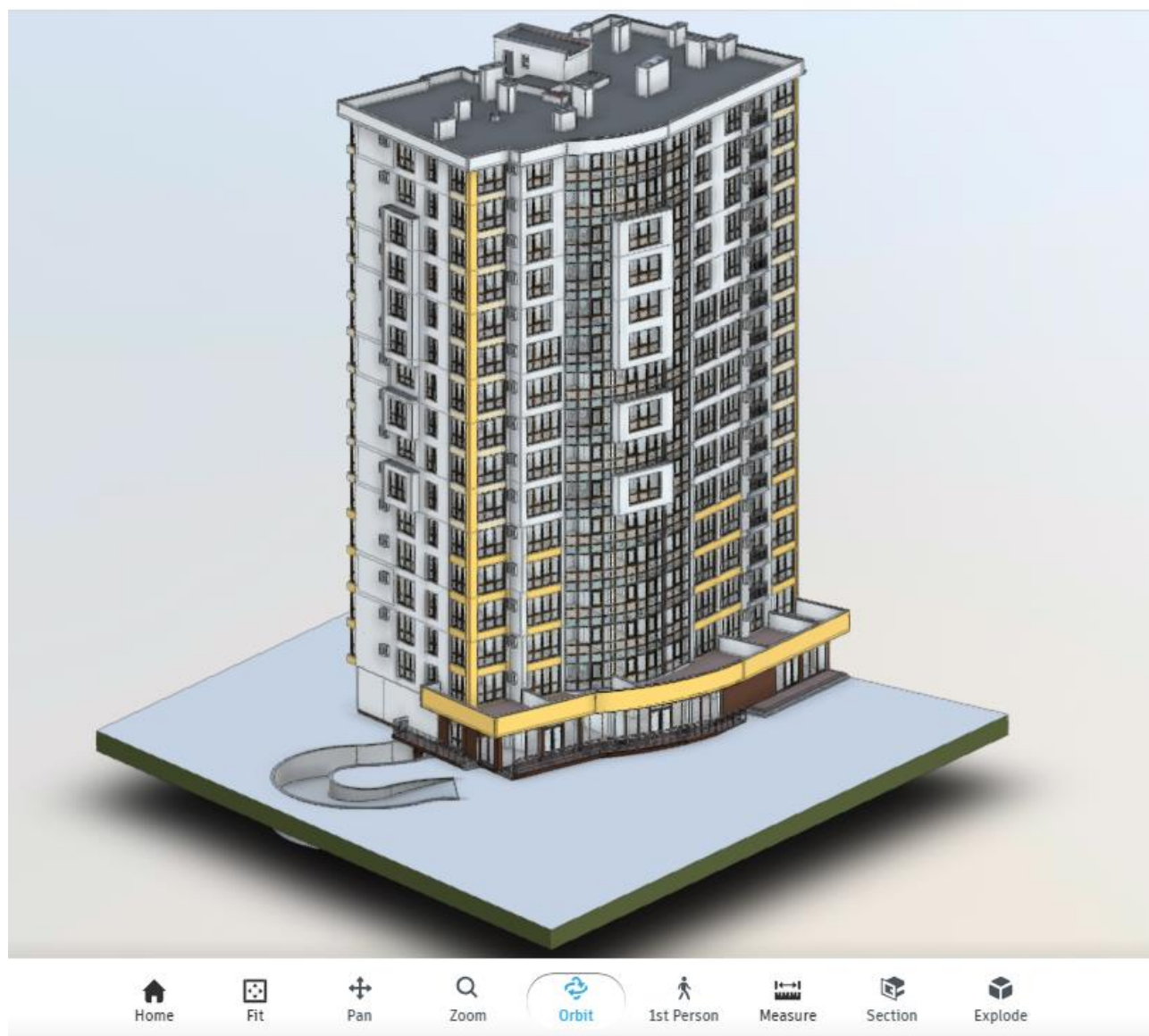


Рисунок 1.7 – Перегляд моделі BIM створеної у Revit
Програмне забезпечення

AutoCAD Civil 3D від корпорації Autodesk задовільняє потребам будівельних компаній, які займаються автономними проектами, та BIM (інформаційним моделюванням будівель). Побудований на знайомій платформі Autocad, AutoCAD Civil 3D був спеціально розроблений для задовільнення

інженерів будівельників по всьому світу, які задіяні в складні та вимогливі проекти цивільного будівництва, такі як облаштування територій, вертикальне планування, транспортування (наприклад покращення автострад), і навіть водні інженерні проекти. AutoCAD Civil 3D – це програмний продукт для проектування об'єктів інфраструктури, який базується на технології інформаційного моделювання будівель та споруд. Він надає широкий спектр функцій, направлений на підвищення ефективності проектування та спільної роботи на різних етапах. Деякі з нових можливостей містять характерні лінії відносних відміток, профілі з динамічними розрізами, аналіз розмірів труб, створення листів планів та профілей, редагування теодолітного ходу, усунення перекриття коридорів та покращену сумісність із InfraWorks. Також слід відмітити, покращення роботи із напірними трубопровідними мережами. Всі ці нововведення направлені на забезпечення користувачів більш точними та ефективними інструментами для проектування інфраструктурних об'єктів, що дозволить їм швидше працювати та робити менше помилок [16].

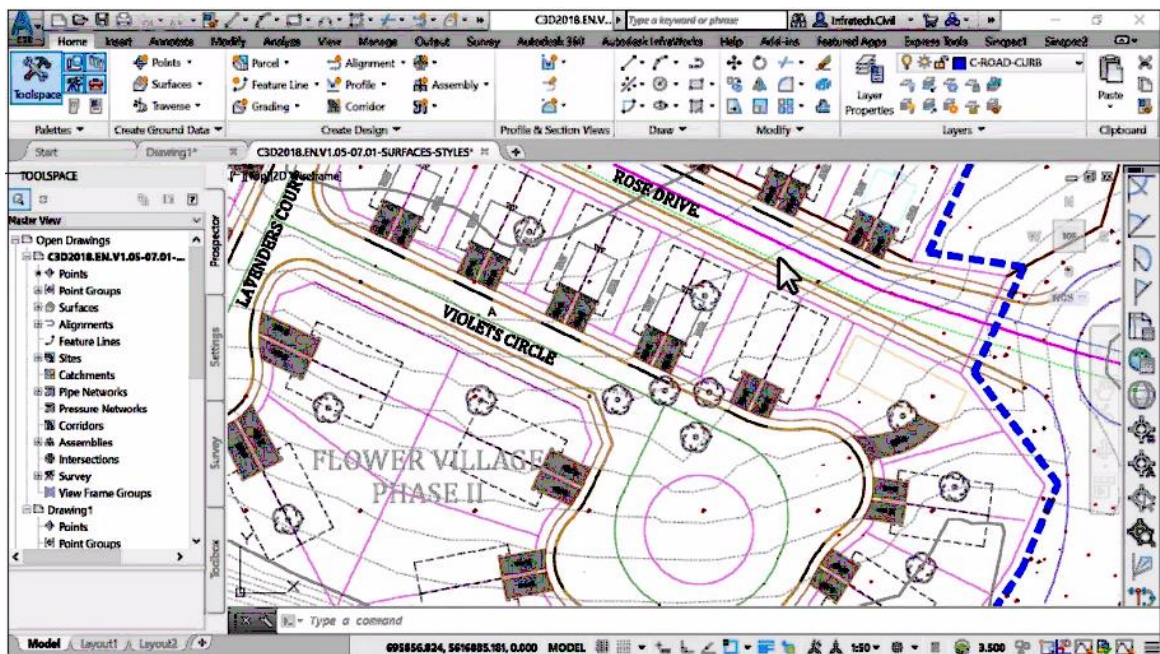


Рисунок 1.8 – Інтерфейс програми Autodesk Civil 3D

Tekla Structures – програмний продукт Tekla corporation, 4-х вимірний система, призначена для 3-х вимірного моделювання як простих так і

підвищеною складністю будівель з різноманітних матеріалів та управління будівельною інформацією. Може використовуватись, як платформа для розробки власних додатків. Програма має підтримку таких форматів як: IFC, CIS/2, SDNF, DSTV, DWG, DXF, DGN. Ця програма має можливість автоматичної генерації та копіювання креслень, розрахований на одночасний доступ та роботу користувачів над однією моделлю, автоматизованого створення та копіювання попередньо визначених з'єднань та деталей. Tekla BIMSight – система для одночасного, 3-х вимірною перегляду та перевірки будівельних моделей різних форматів, та інших САПР/ВІМ у форматі IFC. Програма забезпечує консолідацію ВІМ моделей з різних файлів, секцій, систем, з можливістю геометричних перевірок(колізій) та видачі зауважень, доступних для інших користувачів.

Allplan – система автоматизованого проектування створена компанією Nemetschek Group. Програмний пакет поєднує в собі розділи розробки архітектури, конструювання, інфраструктури, дороги, дизайн, оцінка вартості та кошториси, будівельні об'єми, інженерні системи будівель та споруд, створення генплану, проектування металоконструкцій, проектування залізобетонних конструкцій. ВІМ технологія, яка реалізована в Allplan, пропонує програмне рішення для кожного з етапів життєвого циклу будівельного проектування з початкової стадії ескізу до готової проектною документації [17].

Cinema 4D або скорочено C4D фірми Maxon є пакетом для створення 3-х вимірної графіки та анімації. Cinema 4D це універсальний комплексна програма для створення 2-х та 3-х вимірних об'єктів. Частіше використовується для створення візуалізації інтер'єрів. Дозволяє проводити рендерінг об'єктів методом Гуро. Підтримка моделювання, малювання, скульптурування, композитингу, трекінгу, анімації та високоякісної візуалізації є ключовими функціональними можливостями сучасних програмних продуктів у галузі комп'ютерної графіки та дизайну. Ці інструменти надають користувачам широкий спектр можливостей для створення та обробки цифрових об'єктів і

зображень. Відрізняється більш простішим інтерфейсом, чим у аналогів.(рис 1.9) [18].



Рисунок 1.9 – Візуалізація проекту будинку інструментами Сінема 4D

SolidWorks – програмний комплекс САПР для автоматизації робіт промислових підприємств на етапах конструкційної та технологічної підготовки виробництва. Забезпечує розробку виробів будь-якої ступені складності та призначення.

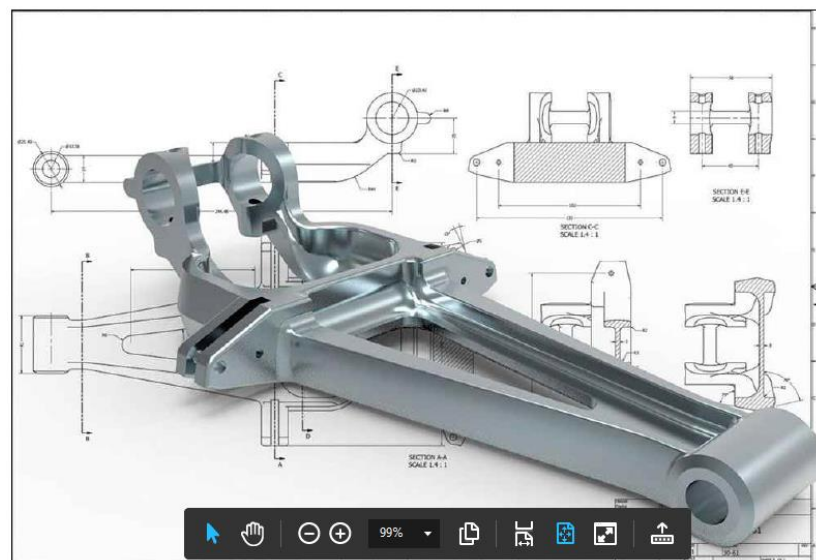
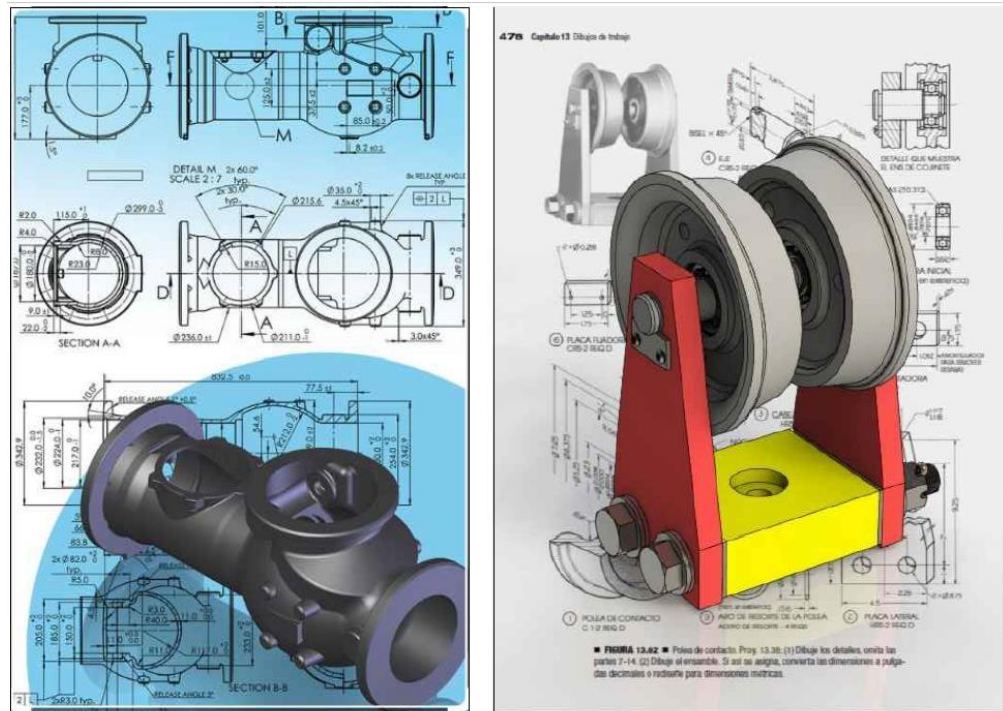


Рисунок 1.10 – Проектні розробки SolidWorks 2022 версії.

Цей програмний продукт розроблений компанією SolidWorks Corporation, став конкурентом таким продуктам як Autocad та Autodesk Mechanical. У найновіших випусках SOLIDWORKS реалізовано важливі покращення, спрямовані на оптимізацію робочих процесів. Підвищення продуктивності при роботі зі складаннями, покращена швидкість графіки та деталізації креслень дозволяють значно заощадити час. Новітні інновації у сфері проектування

відкривають широкі перспективи для збільшення гнучкості та прискорення робочих процесів [19].

ПК Лира-САПР - розробник НИИАСС, багатофункціональний програмний комплекс для проектування та розрахунку будівельних, машинобудівних конструкцій різного призначення. В програмі реалізований метод розрахунку – метод кінцевих елементів. В віртуальній моделі виконуються розрахунки на статичні (силові та деформаційні) та динамічні впливання. Проводиться підбір та перевірка січень сталевих конструкцій, армування січень залізобетонних та сталезалізобетонних конструкцій. За допомогою програмного комплексу можливо змоделювати роботу масивів ґрунту, розрахувати мостові споруди, моделювати роботу споруди під час виконання монтажу, досліджувати поведінку конструкцій під час динамічного впливу

3

часом.

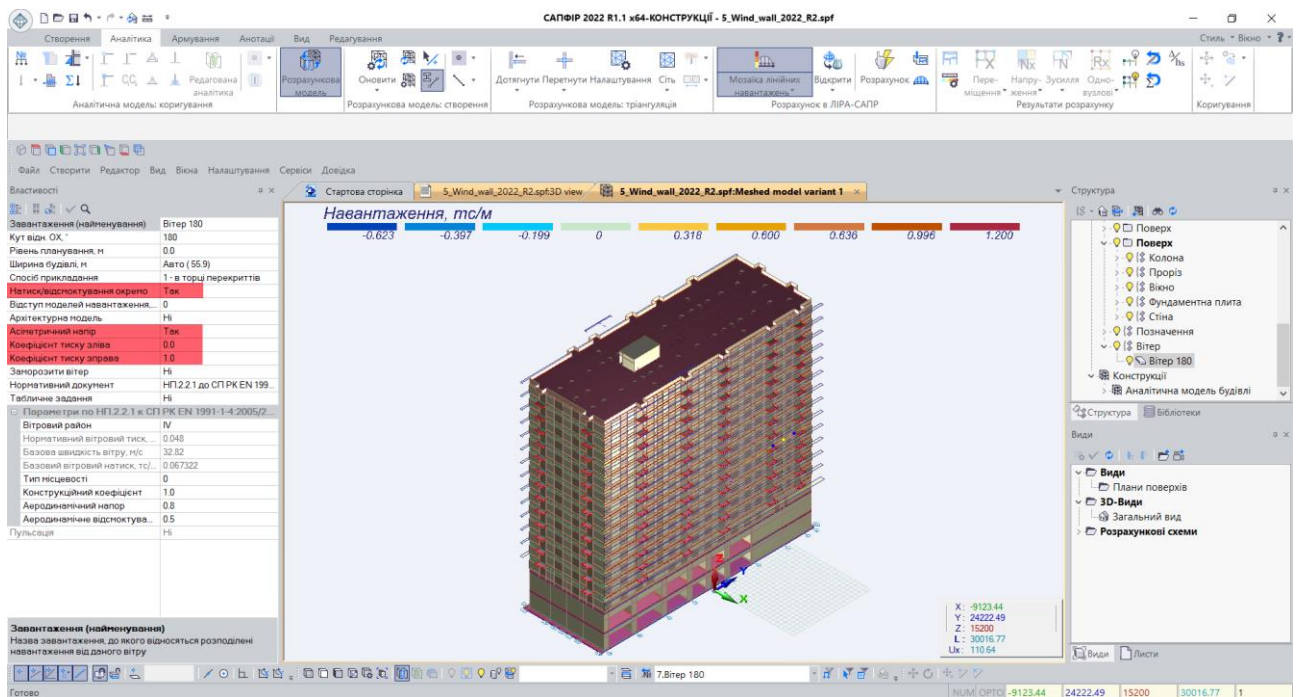


Рисунок 1.11 – Проектні розробки SolidWorks 2022 версії. Серед важливих нововведень Лира САПР 2024 це покращена робота плагіна Revit- Лира САПР, діалогове вікно Експорт стало немодальним, що дозволяє виконувати призначення властивостей на аналітичні моделі Revit без необхідності закривати вікно, відновлено передачу лінійного навантаження на

елемент Revit 2022, додано можливість призначити матеріали по категоріям для англійської локалізації програми, об'єднані імпорти dwg, dxf для команд імпорт поверхневих планів, імпорт креслення із Autocad, імпорт підложки у форматі dxf, dwg , у діалоговому вікні імпорт поверхневих планів додано збереження висоти поверхів у шаблон параметрів для подальшого використання, покращення імпорт IFC [20].

SurPro6.0 - належить компанії GUANGZHOU ALPHA GEO-INFO CO.,LTD. Розроблено на основі додатку, для визначення високоточного місцезнаходження системи супутникової навігації GNSS. Розробка прикладного програмного забезпечення для інженерних вишукувань. В основу програмного забезпечення закладений багаторічний досвід розробки карт та використання стилю роботи на базі Android. Виміри на ділянках, збір даних та перенесення у форматі цифрової моделі, розмітка точкової лінії, розмітка доріг. Автоматизований комплекс відрізняється простотою експлуатації, зручністю використання, обробкою даних. Частіше використовується для проектування та будівництва доріг. Перед початком роботи, в додатку створюється новий проєкт, мобільний телефон або планшет з'єднується із GPS прийомником і відображає відміряні точки на ділянці. У додатку буде відображені точки із висотними відмітками та відстані між ними. Даний програмний продукт можна відзначити досить високою точністю вимірювань, легкістю обробки даних, швидкістю вимірів топографічної зйомки. До недоліків можна віднести: дороге вартісне обладнання, відсутність кваліфікованих користувачів програмного комплексу, служба підтримки програмного комплексу, відсутність україномовного інтерфейсу, розмір екрану телефона або планшета.



Рисунок 1.12 – Топографічна зйомка ділянки.

Програмне забезпечення аналізу конструкцій Dlubal RFEM є найкращим вибором для вимогливих інженерів-будівельників у сучасному цивільному будівництві. Ця програма 3D MCE відповідає всім викликам сучасної індустрії. Вдосконалена технологія введення дозволяє швидко оволодіти програмою та забезпечує ефективне та інтуїтивно зрозуміле моделювання як простих, так і складних конструкцій [21].

Сучасна програма структурного аналізу RFEM 6 від Dlubal Software є основою сімейства модульних програм, які можна налаштувати та комбінувати відповідно до індивідуальних потреб користувача. Основна програма RFEM дозволяє визначати конструкції, матеріали та навантаження для двовимірних і просторових структурних систем, що складаються з плит, стін, оболонок і елементів. Крім того, можна створювати комбіновані структури та моделювати суцільні та контактні елементи. RFEM виконує розрахунок деформацій,

внутрішніх зусиль, напружень, опорних зусиль і контактних напружень у ґрунті.

Додатки, що інтегровані безпосередньо в програму, дозволяють проводити додаткові аналізи та перевірки проєктів відповідно до різних стандартів, таких як залізобетонні, сталеві та дерев'яні конструкції. Основною перевагою Dlubal Software є BIM-орієнтований підхід програм, що взаємодіють з широким спектром інших програмних рішень, що використовують BIM. Dlubal Software надає різноманітні інтерфейси до іншого програмного забезпечення за замовчуванням.

Основним світовим лідером та гігантом у сфері BIM проєктування вважається Autodesk. Корпорація, яка хопила всі сфери проєктування будівель та споруд, починаючи від ескізу до повної утилізації об'єкту. Програмне забезпечення для архітекторів, будівельників, інженерів, дизайнерів, виробників, 3D-художників і виробничих груп. Технологія розробки та виробництва охоплює широкий спектр галузей, щоб надати новаторам повсюди можливість вирішувати великі та малі проблеми [22].

Autodesk 3Ds Max - продукт Autodesk inc (раніше DStudio MAX) професійне програмне забезпечення для 3d – моделювання при створенні віртуального візуального бачення об'єктів, як зовні так і всередині. Може використовуватися для створення ландшафту та анімації. 3Ds Max має обширні засоби для створення різноманітних по формі та складності 3-х вимірних віртуальних моделей, реальних чи фантастичних об'єктів навколишнього середовища, із використанням різноманітних технік та механізмів.

Полігональне моделювання Editable mesh (редагування поверхні) та Editable poly (редагування полігону)-самий розповсюджений метод моделювання, який використовується для створення складних моделей та малополігональних моделей для ігор. Моделювання складних об'єктів починається із побудови параметричного об'єкта «Вох», тому техніка

модельовання зазвичай називають «Box modelling». Для архітектурного модельовання використовується техніка на основі роботи зі сплайнами(spline). В подальшому, за допомогою модифікаторів Extrude, Lathe, Bevel Profile, моделі набувають складних перетікаючих форм, які складно створити методом полігонального модельовання. Модельовання на основі стандартних об'єктів, як правило, є основним методом та служить відправним пунктом у створенні складних структур. Тому можна сказати, що усі методи базуються на об'єднанні примітивів в єдину цілісну цифрову систему із набором параметрів та атрибутів. В подальшому, моделюється сцена розміщення об'єкта в просторі, налагоджуються параметри освітлення та текстури поверхонь та використаних матеріалів і за допомогою інструменту Teapot «Чайник», виконується рендерінг об'єкту (рис 1.13) [23].



Рисунок 1.13 – Візуалізація у програмі 3DsMax

SketchUp – це програма для 3-х вимірного моделювання, що належить Trimble inc, яка дозволяє створювати 3-д моделі будівель та споруд, ландшафтів, меблів та інших об'єктів і керувати ними. Використовується в архітектурі та дизайні інтер'єру, а також при промисловому моделюванні. Програма включає функції компоновання малюнків, візуалізацію поверхні в різних стилях і дозволяє розміщувати свої моделі в Google Earth.

Програма створена для 3D дизайна та архітектурного проектування. В Основному використовується для моделювання житлових будинків, меблів, інтер'єру. В програму вбудовані інструменти для проектування сходових конструкцій, електрокомунікацій, санітарно технічних комунікацій, та обладнання. Однак існують і більш масштабні проекти на її базі. Основною характерною особливістю – майже повна відсутність вікон попереднього налаштування. Всі геометричні характеристики підчас або зразу після закінчення дії інструменту вводяться із клавіатури в полі Value Control, яке знаходиться в правому нижньому куті робочої області. Також ще однією із ключових особливостей SketchUp, інструмент Push\Pull, який дозволяє витягнути будь-яку площину в сторону і при цьому створити нові бокові стінки.

Витягнути площину можна за заданою кривизною, для цього використовується спеціальний інструмент Follow me. Такий підхід розробників програми був зумовлений на непрофесіональну цільову аудиторію. Така направленність програми дає змогу створити швидко ескіз майбутнього проекту, показати його у належному вигляді та стає основною для розробки архітектурних та конструктивних елементів. (рис 1.14) [24].



Рисунок 1.14 – Ескізне відображення SketchUp

Autodesk Navisworks Manage – це універсальна програма координації та перевірки складних BIM проектів, розділи яких створені в різних BIM/CAD САПР. В процесі роботи виникає необхідність зборки та координації цих розділів. Необхідно перевірити та зменшити кількість геометричних помилок (колізій). Менеджерам проекту завжди корисно знати точні кількісні дані, тому Navisworks дозволяє швидко та зручно витягнути об'єми, площі та кількість з об'єднаної моделі. Однією із ключових функцій- функціонал для побудування графіків будівництва та візуалізація процесу будівництва із відслідковуванням планових та фактичних показників. (рис 1.14). Вбудований модуль TimeLiner (Шкала часу) дозволяє створювати графік будівництва (діаграма Ганта) з прив'язкою до 3D елементів моделі та вчасно відслідковувати колізії процесу. Після побудови графіка Navisworks дає можливість виконати 3D анімацію

процесу будівництва. Також можна відслідкувати планові та фактичні показники.

Clash Detective (Диспетчер конфліктів) дозволяє виконати пошук по всій моделі проєкта на ранніх етапах проєктування виявляти геометричні пересічення між різними розділами проєкту. Диспетчер конфліктів дозволяє швидко вивчити, проаналізувати та сформуванати звіти та зауваження для учасників проєктної групи. Цей модуль дозволяє зменшити ризик людської помилки при перевірці моделі. Сумісна робота диспетчера конфліктів та анімації дає більше розуміння пересічень між об'єктами, які рухаються. (рис 1.15)

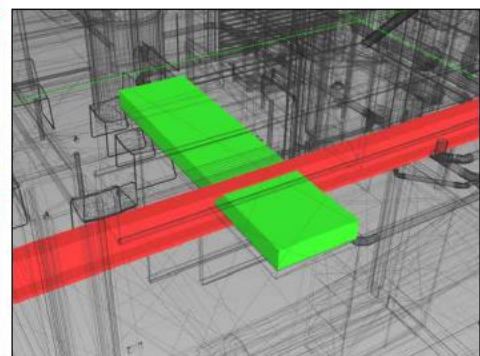
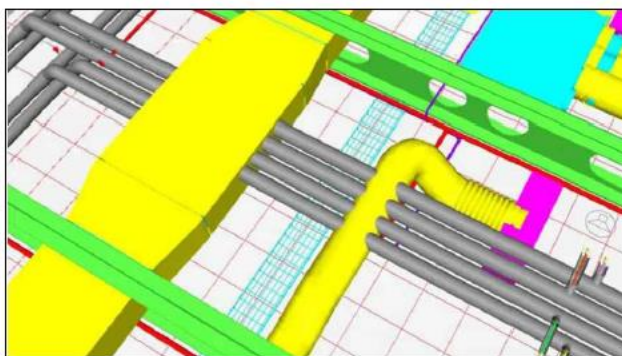
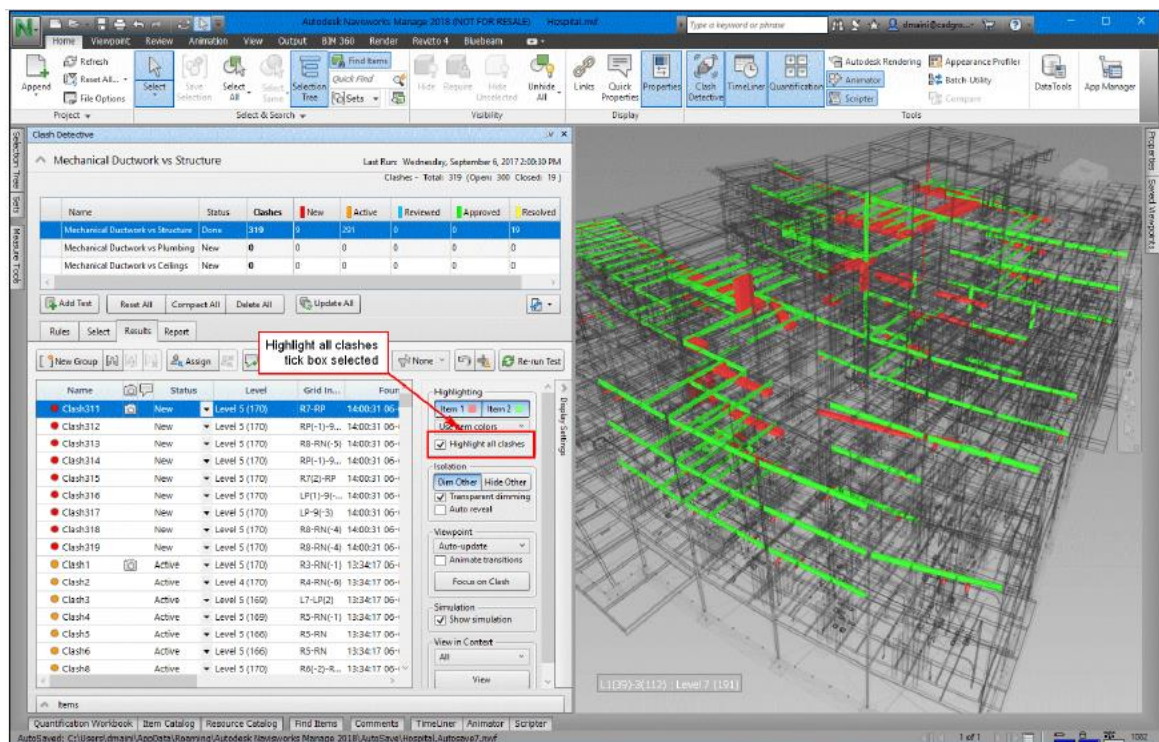


Рисунок 1.15 – Clash Detective виявляє геометричні пересічення компонентів будівлі

Quantification (Кількісна оцінка) модуль, який дозволяє отримати кількісні характеристики матеріалів та моделей, креслення та специфікації, які підготовлені архітекторами, інженерами та спеціалістами інших розділів. В цьому модулі використовуються інструменти для автоматичного виконання розрахунків матеріалів, виміри площ та підрахунок кількості необхідних компонентів будівлі. Це дозволяє оцінювати проєкти будівництва, знизити витрати часу на прорахунок, а також приділити більше увагу на аналіз. Слід зауважити, що Navisworks відслідковує геометричні параметри навіть на робочих кресленнях 2D PDF. Всі дані можна завантажувати в необхідному форматі та вигляді для розрахунків вартості. Не можна обійти увагою той факт, що в цій програмі можна відкривати файли, створенні в різноманітних САПР та BIM, включаючи файли публікацій даних NWD та DWG. Ці файли можна об'єднувати один з одним та створювати єдиний файл. Мультиформатність Navisworks налічує більш ніж 60 форматів. Для анімації будь-яких складних 3D елементів в BIM моделі, можна написати скрипт. Наприклад рух транспорту по будівельній площадці, відкривання закривання воріт, анімація роботи будівельного крана тощо [25].

РОЗДІЛ 2

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ТА МОДЕЛЕЙ СУЧАСНОГО ПРОЄКТУВАННЯ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД

Занурюємося у світ передових методів і моделей архітектурного проєктування, акцентуючи на революційній силі BIM та автоматизації. Відкриваємо користь від цих технологій: мінімізація помилок, удосконалення взаємодії, підняття репутації, зниження витрат та прискорення реалізації проєктів, наближаючи нас до більш ефективного та економічного майбутнього в архітектурі [26].

2.1 Аналіз єдиної інформаційної системи проєктування об'єктів містобудування

Консалтингова компанія McGraw Hill Construction провела опитування серед компаній будівельної сфери і взнала які переваги вони отримали після впровадження BIM технології. Так 41% опитуваних компаній відмітили скорочення кількості помилок після використання технології BIM, 35% звернули увагу на покращення комунікації між керівниками та проєктувальниками, 32% вважають, що використання даної технології покращує імідж компанії, 31% заявляють про те, що скоротилась кількість проєктних змін, 23% - скорочення вартості будівництва, 21% обумовлюють зміну у збільшенні контролю над витратами, а також ріст точності прогнозів, 19% стверджували про скорочення загальної тривалості проєкту, 19% заявили про освоєння нових ринків проєктування та реалізації будівельних проєктів [27].

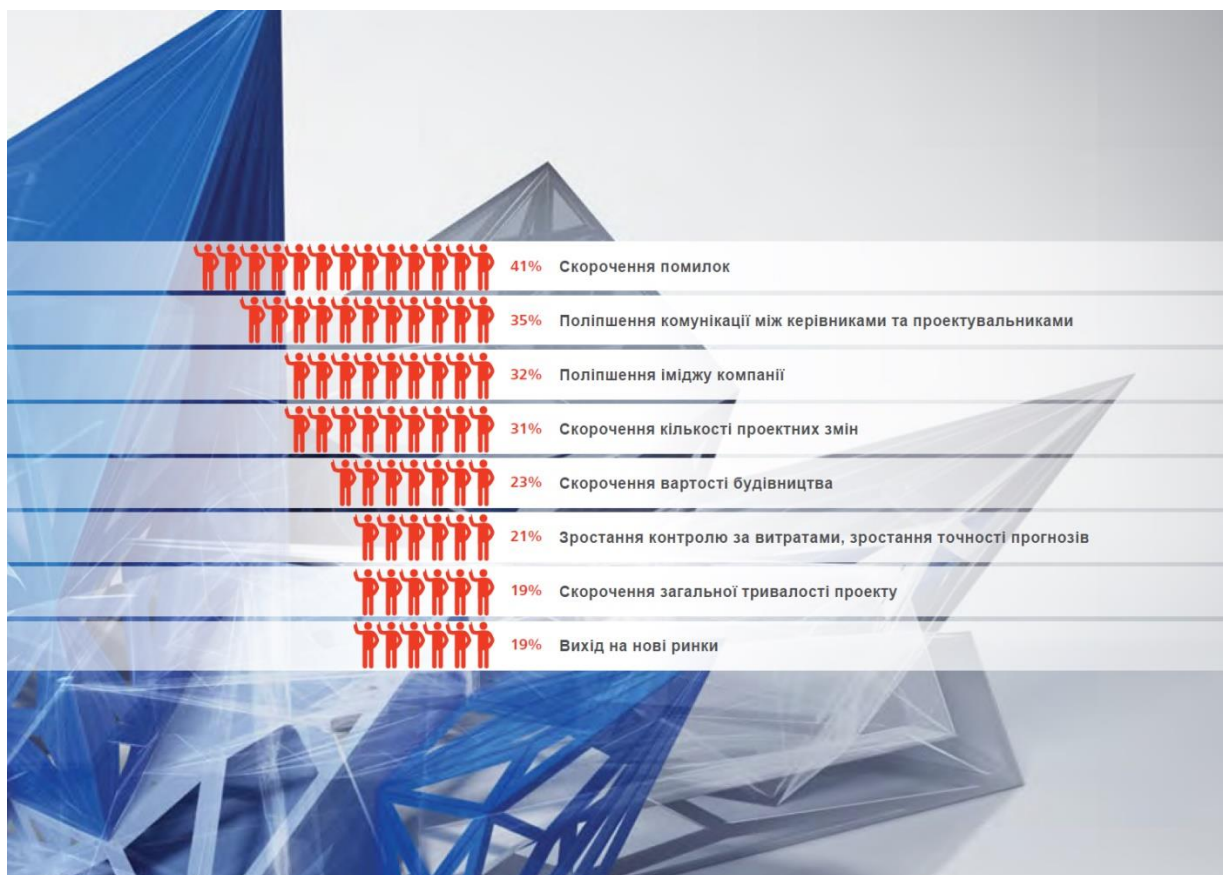


Рисунок 2.1 - Переваги втілення BIM-технологій в діяльність компаній будівельної галузі (по даним опитування консалтингової компанії McGraw Hill Construction [6])

Нещодавно BIM технологія сприймалась як 3D-модель, яка складається із візуальної частини та проєктної документації. Насправді, це лише «вершина айсберга». Основа технології – це процеси, та методи спільної роботи з інформацією параметрів та атрибутів об’єкта будівництва. Процеси регулюють роботу с BIM моделлю, яка складається із інтелектуальних об’єктів та взаємопов’язаних параметрів. Для кожного етапу роботи прописується свій рівень деталізації. Це дозволяє приймати керуючі рішення, маючи всю необхідну інформацію і при цьому не навантажувати інформаційну модель.

«BIM – це не тільки Autodesk Revit. BIM – це люди, процеси та інструменти» Заха Хадід (Zaha Hadid)

BIM охоплює всі етапи життєвого циклу будівель та споруд, планування, складання технічного завдання, проєктування та аналіз, видача робочої документації, виробництво, будівельні процеси, експлуатація та ремонт, демонтаж та утилізація. Рис (2.2)



Рисунок. 2.2 Життєвий цикл будівель та споруд

Дані додаються в інформаційну 3D - модель на протязі всього життєвого циклу об'єкту. Вони необхідні для планування бізнесу, проектування, закупки матеріалу, координації роботи на різних ділянках проекту, логістики, будівельно монтажних робіт, передачі в експлуатацію. Цифрова модель дозволяє об'єднати інформацію, якою вже володіє організація із новими знаннями, які з'являються при переході на BIM. Вона забезпечує обмін даними між наявною системою підприємства та моделлю. Інформаційна модель стає постачальницею даних для системи закупок, системи календарного планування, системи управління проектами, внутрішньої системи управління та інше. Одним із ключових елементів технології цифрової інформаційної моделі визначається рівень деталізації моделі. Проблемою може стати як нехватка інформації, так і її надлишок. Модель повинна вміщувати той об'єм, який дозволить приймати необхідні рішення саме в той момент, коли це необхідно.

Хто і в який момент вносить інформацію в модель, в якому вигляді, або отримує її, яким чином дані переміщуються із одного етапу проєкту в інший, описується в BIM процесах.

Схема 1 описує типовий процес створення об'єкта будівництва по технології BIM від етапу отримання інвестицій до етапів зведення та здачі в експлуатацію. Умовно схему можна поділити на чотири рівня: верхній – ключові учасники, середній. – процес, нижній – вихідні документи, четвертий – інформація, за рахунок якої наповнюється проєкт. Також слід відмітити п'ять стадій:

- ПЕРЕДПРОЄКТ
- ПРОЄКТ (П)
- РОБОЧА ДОКУМЕНТАЦІЯ (РД)
- БУДІВНИЦТВО
- УПРАВЛІННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ

Взаємодія між ключовими учасниками проєкта може будуватись по різному, в залежності від виконуючих функцій. Суцільні та пунктирні лінії в рядку «Ключові учасники» показують можливу участь на різних стадіях проєкта. Наприклад, якщо у інвестора (замовника) є свій проєктний відділ, то концепт проєкт може бути виконаний стороною замовника, із подальшою передачею генпроєктувальнику, який буде реалізовувати проєктування та випуск РД, невиключно з можливістю участі субпідрядників. Якщо у інвестора немає свого проєктного відділу, тоді генпроєктувальник бере на себе розробку концепт проєкта стадії «передпроєкт», «проєкт» та РД. Також проводить узгодження всіх стадій із замовником. За генпроєктувальником закріплений авторський супровід. Зазвичай генпідрядник відповідає за будівництво, але при наявності власного проєктного відділу, може виконувати роль генпроєктувальника.

Передпроєкт – рішення, яке розробляється на основі технічного завдання, з урахуванням норм та правил проєктування, характеристик та параметрів об'єкта будівництва. На цій стадії ведеться розробка декількох варіантів проєкту, проводиться аналіз та пошук оптимального рішення.(рис.2.3)

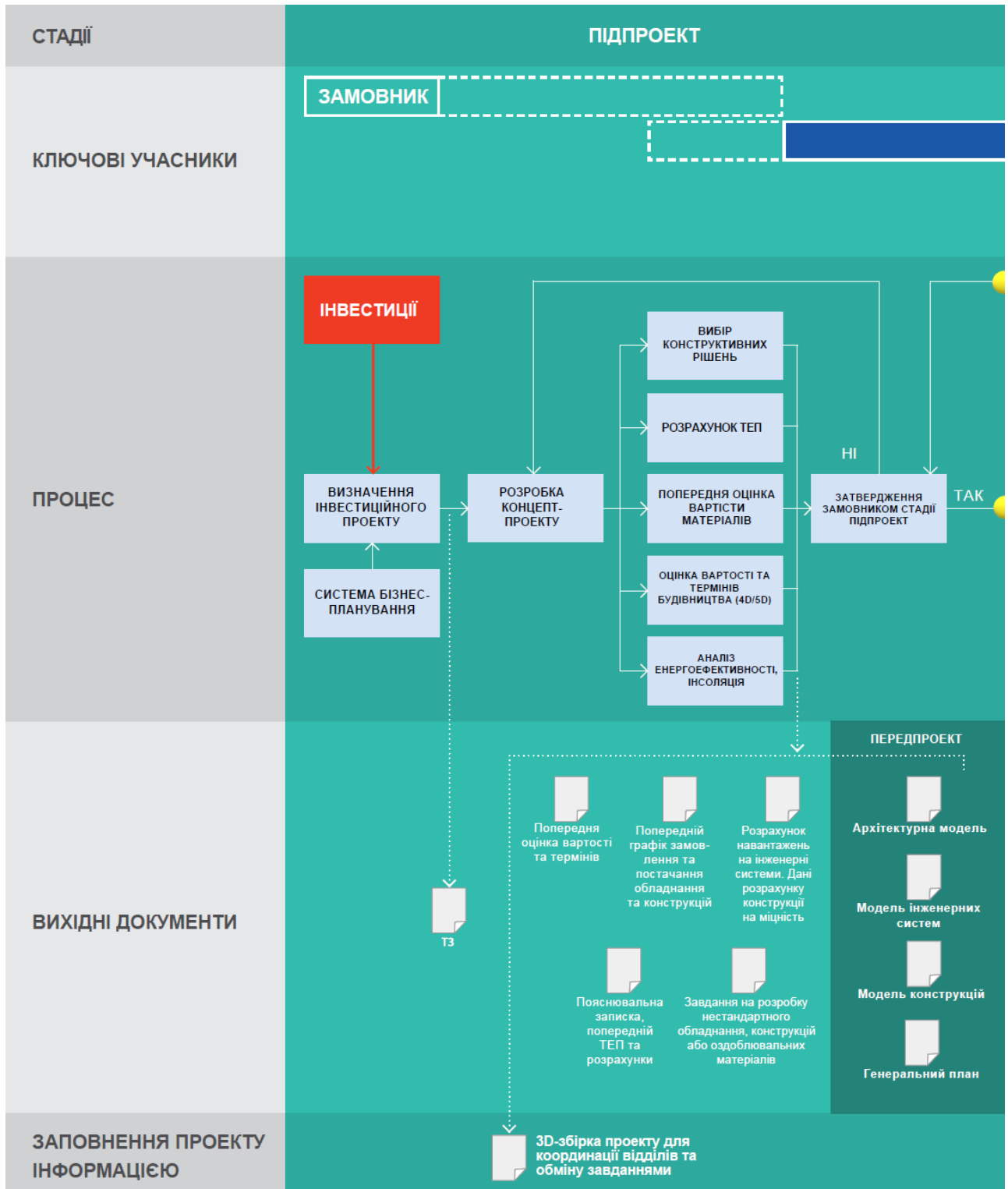


Рисунок. 2.3 Схема взаємозв'язку ключових учасників, процесу та вихідних документів на стадії передпроект.

Проект – конкретне технічне втілення об'єкта будівництва із загальним описом об'єкта. По суті стадія проект дає повну уяву того, яким буде об'єкт.

Після завершення цієї стадії проєкт здається на експертизу. При позитивному висновку експертизи видається дозвіл на будівництво і починається стадія розробки РД. (рис 2.4)

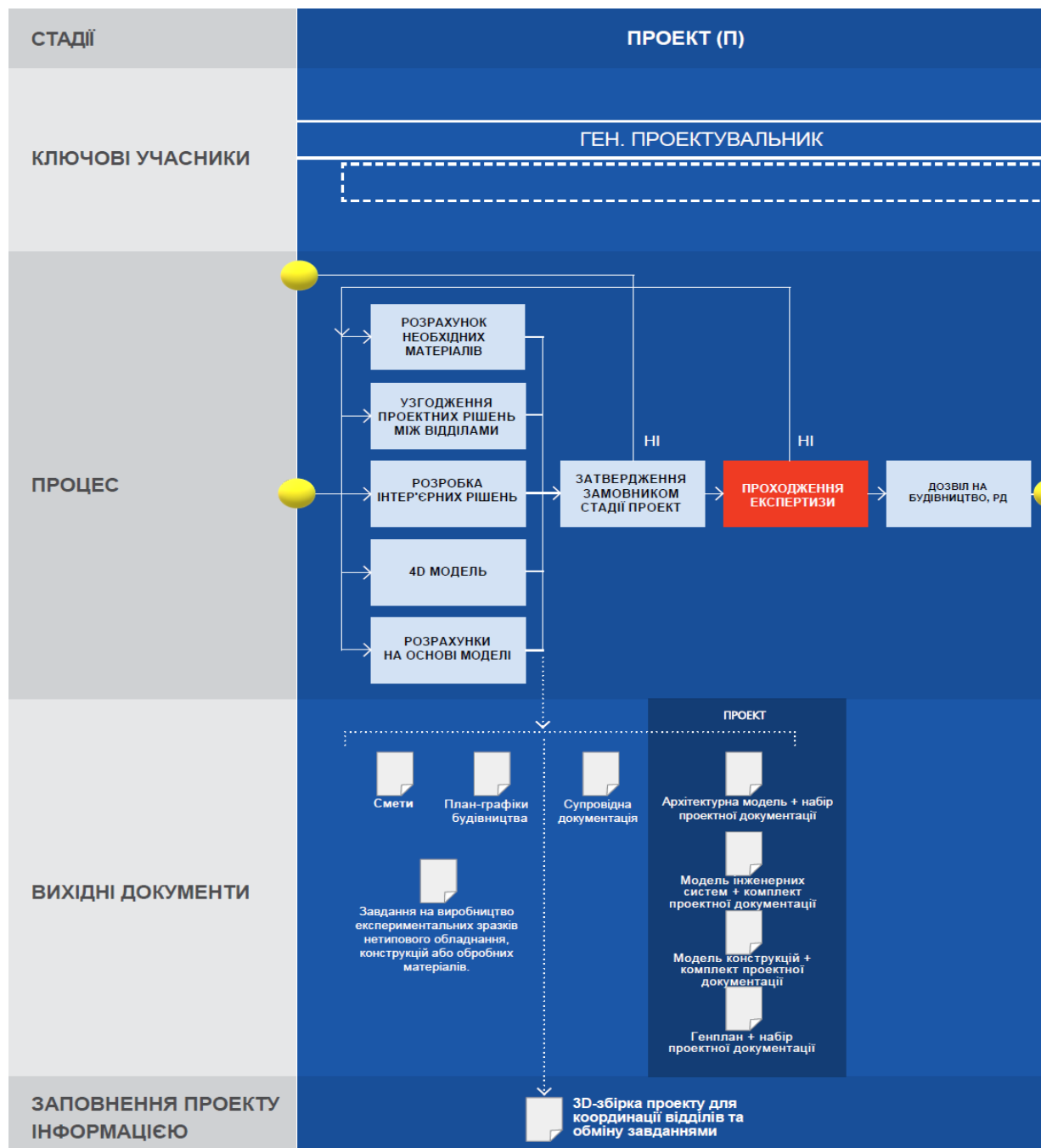


Рисунок. 2.4 Схема взаємозв'язку ключових учасників, процесу та вихідних документів на стадії проєкту.

Робоча документація – описує процес реалізації. Можна сказати, етапи і документи присутні в роботі у будь-якій компанії будівельного сектору,

незалежно від того чи втілений в виробничий процес ВІМ. Однак, інформаційне моделювання дозволяє принципіально іншим шляхом керувати цими компонентами. (рис 2.5)

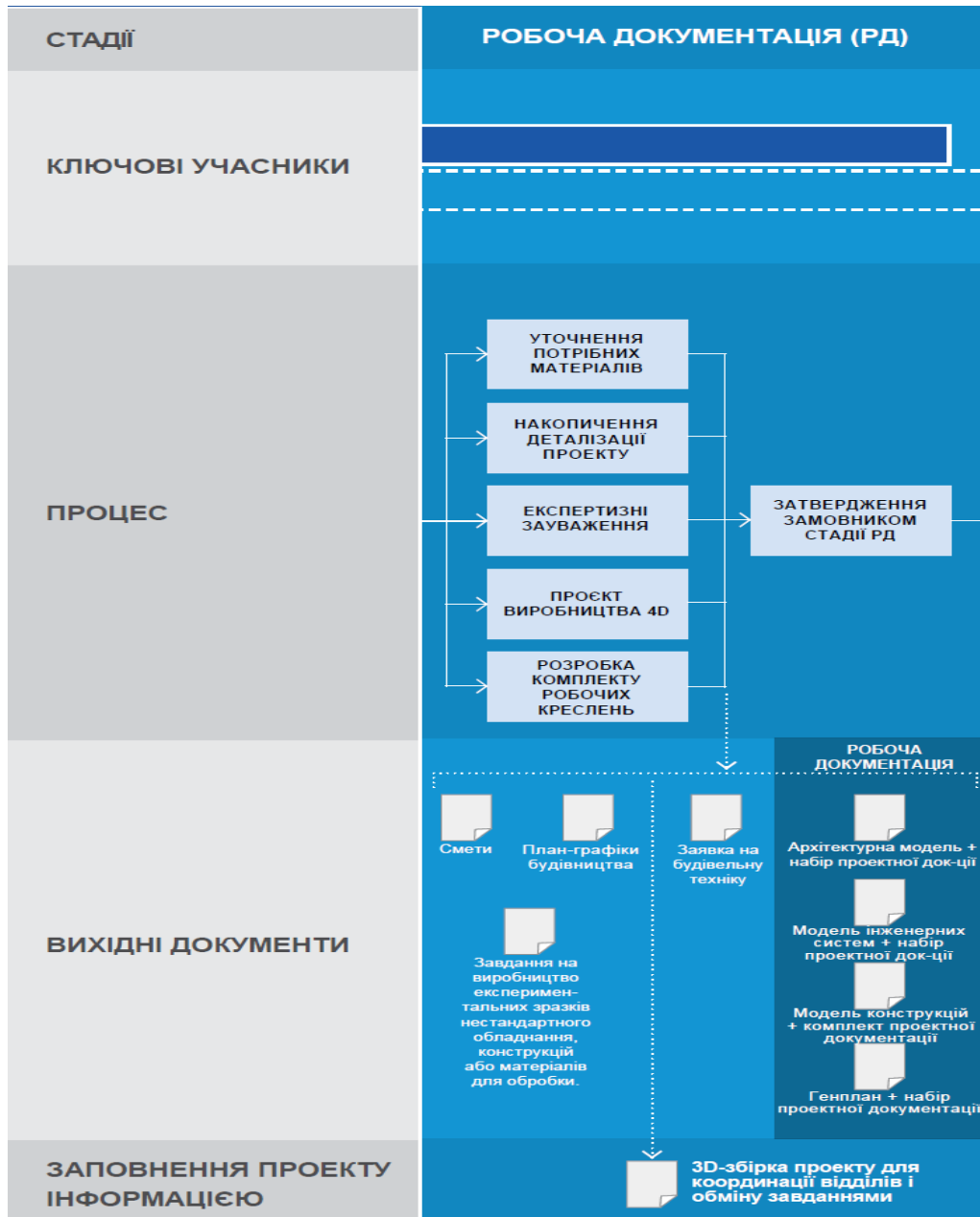


Рисунок. 2.5 Схема взаємозв'язку ключових учасників, процесу та вихідних документів на стадії робоча документація.

Етап будівництво та експлуатація, стає більш прозорим та зрозумілим для всіх учасників реалізації об'єкта будівництва. Завдяки візуальному та

оформленому належним чином вихідної документації на стадії будівництва можна знизити наявність колізій та пересічень будівельних процесів (рис 2.5) Налагодити систему вчасного постачання та узгодити із календарним графіком виконання робіт.

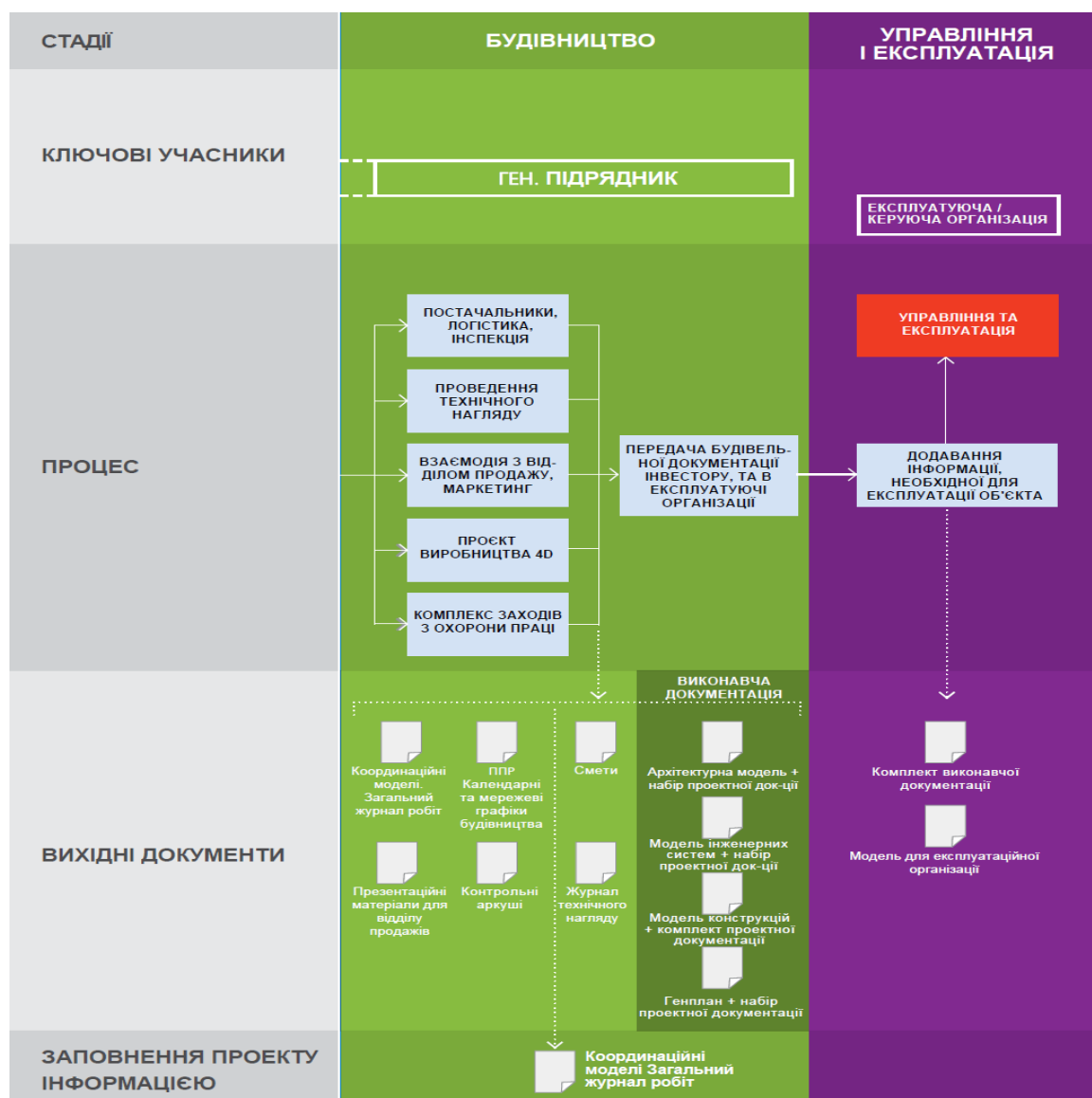


Рисунок. 2.6 Схема взаємозв'язку ключових учасників, процесу та вихідних документів на стадії будівництво та експлуатація об'єкту будівництва.

Сформувавши комплексну модель проекту на визначену дату, з'являється можливість поетапно систематизувати отримані дані та провести їх аналіз. Розраховавши проценте співвідношення, проектного об'єму та фактичного,

можна внести актуальні дані в календарний графік та провести аналіз задач, виходячи із оновленої інформації. Зіставлення планування та фактичного стану дає чітке розуміння фактичної ситуації (рис 2.6)

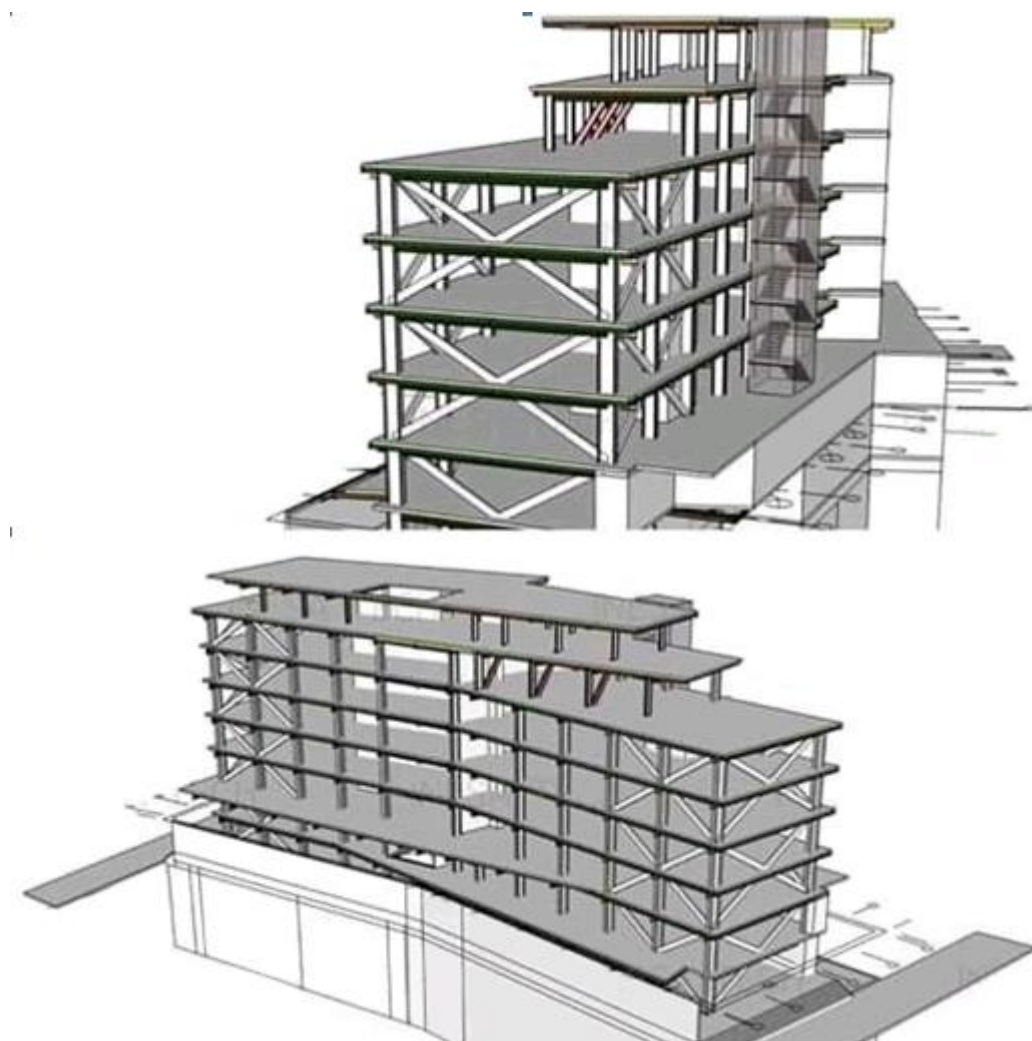


Рисунок. 2.6 Приклад звіту.

Після отримання такої моделі за допомогою зведення у таблицю Сформувавши комплексну модель проєкту на визначену дату, з'являється можливість поетапно систематизувати в таблиці отримані дані та провести їх аналіз.(таб 2.6) [28].

Таблиця 2.1 – Звіт фактичних робіт із прив’язкою до календарного плану

Види робіт	Проект, куб.м.	План, куб.м.	Фактично, куб.м.		Відставання, випередження, куб.м
			Неділя, №	Підсумок	
Монолітний ЗБ каркас	18400	14335	43	15370	1035
Кладка газобетону	3455	1084	43	903	-181

Розрахувавши процентне співвідношення, проєктного об’єму та фактичного, можна внести актуальні дані в календарний графік та провести аналіз задач, виходячи із оновленої інформації. Зіставлення планування та фактичного стану дає чітке розуміння фактичної ситуації. Такий рівень деталізації дає можливість системного та варіативного контролю виконання бізнес плану та накопичення інформативної бази для створення календарних графіків нових проєктів.

Такий рівень деталізації дає можливість системного та варіативного контролю виконання бізнес плану та накопичення інформативної бази для створення календарних графіків нових проєктів. Всі ці можливості допомагають у прийнятті керуючих рішень та вчасного реагування на обставини, які складаються по ходу будівництва. Підсумовуючи кожний етап життєвого циклу об’єкту будівництва, можна сказати, що по перше, модель являє собою базу даних, яка імітує реальний об’єкт.

Дані із моделі можна витягувати, сортувати, обробляти та міняти одночасно із процесом проєктування. Графічні зміни автоматично міняють базу даних – це важлива властивість BIM – моделі. По друге, BIM допомагає всім учасникам проєкту (замовнику, проєктувальнику, будівельнику, постачальнику, експлуатаційній організації) краще сприймати об’єкт будівництва на ранніх стадіях. Залученність у процес стає основою високої якості проєкту, яка

дозволяє із самого початку врахувати безцінні знання та досвід експертів. По-третє, в існуючій технології всі дисципліни включаються послідовно, що не продовжує процес проєктування та будівництва та не обмежує термін внесення змін та реагування на них [29].

Технологія BIM дозволяє організувати колективну роботу на більш якісному рівні із відслідковуванням внесених змін. Не можна не зауважити, що BIM відкриває додаткові можливості за рахунок високої інтелектуальності програмних засобів, в порівнянні із традиційними 2D системами. Наприклад, розроблена за допомогою сучасних продуктів стадія «передпроєкт» дозволяє перенести на стадію «проєкт» до 30% інформації, в той час як при використанні традиційної технології, робота на стадії «проєкт» починається практично з нуля. Звичайно, слід сказати про якість проєкта в цілому. нестиківки та помилки при роботі в BIM помітні одразу завдяки і 3D- моделям , і спеціальним інструментам, які здійснюють перевірку пересічень і логічні нестиківки. Після завершення будівництва «виконавча документація» оформлена у відповідному вигляді, полегшує процес експлуатації, відображаючи технічний стан, даючи чітку уяву про відповідальність виробництв та їх видів і скорочує вартість експлуатації.(рис 2.7) [30].



Рисунок. 2.7 Взаємозв'язок виконавчої документації після завершення будівництва об'єкту

2.2 Дослідження методів автоматизації процесу проєктування об'єктів містобудування

Досліджуючи методи проєктування можна охарактеризувати ряд недоліків та переваг тієї чи іншої програми. Але слід зауважити, що завдяки створеному розширенню IFC, ми маємо можливість перекривати ті чи інші обмеження іншими допоміжними програмними продуктами або встановленими плагінами чи окремими програмами. Недоліком програми можна вважати обмежені можливості зі створення об'єктів зі складною, нестандартною геометрією (наприклад, поверхні NURBS, скульптурне моделювання), що найчастіше не дозволяє проєктувальникові стандартними засобами реалізувати всі свої ідеї повною мірою. Для вирішення такої проблеми можна скористатися імпортом зі сторонніх програм на кшталт Cinema 4D, 3ds Max тощо. Ще однією неприємністю, яка часто зустрічається в процесі проєктування – це втрата даних при конвертуванні або перенесення моделі із одного програмного продукту в інший. Такі незручності виникають частіше за рахунок неправильного збереження моделі або некоректного введення параметричних даних компонентів моделі. Якщо стоїть питання не складного проєктування 2D, 3D вимірного моделювання, то можна обмежитись одним програмним продуктом, який закриває усі розділи розробки проєкту. Якщо це стосується великих об'єктів містобудування, звичайно задіяно більше інструментів, які повинні взаємодіяти між собою, з чітким призначенням та інтелектуальною взаємодією. [31].

Звичайно, такий підхід уповільнює процес проєктування та ускладнює його. Але проєктувальники завжди зіштовхуються із такого роду труднощами в силу новизни вхідних умов та різноманітних обмежень. Основна відмінність між обговорюваними САПР полягає у принципах роботи. Система CAD має широкий набір інструментів для створення креслень у форматі 2D (плани, розрізи, фасади), на основі яких потім створюється тривимірна модель. Однак, щоб по максимуму використовувати можливості для роботи з тривимірним

проєктом, а також для його візуалізації, потрібно експорт в 3Ds Max - програмний засіб для моделювання в 3D і рендеринга від того ж розробника. Тому, якщо вам важлива можливість оформлення і деталізації приміщень в трьох вимірах, варто готуватися до необхідності вивчення ще однієї програми, або придивитися до Archicad, який побудований на основі принципу прямого моделювання. Початківці архітектори, дизайнери і проєктувальники задаються питанням, якій САПР віддати перевагу для побудови віртуальних проєктів будівель з проєктною документацією. Вибір в основному робиться між 2 популярними на українському ринку пакетами - Archicad від Graphisoft і Autocad чи REVIT від Autodesk. Це питання, регулярно задається на професійних форумах та різних спілках проєктувальників. Таке формулювання не зовсім коректне. Кожна з цих систем має свій унікальний набір можливостей, як інструмент у руках творця. Якщо Autocad можна порівняти з чарівним інженером, здатним перетворити ідеї на технічні креслення, то Archicad більше схожий на натхненого архітектора, готового втілити найсміливіші дизайнерські концепції в тривимірну реальність.

В основі роботи системи автоматизованого проєктування від Graphisoft Archicad лежить зовсім інший принцип: ви відразу «будуєте» будівлю в 3D з готових елементів і «блоків», створюючи стіни, перекриття, балки, отвори, вікна та двері, задаючи їм форму, параметри, текстуру та інші характеристики. Archicad пропонує велику бібліотеку елементів, в якій користувач може вибирати та налаштовувати функціональні та декоративні деталі для своїх проєктів. За допомогою тривимірної моделі будівлі Archicad автоматично створюється вся необхідна проєктна документація, включаючи розрізи, фасади, плани, а також докладні специфікації. Тому Archicad переважно використовують дизайнери та архітектори, для яких ключовими є загальна концепція та візуальна складова проєкту, а не лише конструкторські та інженерні рішення.

Вибір обумовлений, в першу чергу, реальним завданням, яке планується виконати за допомогою однією із цих систем. Необов'язково занурюватись у

параметричні програмні продукти маючи завдання простого 2D креслення, іноді достатньо «електронного кульмана». З іншого боку, маючи параметричну модель об'єкту із налаштованими параметрами, можна отримати цілий ряд креслень, видів, розрізів, перетинів, специфікацій та відомостей матеріалів.

Універсального інструменту не існує, тому як при проєктуванні ми стикаємося із новими задачами, новаторськими ідеями, нововведеними стандартами та різними обмеженнями. Тому процес проєктування це не тільки створити модель, а ще й проаналізувати, розробити, та реалізувати проєкт в життя.

Також, слід сказати, що Archicad, Autocad не передбачає багатоваріантності проєктування — у будь-який момент часу в рамках одного файлу бажано мати один повноцінний варіант прийнятих архітектурно-будівельних рішень (так, цей недолік можна вирішити відображенням комбінацій шарів).

Для деяких користувачів недоліком можна вважати досить високу вартість ліцензійних версій. Однак, від провідних компаній для початківців існують пропозиції обмежених версій та тимчасових безкоштовних пакетів програмного забезпечення. Слід відмітити також, що оформлюючи ліцензійну підписку на той чи інший програмний продукт, користувач отримує ряд переваг. Серед яких: безкоштовні бібліотеки або сімейства, додаткові оновлення, інструкції та курівництво використання додаткових плагинів та скриптів, спільноти та міжнародні об'єднання проєктувальних груп, додаткові можливості отримати замовлення на проєктування за кордоном, новини в галузі будівництва, нововведення та новаторські методології в проєктуванні [32].

Отже, як і в будь-якій програмі, Archicad має деякі недоліки, які виникають у користувачів через важкість інтерфейсу і щодо викладки роботи, будівля буде виглядати графічно, а не фото реалістично. Навіть у цьому випадку можна спостерігати будинок у тривимірному об'ємі. Створюючи проєкт в Archicad, ви зможете не тільки швидко й якісно робити креслення, а й отримаєте можливість «прогулятись» по майбутньому будинку.

Revit дозволяє створити максимально докладну віртуальну 3D вимірну модель. У цьому програмному комплексі можна продумати та спроектувати розташування усіх елементів: від меблів до розеток та вимикачів. У підсумку, виходить якісна «інструкція» для будівельників, які реалізовуватимуть цю концепцію.

Велика кількість фахівців у будівельній галузі, таких як архітектори, конструктори та інженери, активно використовують Revit. У цій програмі кожен з них може працювати над своєю конкретною частиною проекту.

У контексті проектування основні задачі Revit:

- створити модель наявного об'єкта;
- внести до нього параметри компонентів;
- наповнити необхідними компонентами (меблями, обладнанням, освітленням, сантехнікою). Всю отриману інформацію оформляють у вигляді альбому робочої документації, за яким потім буде втілено в життя концепцію проекту.

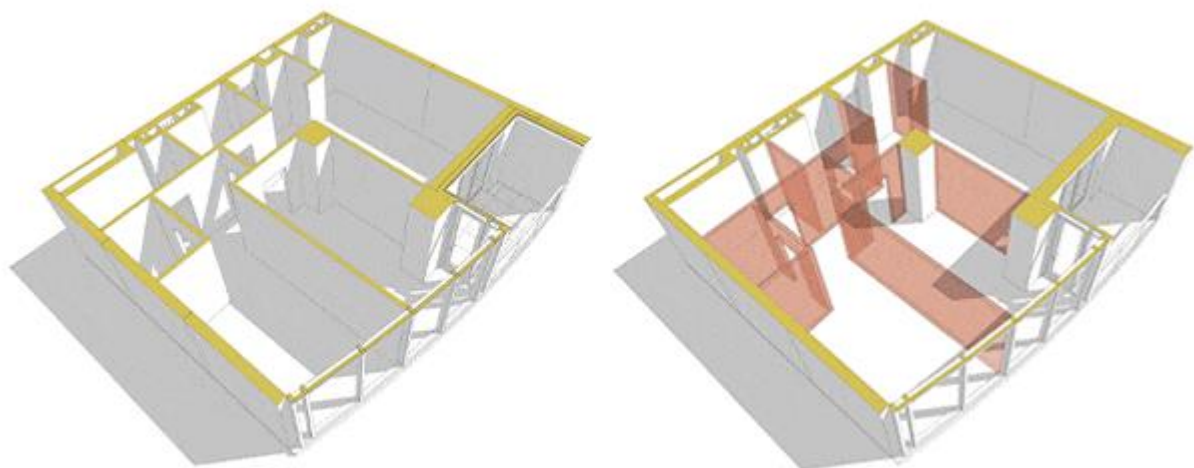


Рисунок. 2.7 Параметрична побудова житлового будинку у Autodesk Revit

Якщо обирати Revit то можна отримати створення якісного технічного завдання для підрядників, автоматичне створення відомостей та специфікацій,

гнучкість у налаштуванні графіків, що дозволяє стилізувати подачу своєї роботи.

Звичайно, у Revit є свої недоліки і обмеження на кшталт відсутності деяких дрібних функцій та інструментів. Наприклад, немає функції автоматичної перенумерації аркушів. У разі, якщо до середини альбому потрібно додати аркуш, це може призвести до необхідності ручної зміни нумерації деяких аркушів після вставки нового. Також в Revit непросто створити відомість обробки стін із прив'язкою до конкретного приміщення. Розрахувати саму обробку легко, а щоб у відомість виводилась назва приміщення, в якому ця обробка нанесена, доводиться виконати низку маніпуляцій.

Ще одна перевага Revit –більш наповнена інформація про компоненти моделі. Якщо в AutoCAD властивості компонента обмежуються геометричними параметрами, то в Revit його можна описати максимально докладно: від геометричних характеристик і матеріалів - до бренда виробника і посилання на продукт. При грамотному налаштуванні, відомості та специфікації щодо них, оновлюються автоматично. Якщо порівнювати ArchiCAD і Revit, то можна сказати, що це відносні конкуренти – обидва продукти підтримують BIM, але дещо відрізняються. Наприклад, щоб створювати компоненти моделі, в Archicad потрібно знати GDL-програмування. У Revit це можна зробити за допомогою простих і зрозумілих інструментів, не залазячи у програмний код («під капот»). У Revit чіткіша і впорядкована структура організації елементів моделі, вона розбита по категоріям, які користувач не може доповнювати. Це обмеження допомагає систематизувати роботу з компонентами у проєкті. У Archicad всі конструкції будуються на основі шарів, кількість яких може бути необмеженою. Такий підхід вважається застарілим для завдань BIM моделювання. Ще один плюс, у Revit можна створювати сімейства об'єктів на основі робочої площини і вони будуть кріпитися лише до певної поверхні. Наприклад, світильники для стель, тільки до стель. З кожним об'єктом можна працювати окремо – особливо зручно, коли потрібно робити технічне завдання

для підрядників. Інша корисна особливість-тимчасові розміри та залежності. Можна фіксувати розташування об'єктів, щодо інших, або прив'язати їх один до одного. Якщо переміщується один об'єкт, другий теж переміщується із заданою залежністю. Так, у Revit наявна значна кількість готових моделей, які можна використовувати під час проєктування. У найбільшій бібліотеці BIM моделей від реальних виробників BIM-objects більше 100 тис. об'єктів та 46 тис. для Archicad для порівняння. Що стосується візуалізації, обидва продукти мають пристойний, хоча і досить обмежений функціонал для створення цифрових растрових зображень, тому оптимальним рішенням буде їх застосування в комплексі зі спеціально розробленими засобами для рендеринга. Наприклад, згаданим раніше 3Ds Max, який сумісний з форматами обидвох САПР.

Як видно із розгляду, різниця між САПР полягає не в порівняльних перевагах, а в призначенні. Для вирішення комплексних завдань стає питання інтеграції з іншими програмними засобами, покупка додаткових функціональних модулів або використання обох систем в залежності від завдань.

У своєму дослідженні використовуються такі інструменти BIM, як Revit Architecture, Revit Structure, Revit MEP для 3D-моделювання та NAVISWORK для 4D- і 5D-моделювання. REVIT Architecture — це програмне забезпечення від Autodesk для архітекторів і професіоналів у будівництві для ефективного та ефективного архітектурного проєктування та документації. Він спеціально розроблений, щоб включити численні інструменти та функції, спеціально розроблені для допомоги робочим процесам для інформаційного моделювання будівель (BIM). Revit Structure також є програмним забезпеченням від Autodesk, яке використовується для визначення кількості сталі та аналізу сталі, необхідної для будівництва конструкції. Крім того, це допомагає у створенні BIM-моделі, яка допомагає відображати різні макети будівельної конструкції, такі як балки, колони, фундаменти тощо, уточнюючи її деталі в кожному аспекті. MEP розшифровується як механіка, електрика та

сантехніка, які є трьома інженерними дисциплінами. Revit MEP допомагає дезінтегрувати інформацію в інтелектуальні моделі щодо механічних, електричних і сантехнічних потоків, що дозволяє ефективно виконувати складне та критичне проєктування без помилок і за менший проміжок часу. Збір кількості включає просту оцінку та підрахунок використання матеріалів для будівельного проєкту, щоб визначити загальну кількість використаного матеріалу та його відповідну вартість. Це програмне забезпечення походить від Autodesk і допомагає отримувати дані з різних інструментів BIM, таких як Revit Architecture, Revit Structure та Revit MEP тієї самої структури. Таким чином, спрощення процесу, скорочення часу та помилок під час оцінки та прогнозування точної вартості. Програмне забезпечення Navisworks дозволяє користувачам відкривати та ефективно комбінувати 3D-моделі одночасно, що полегшує навігацію навколо них у режимі реального часу та, крім того, перегляд моделі за допомогою набору інструментів, які дозволяють коментарі, червоні лінії, точки зору та вимірювання різних компонентів дизайну. Він надає різноманітні плагіни, які допомагають ефективно виявляти зіткнення та забезпечують 4D моделювання часу. Це також допомагає зосередитися на вартості, яка також є п'ятим виміром BIM [33].

РОЗДІЛ 3

ПОКРАЩЕННЯ ПРОЦЕСІВ ПРОЄКТУВАННЯ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД ЗА РАХУНОК ІННОВАЦІЙНИХ АІ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ВІМ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Інструменти штучного інтелекту для архітектора відображають принципи роботи штучного інтелекту, процес генерації концепцій і їх інтеграцію з ВІМ, надаючи конкретні приклади використання і обговорення ітеративного дизайну, технологічних трендів, а також етичних і практичних міркувань.

Автоматизована генерація 2D-креслень штучним інтелектом підкреслює прискорення процесів креслення, перетворення 3D-моделей в 2D-креслення, інтеграцію з ВІМ для узгодженості даних, оптимізацію робочого процесу, використання машинного навчання для виправлення помилок і стандартизації креслень.

Генерація 3D-візуалізацій штучним інтелектом досліджує інтерактивність і візуалізацію в реальному часі, інтеграцію з аналізом даних ВІМ, розширені можливості рендерингу, поліпшення презентаційних матеріалів і взаємодію з VR і AR [34].

Давайте поділимо АІ інструменти на кілька сегментів та наведемо приклади стартапів та програмного забезпечення, які використовують АІ для рішення практичних задач в області ВІМ моделювання, згрупувавши їх за нішами.

Планування та управління проєктами:

- Autodesk BIM 360 - платформа для управління будівельними проєктами, що використовує АІ для аналізу даних та прогнозування ризиків.
- Alice Technologies - АІ-інструмент для оптимізації планування та управління строительством, який дозволяє симулювати різні сценарії виконання проєкту.

Аналіз та оптимізація дизайну:

- Spacemaker - розробляє AI-рішення для автоматичного генерування та аналізу урбаністичних проєктів з урахуванням різноманітних факторів.
- TestFit - програма, що використовує AI для автоматизації процесу створення концептуальних проєктів зданий і містобудування.

Моніторинг та контроль на будмайданчику:

- Builddots - використовує AI і носимі камери для контролю за прогресом робіт на будівельному майданчику.
- Indus.ai - моніторинг будівельних майданчиків за допомогою AI для аналізу відео та оптимізації робочих процесів.

Смета та кошторис:

- Kreo - облачна платформа з AI для автоматизації смети та планування проєктів.
- Constru - використовує AI для автоматизації створення кошторисів, аналізуючи проєктну документацію.

Оптимізація використання матеріалів:

- Hyper - AI-платформа для оптимізації використання матеріалів та ресурсів у будівництві.
- Matrak Industries - використовує AI для відстеження матеріалів та обладнання на будівельних проєктах, забезпечуючи ефективне управління запасами.

Створення дизайн-концепту архітектурних рішень:

- CHAT GPT4 + DALL·E – Цей інтегрований підхід використовує текстові та візуальні моделі штучного інтелекту для генерації концепційних дизайнів. CHAT GPT4 генерує ідеї та концепції з використанням текстового опису, а DALL-E перетворює ці концепції в візуальні зображення. Це дозволяє архітекторам швидко експериментувати з різними концепціями та швидко втілювати їх у віртуальному просторі.
- Leonardo AI - Інструмент, що використовує штучний інтелект для створення концептуальних дизайнів та візуалізацій. Leonardo AI

використовує різноманітні алгоритми та аналізує дані для генерації інноваційних та естетично привабливих архітектурних рішень.

Також у ньому є додатковий інноваційний інструмент, який не лише використовує штучний інтелект для створення концептуальних дизайнів та візуалізацій, але й пропонує додатковий інструмент післяпродакшн, призначений для поліпшення якості фотографій. За допомогою цього інструменту, на базі вхідного зображення, можливе покращення якості та збільшення роздільної здатності в два рази, що дозволяє архітекторам отримувати ще більш деталізовані та реалістичні візуалізації своїх проєктів.

- Freerik Picaso - це інструмент, який надає архітекторам можливість використовувати варіативне AI генерування концептів на основі вхідного зображення. Крім того, Freerik Picaso дозволяє користувачам вибирати різні стилі оформлення від зарисовки карандашом до 3D рендера та фотоякості. На даному етапі він не надає суперякісних рендерів, але саме використання Leonardo після нього допомагає у створенні шедевральних творінь.
- Midjourney - Платформа, яка використовує AI для аналізу даних та трендів у галузі архітектури, щоб надати архітекторам інформацію та інсайти для розробки концептуальних рішень.
- Architect Render - Інструмент, який використовує високоякісні рендеринги для візуалізації концептів архітектурних проєктів, допомагаючи архітекторам краще розуміти та комунікувати свої ідеї, цей інструмент не змінює форми об'єктів, але змінює стилістичний концепт виконання рендера.
- Stable Diffusion - модель штучного інтелекту, яка використовується для генерації стабільних та консистентних дизайн-концептів, забезпечуючи архітекторам засаду для творчого процесу.

3D моделювання та візуалізація:

- Vizerra (Revizto) - платформа для візуалізації та управління моделями BIM, інтегрована з AI для покращення співпраці команд.
- Twinmotion від Epic Games - використовує AI для створення фотореалістичних 3D візуалізацій і віртуальних турів проєктів.

Аналіз даних та прогнозування:

- Doxel - використовує AI для аналізу зображень та даних з будівельних майданчиків для моніторингу прогресу та якості робіт.
- Smartvid.io - платформа, яка використовує машинне навчання для аналізу фото та відео з будівельних майданчиків для ідентифікації ризиків безпеки.

Управління документацією:

- PlanGrid (тепер частина Autodesk Construction Cloud) - використовує AI для автоматизації управління документацією та поліпшення комунікації між учасниками проєкту.

3.1 AI інструменти архітектора для генерації концепт-рішень у фотореалістичній якості

Принципи роботи інструментів AI для архітектури

Принципи роботи інструментів AI для архітектури базуються на здатності штучного інтелекту аналізувати величезні обсяги даних і вчитися на прикладах, щоб створювати фотореалістичні зображення та проєкти. Використання алгоритмів машинного навчання та нейронних мереж дозволяє AI інструментам розпізнавати та імітувати архітектурні стилі, враховувати особливості ландшафту та умов ділянки, а також оптимізувати проєкти під конкретні вимоги замовника.

Інтеграція AI з BIM-технологіями відкриває нові можливості для поліпшення процесів проєктування будівель та споруд. AI може аналізувати

ВІМ-моделі, виявляти потенційні колізії або проблемні зони ще на ранніх стадіях проєктування, пропонуючи шляхи їх вирішення. Така синергія забезпечує більшу точність і ефективність в реалізації проєктів, дозволяє скорочувати час на проєктування та знижувати вартість виробництва.

Завдяки можливостям штучного інтелекту створювати фотореалістичні візуалізації, архітектори мають змогу краще представити свої ідеї замовникам, підвищуючи рівень задоволення клієнтів та сприяючи більш продуктивній співпраці. Таким чином, інноваційні AI технології в поєднанні з ВІМ автоматизацією стають ключем до покращення процесів проєктування будівель та споруд, відкриваючи новітні горизонти у сфері архітектури [35].

Принципи роботи інструментів AI для архітектури базуються на здатності штучного інтелекту аналізувати величезні обсяги даних і вчитися на прикладах, щоб створювати фотореалістичні зображення та проєкти. Використання алгоритмів машинного навчання та нейронних мереж дозволяє AI інструментам розпізнавати та імітувати архітектурні стилі, враховувати особливості ландшафту та умов ділянки, а також оптимізувати проєкти під конкретні вимоги замовника.

Інтеграція AI з ВІМ-технологіями відкриває нові можливості для поліпшення процесів проєктування будівель та споруд. AI може аналізувати ВІМ-моделі, виявляти потенційні колізії або проблемні зони ще на ранніх стадіях проєктування, пропонуючи шляхи їх вирішення. Така синергія забезпечує більшу точність і ефективність в реалізації проєктів, дозволяє скорочувати час на проєктування та знижувати вартість виробництва.

Завдяки можливостям штучного інтелекту створювати фотореалістичні візуалізації, архітектори мають змогу краще представити свої ідеї замовникам, підвищуючи рівень задоволення клієнтів та сприяючи більш продуктивній співпраці. Таким чином, інноваційні AI технології в поєднанні з ВІМ автоматизацією стають ключем до покращення процесів проєктування будівель та споруд, відкриваючи новітні горизонти у сфері архітектури (рис.3.1) [36].



Рисунок 3.1 Новітні горизонти у сфері архітектури

Розглянемо інноваційний алгоритм (рис. 3.2), який втілює синтез людської креативності та передових AI інструментів для створення концептуальних архітектурних рішень у фотореалістичній якості. Цей алгоритм є результатом поєднання технічних знань та естетичного бачення, що дозволяє йому ефективно розвивати ідеї від початкового технічного завдання до фінального візуалізованого шедевру.

Першим кроком у використанні цього алгоритму є визначення технічних вимог та параметрів проєкту, які служитимуть основою для подальшого творчого процесу. Після цього алгоритм використовує інтелектуальні інструменти для аналізу вхідних даних та генерації перших концепцій.

Одним з ключових аспектів цього алгоритму є його здатність до самонавчання та адаптації до нових умов. Він постійно вдосконалюється за рахунок навчання на власних помилках та взаємодії з користувачем, що

дозволяє йому надавати все більш точні та виразні рішення з кожним новим проектом.

Нарешті, алгоритм відображає свої результати у вигляді фотореалістичних візуалізацій, які демонструють якісне та привабливе архітектурне рішення. Ці візуалізації можуть бути використані для подальшого аналізу, презентації перед клієнтами або використані в якості основи для подальшої розробки та деталізації проекту.



Рисунок 3.2 Алгоритм розробки генерування концепт рішень

Таким чином, інноваційний алгоритм, що поєднує в собі людську креативність та штучний інтелект, відкриває нові можливості у сфері проектування архітектурних рішень, демонструючи потенціал сучасних технологій у творчому процесі.

Весь процес розпочинається (рис. 3.2), коли архітектор формулює задачу, подаючи AI чітке бачення майбутнього проекту. GPT-4, як досвідчений помічник, перетворює цю задачу в машинне технічне завдання, яке слугує основою для подальшої творчості. Завдяки цьому есенціальному етапу, алгоритм не просто розпочинається — він народжується з ідеї архітектора, яка

крок за кроком перетворюється на візуальний шедевр за допомогою тандему людської інтелектуальності та штучного інтелекту.

Далі, як митець, що використовує фарби, DALL-E додає кольори та форми, приносячи перші візуалізації до реальності. Leonardo AI виступає як ретуш, уточнюючи і додаючи деталі, поки, нарешті, не вирине фінальне зображення — фото шедевр, яке втілює в собі повноту задуму і глибину деталей. Цей процес не тільки перетворює проектування у діалог між людиною та AI, а й переосмислює сприйняття архітектури як симбіозу техніки та мистецтва (рис 3.3).



Рисунок 3.3 Результат роботи генерування концепт рішень об'єктів містобудування

Архітектор, сповнений візії та креативності, дав завдання AI: "Створи сучасну мінімалістичну білу віллу з великими скляними вікнами, яка легко впишеться у скелястий ландшафт, де пальми виглядають як природний акцент, а перед ним – спокійне море, що відображає красу і гармонію". Таким чином, було сформовано прекрасне завдання «A modern minimalist white villa with large glass windows sits on a rocky landscape with palm trees and a calm pond in the foreground», що відкриває безмежні можливості для поєднання сучасного

мистецтва архітектури та природного довкілля у відображенні краси та естетики (рис 3.3) [37].

Інтеграція з BIM (Building Information Modeling)

Інтеграція з BIM (Building Information Modeling) відкриває широкі можливості для поліпшення якості та деталізації концепт-моделей, а також прискорення процесу проєктування за допомогою інструментів штучного інтелекту (AI).

1. Підвищення якості моделей: Інтеграція AI з BIM дозволяє автоматизувати процес створення та аналізу концепт-моделей. AI може виявляти потенційні проблеми або неузгодженості в дизайні та пропонувати оптимальні варіанти вирішення. Це допомагає забезпечити високу якість проєкту та запобігти помилкам ще на етапі концептуалізації.

2. Збільшення деталізації: AI інструменти можуть аналізувати та оптимізувати деталі концепт-моделей, додавати необхідні або видаляти зайві елементи, щоб забезпечити баланс між естетикою та функціональністю. Це дозволяє створювати більш деталізовані та комплексні проєкти, які відповідають всім вимогам і очікуванням.

3. Прискорення процесу проєктування: Інтеграція AI з BIM дозволяє автоматизувати багато рутинних завдань, що раніше вимагали б значних зусиль від проєктних команд. Наприклад, AI може автоматично генерувати деякі частини моделі, виконувати розрахунки або навіть пропонувати альтернативні варіанти розв'язання завдань.

4. Підвищення ефективності комунікації: Інтеграція AI з BIM також полегшує спілкування між учасниками процесу проєктування. AI може автоматично генерувати візуалізації та анімації, які допомагають зрозуміти концепції та ідеї, що використовуються у проєкті, забезпечуючи більш ефективну комунікацію між архітекторами, інженерами та клієнтами.

5. Збагачення мистецтва архітектора: AI рішення додають архітекторам нові інструменти та можливості для реалізації їхнього творчого потенціалу (рис 3.4). Шляхом автоматизації та оптимізації деяких аспектів дизайну, AI

відкриває шлях до нових концепцій і ідей, які можуть бути складнішими або навіть неможливими для втілення без використання таких технологій. Це значно розширює можливості творчості та дозволяє архітекторам експериментувати з різноманіттям ідей та концепцій, що в кінцевому підсумку підвищує рівень мистецтва та унікальність авторського підходу.



Рисунок 3.4 Варіативне AI генерування концепт рішень на базі вхідного зображення

В цілому, інтеграція AI з BIM створює потужний інструмент для підвищення якості та ефективності процесу проєктування, дозволяючи створювати складні, деталізовані та естетично привабливі архітектурні рішення швидше і з меншими зусиллями.

Використання штучного інтелекту в архітектурному проєктуванні дозволяє архітекторам легко моделювати стиль відповідно до вже існуючого дизайн-концепту (рис. 3.5), забезпечуючи збереження послідовності та гармонії у проєкті. Це надає можливість швидко та ефективно експериментувати з різними варіаціями стилів та архітектурних рішень, дотримуючись при цьому основних принципів та задумок початкового проєкту [38].



Рисунок 3.5 Варіативне AI генерування стилістичних концепт рішень на базі зображення

Програма дозволяє створювати рендери (рис. 3.6) навіть без поглиблених знань та навичок роботи у графічних програмах та складних процесів ручної візуалізації. Загалом, інструмент значно спрощує та прискорює процес створення 3D-зображень, надає можливість користувачам експериментувати з різними дизайнерськими концепціям та різноманіттю вхідних параметрів.



Рисунок 3.6 Створення фотореалістичного рендеру на основі простого ескізу

За словами архітектора та доцента Мічеганського університету Матіаса дель Кампо (рис 3.7), обсяги даних, із якими працює штучний інтелект, становлять понад 5 млрд зображень — це величезна кількість знань про людську культуру.



Рисунок 3.7 Архітектурне зображення, згенероване Midjourney за запитом Матіаса дель Кампо

Ітеративний дизайн та зворотний зв'язок з архітектором або зацікавленими сторонами є важливим етапом у процесі розробки будівельних проєктів. Використання штучного інтелекту дозволяє адаптувати концепт-зображення в реальному часі відповідно до отриманої зворотнього зв'язку, що забезпечує швидке виправлення помилок або вдосконалення проєкту відповідно до потреб замовника. Такий підхід сприяє ефективному співробітництву між розробниками та замовниками та забезпечує збереження високого рівня якості та відповідність проєкту очікуванням стейкхолдерів (це всі зацікавлені сторони або учасники, які можуть бути впливовими на проєкт, або впливати на нього. Це можуть бути клієнти, інвестори, урядові органи,

співробітники компанії, громадські організації та інші особи чи групи, які мають інтереси або вплив на результати проєкту. Успішне управління стейкхолдерами включає в себе розуміння їхніх потреб, очікувань і сприйняття ризиків, а також ефективну комунікацію з ними для досягнення спільних цілей) [39].

Уявіть світ, де будівлі проєктуються не лише людьми, а й розумними машинами. Це не далеке майбутнє, а вже реальність, завдяки штучному інтелекту (AI), який стрімко розвивається.

AI відкриває нові горизонти для архітектурного проєктування, роблячи його більш ефективним, економним, екологічним та естетично досконалим.

Ось деякі з останніх тенденцій в цій галузі:

- Генеративні алгоритми: AI може генерувати безліч варіантів дизайну, враховуючи всі задані параметри, економлячи час архітекторів.
- Аналіз даних: AI використовує дані про клімат, місцевість, поведінку людей, щоб оптимізувати дизайн та зробити його більш комфортним та функціональним.
- Віртуальна реальність: AI дає можливість візуалізувати проєкт в 3D, що дозволяє краще уявити його кінцевий результат.
- Робототехніка: Роботи можуть використовуватися для 3D-друку будівельних елементів, що значно пришвидшує та здешевлює процес будівництва.

Які ж інновації очікують нас на цьому шляху?

- Персоналізований дизайн: AI зможе створювати будинки, що максимально відповідають потребам та індивідуальним особливостям кожної людини.
- Біоінспіровані архітектурні форми: AI буде черпати натхнення з природи, створюючи еко-френдлі та енергоефективні будівлі.

- "Розумні" міста: AI допоможе проєктувати цілі міста, які будуть максимально комфортними, безпечними та економними.

Вже зараз штучний інтелект кардинально змінює світ архітектури. Це лише початок шляху, який веде до неймовірних інновацій, що здатен зачарувати та захопити дух. Чи готові ви до майбутнього, де архітектура та AI створюють дивовижні шедеври? [40].

3.2 Автоматизоване AI генерування 2D-креслень

Автоматизація процесів креслення відіграє ключову роль у сфері інженерних та архітектурних проєктувань. Використання інструментів штучного інтелекту (AI) для генерації 2D-чертежів значно спрощує та прискорює створення як стандартних, так і нестандартних креслень, одночасно знижуючи ймовірність помилок. Це досягається завдяки декільком ключовим аспектам:

1. **Швидкість створення креслень:** AI може автоматично генерувати чертежі на основі заданих параметрів або шаблонів, що значно зменшує час, необхідний для ручного креслення. Це особливо ефективно для проєктів, де потрібно створити велику кількість схожих або повторюваних елементів.
2. **Точність і узгодженість:** AI може допомогти уникнути помилок, які легко виникають під час ручного процесу креслення. Інтелектуальні системи здатні забезпечити високу точність вимірювань та узгодженість стилів чертежів, що є критично важливим для інженерних та архітектурних проєктів.
3. **Адаптивність до нестандартних вимог:** Нестандартні проєкти часто вимагають індивідуального підходу та можуть бути часомісткими при ручному проєктуванні. AI може адаптуватися до унікальних вимог

проєкту, автоматично генеруючи креслення, які враховують специфічні параметри та обмеження.

4. **Інтеграція з іншими системами:** Інструменти AI можуть легко інтегруватися з іншими інженерними та проєктними системами, спрощуючи обмін даними та співпрацю між різними платформами. Це дозволяє автоматизувати не лише процес креслення, а й інші аспекти проєктування та виробництва.
5. **Зниження витрат:** Автоматизація процесу креслення допомагає знизити витрати, пов'язані з часом проєктування та можливістю помилок, що, в свою чергу, може призвести до дорогих виправлень на пізніших етапах проєктування.
6. **Підвищення ефективності роботи:** Завдяки автоматизації, інженери та проєктувальники можуть зосередитися на більш складних та креативних аспектах проєктів, покладаючись на AI для виконання рутинної роботи.

Автоматизоване AI генерування 2D-чертежів відкриває нові можливості для поліпшення процесів проєктування у багатьох галузях, від архітектури до машинобудування, дозволяючи створювати високоякісні проєкти швидше та з меншою кількістю помилок. Також це може значно покращити проєктування офісних та жилих приміщень, зокрема за рахунок врахування спеціалізованих нюансів, таких як грамотний розрахунок споживання CO₂ (рис. 3.8), енергоефективності, освітлення, вентиляції та інших важливих параметрів.

Такий підхід не тільки підвищує загальну якість проєкту, але й сприяє створенню більш сталого та комфортного середовища для мешканців або користувачів приміщення.

Розглянемо це детальніше:

1. **Розрахунок споживання CO₂:** AI може аналізувати проєктні рішення на предмет їх впливу на викиди вуглецю, допомагаючи вибрати матеріали, системи опалення, вентиляції та кондиціонування повітря, які сприяють зниженню вуглецевого сліду будівлі. Це особливо актуально у контексті глобальних зусиль зі скорочення викидів парникових газів.

2. **Енергоефективність:** Інтелектуальні системи можуть автоматично розраховувати оптимальні параметри для забезпечення енергоефективності будівель, включаючи розміщення вікон для максимального використання природного освітлення, товщину утеплювача для зниження втрат тепла та інше.
3. **Оптимізація вентиляції та якості повітря:** Завдяки розрахункам AI, можливо розробити системи вентиляції, які забезпечують оптимальний обмін повітря, зменшують ризик формування цвілі та підтримують здоровий мікроклімат у приміщенні.
4. **Акустичний комфорт:** AI може також враховувати акустичні параметри при проєктуванні, забезпечуючи комфортне звукове середовище, що особливо важливо для офісних приміщень та житлових зон з високим рівнем шуму.
5. **Адаптація до кліматичних умов:** Автоматизоване генерування чертежів може включати аналіз кліматичних умов регіону та адаптацію проєкту для максимальної ефективності використання енергоресурсів та комфорту мешканців, наприклад, через розробку ефективних рішень для захисту від спеки чи холоду.
6. **Моделювання освітлення:** AI може моделювати розподіл природного та штучного освітлення в приміщенні, дозволяючи оптимізувати розміщення вікон, освітлювальних приладів та кольорів стін для створення здорового і продуктивного середовища.

Завдяки цим можливостям, автоматизоване AI генерування 2D-чертежів не тільки спрощує та прискорює процес проєктування, але й сприяє створенню більш екологічних, економічних та здорових приміщень для життя та роботи [41].

Finch 3D



Рисунок 3.8 Генерація планових рішень на базі AI (Finch 3D)

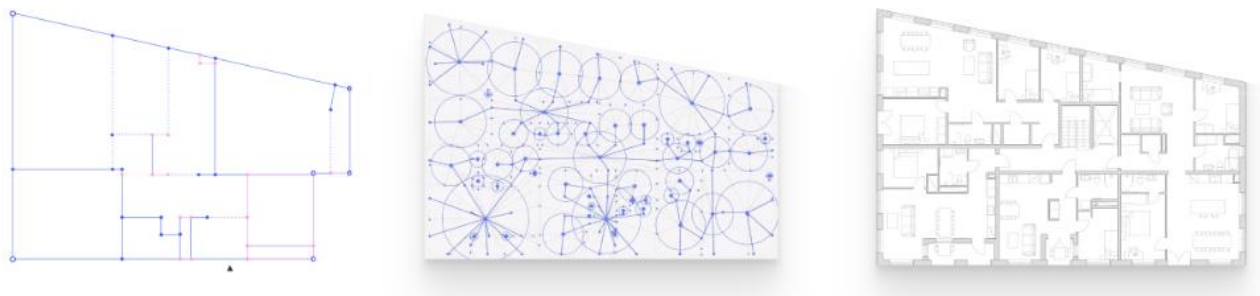


Рисунок 3.9 Алгоритм генерації планувальних рішень для оптимального розташування елементів інтер'єру (включно з переплануванням перегородок приміщень та меблів) с учетом споживання CO₂ (Finch 3D)

Finch 3D (рис. 3.8 та рис. 3.9) - це передовий інструмент для автоматизації архітектурного проєктування, який спрощує та оптимізує процес створення планів забудови та внутрішнього розміщення будівель за допомогою технологій штучного інтелекту (AI) та графових алгоритмів. Заснований у 2019 році в Мальме, Швеція, командою архітекторів, Finch 3D був розроблений для автоматизації генерації планів поверхів, надання зворотного зв'язку та оптимізації дизайнів з урахуванням відповідності нормам та кодексам. Інструмент спрямований на прискорення ранніх етапів проєктних розробок,

дозволяючи архітекторам швидше досліджувати різні варіанти дизайну та автоматично генерувати планування за допомогою генеративних технологій.

Finch 3D інтегрується з широко використовуваним програмним забезпеченням для проєктування, таким як Revit, Rhino та Grasshopper, полегшуючи включення його у поточні робочі процеси. Це означає, що користувачі можуть вносити зміни в проєкти в Revit і отримувати прямий зворотний зв'язок через Finch 3D, підтримуючи постійний зв'язок з проєктом на всіх його стадіях. Finch 3D дозволяє архітекторам призначати грубі правила для планування, такі як мінімальна площа приміщення або вимоги до природного освітлення, і оптимізує їх з урахуванням цих правил, генеруючи детальні плани поверхів з високою точністю.

Застосування AI та генеративних технологій робить процес проєктування більш ефективним, економічно вигідним та стійким. Finch 3D дозволяє швидко генерувати плани поверхів, супроводжувані всією необхідною інформацією, що дозволяє глибше та швидше досліджувати архітектурні рішення. Система попередження про помилки, вбудована у Finch 3D, допомагає утримувати дизайн у межах допустимих норм і правил, забезпечуючи відповідність проєктів вимогам фірми, клієнта та муніципалітету.

PlanFinder AI. PlanFinder є інноваційним AI плагіном, розробленим для значного спрощення та прискорення процесу генерації планувальних рішень у сфері архітектурного проєктування. Цей плагін, сумісний з популярними програмами для проєктування, такими як Revit, Rhino та Grasshopper 3D (рис. 3.10), використовує алгоритми машинного навчання для швидкого створення, підгонки та облаштування планів поверхів, пропонуючи користувачам у лічені секунди кілька варіантів планувань на основі заданих параметрів [42].

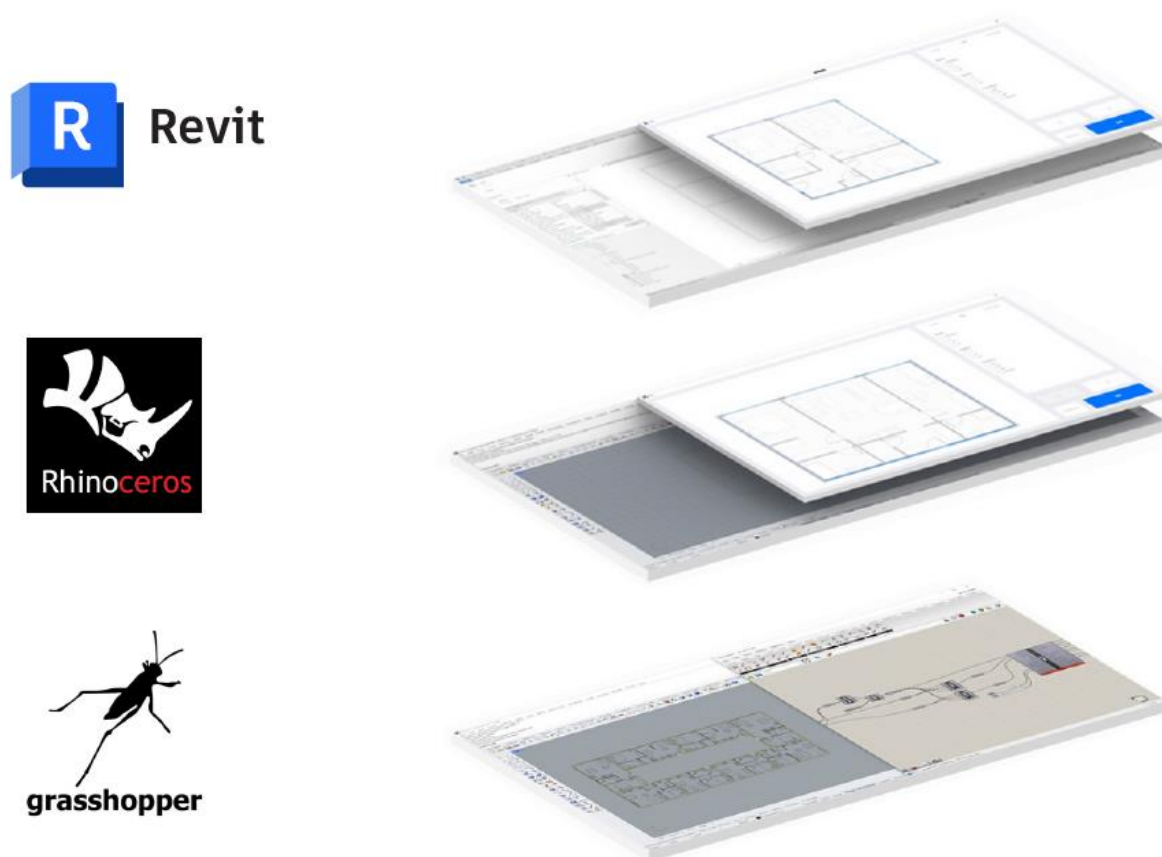


Рисунок 3.10 Інтеграція PlanFinder з іншими ПЗ

Основні можливості PlanFinder включають:

- Генерація планів поверхів: Користувачі можуть легко генерувати плани поверхів, вказавши зовнішні межі та бажані кімнати, після чого за кілька секунд плагін пропонує декілька опцій.
- Підгонка планів квартир: PlanFinder дозволяє швидко адаптувати існуючі плани квартир та досліджувати різні варіації, що дає можливість рециклізувати існуючі дизайни та створювати власну бібліотеку планувань.
- Облаштування планів: ця функція дозволяє менш ніж за секунду облаштувати план та налаштувати його відповідно до ваших потреб.
- Керування власною бібліотекою планів: PlanFinder дає змогу управляти бібліотекою власних індивідуальних планів (житлових, комерційних, офісних тощо) для їх повторного використання в майбутніх проєктах.

Додатково, PlanFinder включає зручний та доступний інтерфейс, що робить його легким у використанні для широкого кола користувачів. Плагін пропонує інноваційний підхід до архітектурного проектування, дозволяючи архітекторам та дизайнерам швидше реалізовувати свої ідеї та покращувати якість робочого процесу завдяки автоматизації та оптимізації планувальних рішень [43].

ARCHITEChTURES (рис 3.11) — це інноваційний стартап, який прагне кардинально змінити процес проектування житлових приміщень завдяки унікальному та ефективному співробітництву людини та машини. В основі платформи лежить пропріетарна технологія Generative AI, що наразі перебуває на стадії міжнародного патентування. Вона надає користувачам можливість отримати рішення в реальному часі, які найкраще відповідають геометрії проєкту, цілям та критеріям дизайну. Такий підхід дозволяє розробляти рішення в новий, радикально інноваційний спосіб, оптимізувати результати та значно прискорити процес проектування.



Рисунок 3.11 Алгоритм взаємодії архітектора із системою

Стартап вийшов із амбітного проєкту дослідження та розробки, частково фінансованого Європейським Союзом, і орієнтований на стале архітектурне проектування. Команда ARCHITEChTURES, яку очолює засновник Хуан Бордалло, є мультидисциплінарною та об'єднує фахівців у галузях архітектури, комп'ютерного дизайну та штучного інтелекту. Цей широкий набір навичок є ключовим для розробки та впровадження технологій штучного інтелекту, які є основою послуг ARCHITEChTURES.

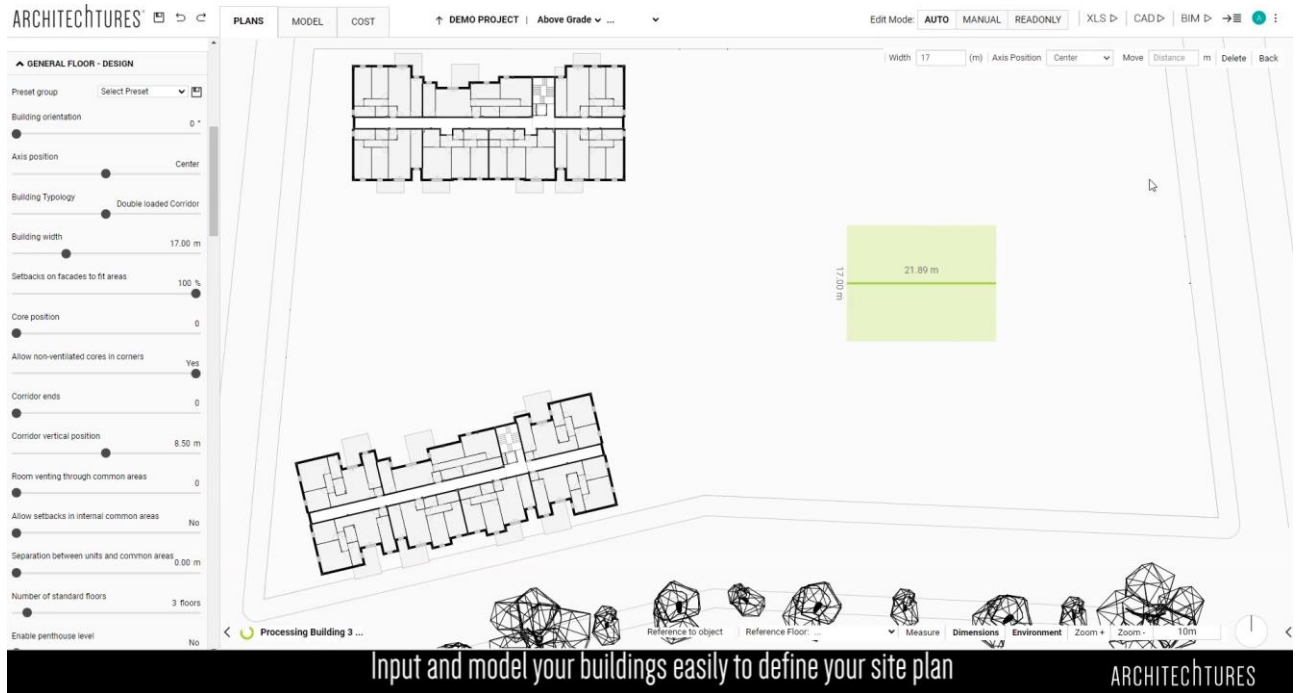


Рисунок 3.12 Генерування планів у реальному часі

Платформа створена таким чином, щоб бути інтуїтивно зрозумілою та зручною у використанні, не вимагаючи встановлення спеціального програмного забезпечення, оскільки вона працює безпосередньо в будь-якому інтернет-браузері. Користувачі можуть розпочати новий проєкт на платформі відразу після її доступу, що спрощує процес архітектурного проєктування з місяців до лічених хвилин (рис. 3.12, рис. 3.13 та рис. 3.14).

Така доступність та ефективність роблять ARCHITECTURES потужним інструментом для професіоналів у сфері житлового будівництва, спрямованим на підвищення ефективності процесу проєктування шляхом оптимізації результатів та скорочення часу на дизайн.

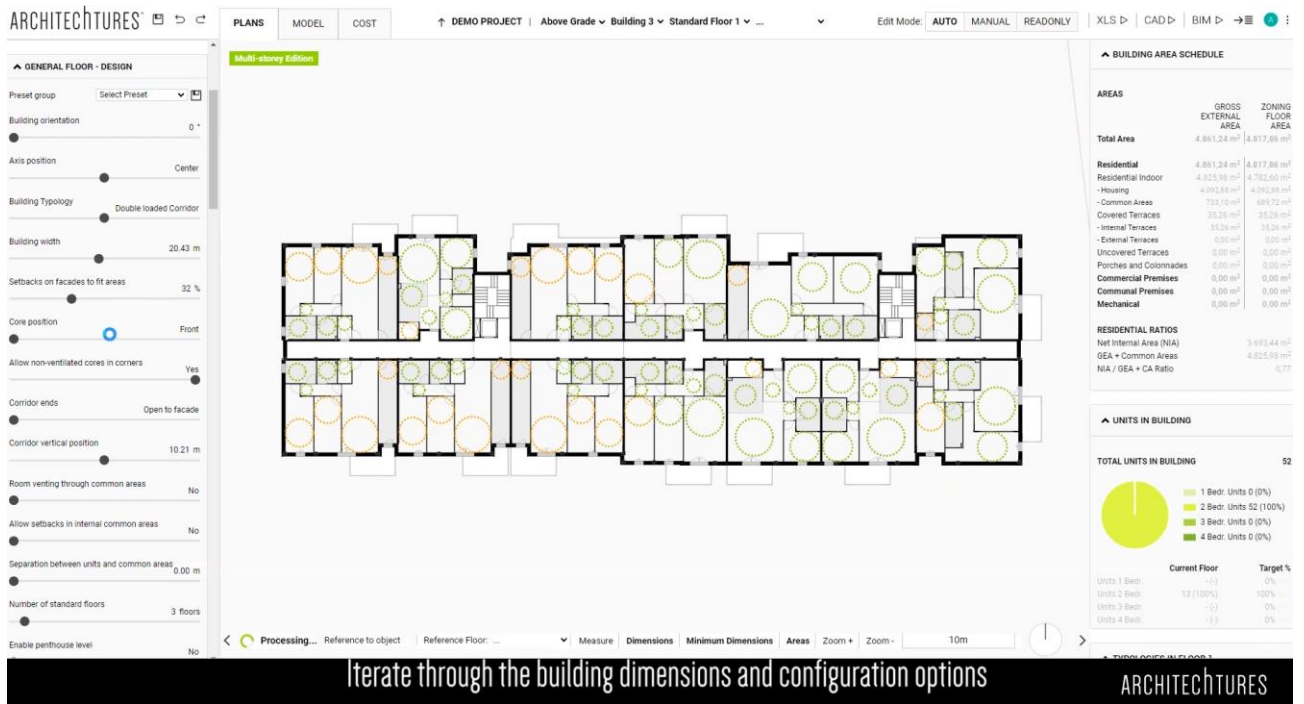


Рисунок 3.13 Генерування та перемоделювання планів у реальному часі

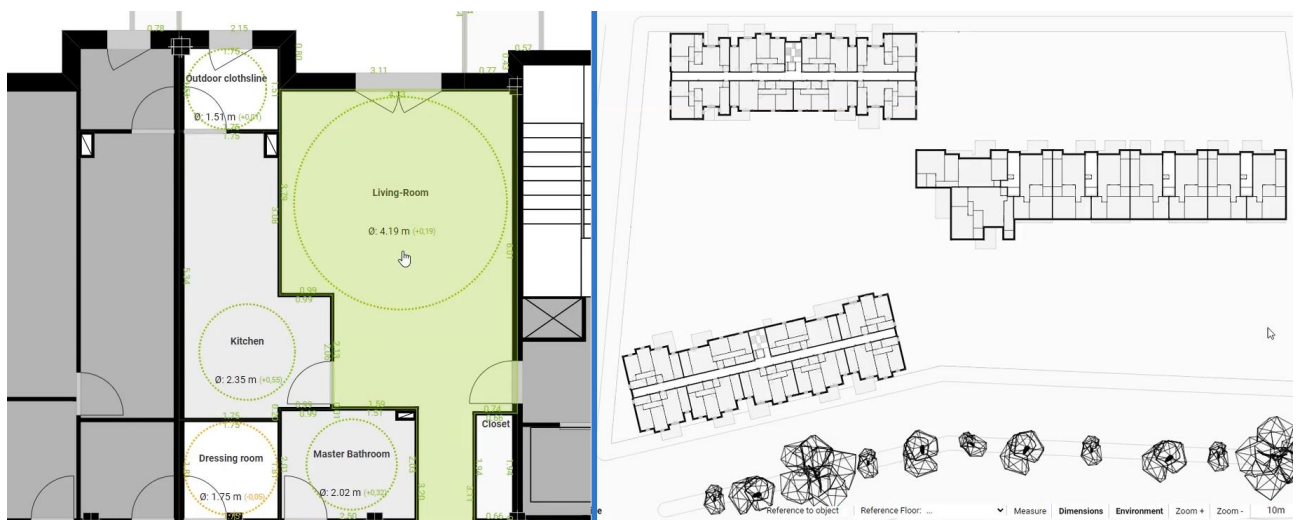


Рисунок 3.14 Генерування у реальному часі як зовні так і в середині

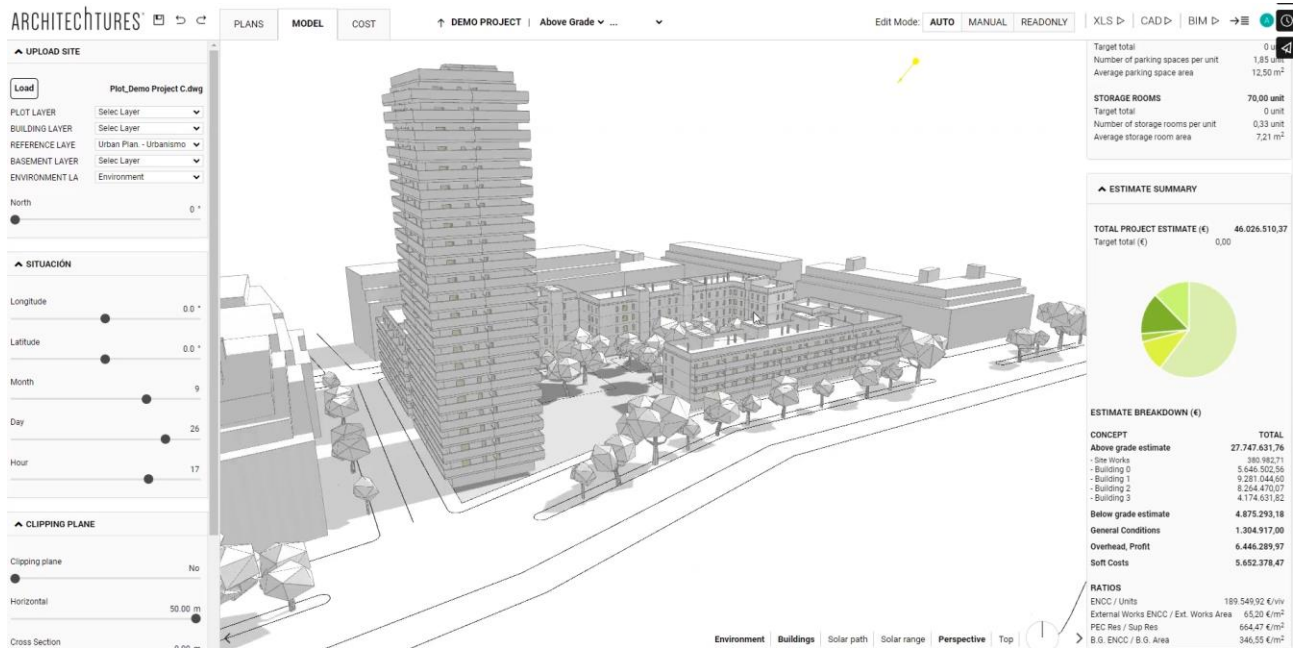


Рисунок 3.15 Генерування у реальному часі як зовні так і в середині

Стартап **ARCHITECTURES** пропонує низку передових функцій та можливостей, заснованих на використанні штучного інтелекту для революціонізації процесу проектування житлових будівель. Ось деякі ключові фічі платформи:

- Генеративний AI для оптимізації дизайну: Використання пропрітарної технології Generative AI для автоматичного створення дизайну, що відповідає конкретним вимогам та цілям проекту.
- Реальний час інтерактив: Можливість користувачів отримувати та адаптувати проєктні рішення в реальному часі, забезпечуючи швидку відповідь на зміни у проєктних вимогах.
- Безпроблемна інтеграція: Працює безпосередньо у веб-браузері без необхідності завантаження або встановлення додаткового програмного забезпечення.
- Доступність та зручність використання: Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, який дозволяє користувачам легко розпочати новий проєкт і ефективно керувати ним.
- Швидкість проектування: Значне скорочення часу, необхідного для розробки архітектурного проєкту, з місяців до хвилин.

- Підтримка сталого дизайну: Орієнтація на сталість і екологічність у проектуванні, відповідно до принципів сталого розвитку.
- Мультидисциплінарний підхід: Співпраця між архітекторами, дизайнерами та експертами з штучного інтелекту для створення інноваційних рішень.
- Персоналізація дизайну: Можливість адаптувати проєктні рішення до індивідуальних потреб та вподобань користувача.
- Оптимізація за критеріями проєкту: Використання AI для визначення найкращих рішень на основі геометрії, функціональних вимог та естетичних критеріїв проєкту.



Рисунок 3.16 Генерування рендеру по ARCHITEChTURES 3d скетчам - Architectrender + Leonardo AI

Проект ARCHITEChTURES вже володіє потужною здатністю створювати BIM проєкт та детальні 3D-моделі, а використання інструментів Architectrender та Leonardo AI дозволяє здійснити квантовий стрибок в якості візуалізації, перетворюючи ці моделі на фотореалістичні зображення. Ці технології вносять

реалістичні текстури, точне освітлення та вірні матеріали, що разом створюють остаточне візуальне враження, яке важко відрізнити від реальної фотографії, і все це автоматизовано та оптимізовано завдяки можливостям штучного інтелекту.

Ці фічі разом формують потужний інструмент, який робить процес проєктування швидшим, більш ефективним і доступним для професіоналів у сфері міського будівництва.

Перетворення 3D-моделей в 2D-креслення

Процес перетворення 3D-моделей в 2D-креслення традиційно виконується вручну архітекторами та інженерами, що потребує багато часу та зусиль. Проте, штучний інтелект (AI) може значно автоматизувати цей процес, роблячи його більш ефективним, точним та економним.

AI-інструменти для перетворення 3D-моделей в 2D-креслення використовує різні методи, щоб:

- Аналізувати 3D-моделі:
 - Визначати геометричні параметри, такі як розміри, форми та розташування елементів.
 - Розпізнавати типи об'єктів, таких як стіни, вікна, двері, меблі тощо.
 - Виявляти зв'язки та залежності між різними елементами 3D-моделі.
- Автоматично генерувати 2D-креслення:
 - Створювати ортогональні проєкції (види збоку, зверху, ззаду) та розрізи.
 - Додавати розміри, виносні лінії, позначки та інші необхідні елементи.
 - Формувати текстові специфікації та експлікації.

Переваги використання AI для перетворення 3D-моделей в 2D-креслення:

- Ефективність: значно скорочує час, необхідний для створення 2D-креслень.
- Точність: мінімізує ризик помилок, пов'язаних з людським фактором.
- Економія: знижує витрати на проектування та виготовлення документації.
- Універсальність: може використовуватися для 3D-моделей будь-якої складності.

Деякі з популярних AI-інструментів для перетворення 3D-моделей в 2D-креслення:

- Autodesk Inventor Nastran
- Autodesk AutoCAD
- Siemens Femap
- Ansys Mechanical

Впровадження AI-інструментів для перетворення 3D-моделей в 2D-креслення стає все більш поширеним явищем в архітектурній та інженерній галузях. Це дозволяє проєктувальникам зосередитися на більш креатив в завданнях, а не на рутинній роботі, роблячи процес проєктування більш ефективним, економним та екологічним.

Оптимізація робочого процесу AI-інструменти можуть значно оптимізувати робочий процес архітекторів та інженерів, дозволяючи їм зосередитися на більш складних задачах, пов'язаних з дизайном та інжинірингом [44].

Ось кілька прикладів того, як AI може допомогти:

- Автоматизація рутинних завдань: AI може автоматизувати такі рутинні завдання, як генерація 2D-креслень з 3D-моделей, перевірка узгодженості даних, форматування текстових специфікацій тощо.
- Підтримка прийняття рішень: AI може надавати аналітичні дані та рекомендації, які допомагають архітекторам та інженерам приймати більш обґрунтовані рішення.
- Співпраця та комунікація: AI може полегшити співпрацю між різними командами та фахівцями, а також покращити комунікацію на всіх етапах проекту.

Це дозволяє архітекторам та інженерам:

- Економити час: AI може економити час, який витрачається на рутинні завдання, даючи можливість зосередитися на більш творчій та стратегічній роботі.
- Підвищити продуктивність: AI може допомогти командам працювати більш ефективно та продуктивно.
- Покращити якість: AI може допомогти мінімізувати ризик помилок та покращити загальну якість проектування.

Використання машинного навчання для розпізнавання та виправлення помилок. Системи машинного навчання можуть бути навчені на великих наборах даних 2D-креслень, щоб розпізнавати поширені помилки, такі як:

- Неправильні розміри
- Неправильні позначки
- Відсутні елементи
- Неузгодженість даних

Після розпізнавання помилок система машинного навчання може запропонувати автоматичні виправлення. Це може значно економити час та зусилля архітекторів та інженерів, які зазвичай вручну перевіряють креслення на наявність помилок.

Стандартизація креслень. AI-інструменти можуть допомогти підтримувати стандарти черчення та управління документацією, щоб гарантувати відповідність проєктів отраслевим и корпоративним нормам. Це може включати:

- Автоматичне застосування стандартних шаблонів та стилів
- Перевірка креслень на відповідність стандартам
- Генерація специфікацій та експлікацій

Це може допомогти:

- Забезпечити чіткість та читабельність креслень
- Полегшити співпрацю між різними командами та фахівцями
- Уникнути помилок, пов'язаних з невідповідністю стандартам
- Адаптивність та масштабованість

AI-інструменти можуть адаптуватися до проєктів різного масштабу, від малих житлових будинків до крупних інфраструктурних об'єктів. Це означає, що AI може використовуватися для:

- Генерації 2D-креслень будь-якої складності
- Автоматизації рутинних завдань, незалежно від розміру проєкту
- Підтримки прийняття рішень на будь-якому етапі проєктування

Використання AI для автоматизації генерації 2D-креслень становить значний прогрес у сфері архітектурного та інженерного проєктування. Завдяки швидкості, точності та можливості інтеграції з іншими системами, ці інструменти не лише оптимізують робочий процес, а й знижують витрати та підвищують ефективність роботи проєктних команд. Спроможність AI адаптуватися до унікальних вимог кожного проєкту та автоматизувати створення як стандартних, так і нестандартних креслень відкриває нові перспективи для розвитку архітектурної та інженерної галузей.

Інструменти, як Finch 3D та PlanFinder, демонструють потенціал AI у генерації планів та оптимізації дизайну, пропонуючи функції, які значно випереджають традиційні методи проєктування. Їх здатність швидко обробляти

великі обсяги даних, розпізнавати помилки та пропонувати оптимізовані рішення підкреслює важливість технологій штучного інтелекту в еволюції проектних процесів. Отже, автоматизоване AI генерування 2D-креслень не просто спрощує існуючі робочі процедури, а відкриває шлях для більш інноваційного, ефективного та сталого майбутнього в архітектурі та інженерії [45].

3.3 AI генерування 3D-візуалізації, AI та доповнена реальність з VR

AI метод для генерування фотореалістичних 3D-візуалізацій. AI генерування 3D-візуалізацій від Architect Render, сервісу, який здатен трансформувати прості 3D-моделі у фотореалістичні зображення. Професійні програми зазвичай дозволяють створювати базові 3D-конструкції з різних ракурсів, але їхня візуалізація може бути доволі трудомісткою та потребувати спеціальних навичок. Architect Render же пропонує інноваційне рішення, яке автоматично надає моделям реалістичну текстуру, освітлення та інші візуальні ефекти.

Цей інструмент можна використовувати як допоміжний засіб у професійних програмах для архітекторів, дизайнерів інтер'єру, гейм-дизайнерів тощо. Ви створюєте базову 3D-модель, а Architect Render "розфарбовує" її, надаючи остаточного вигляду, який виглядає набагато більш привабливо та професійно для презентації клієнтам або в портфоліо.

Користування такою системою може істотно заощадити час, знижуючи необхідність в додаткових навичках з візуалізації та дозволяючи швидше досягати вражаючих результатів. Це особливо цінно у сферах, де терміни та якість візуалізації є критично важливими.



**A ARCHITECT
RENDER**

app.architectrender.com/dream



Рисунок 3.17 Трансформування простого 3d рендеру у фотореалістичні зображення



3D РЕВОЛЮЦІЯ В АРХІТЕКТУРНІЙ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ

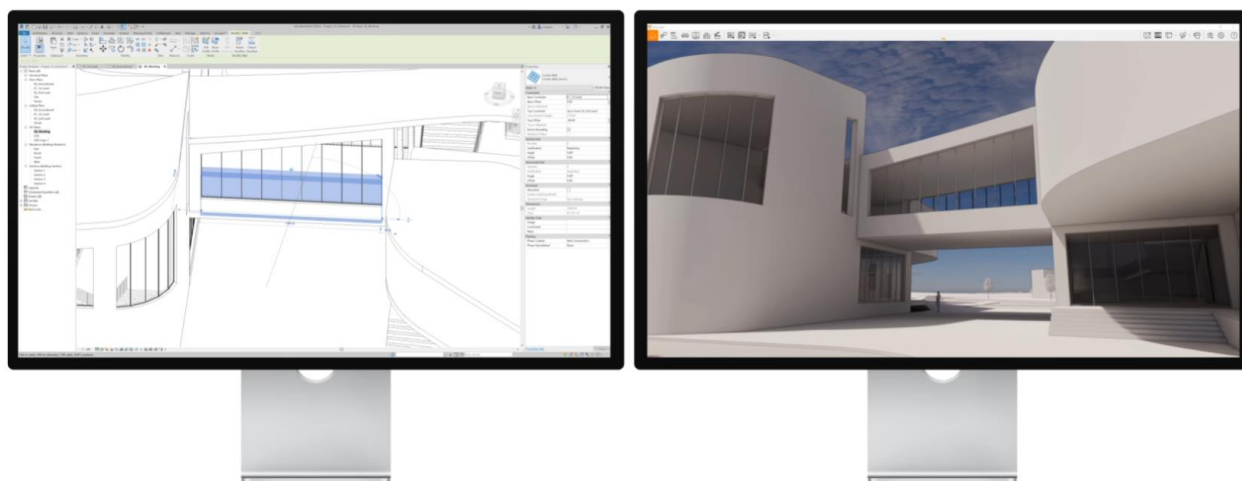


Рисунок 3.18 Моделювання у реальному часі за допомогою Enscape

Enscape – це революційний інструмент для архітектурної візуалізації, який дозволяє створювати фотореалістичні зображення, відео та панорами у реальному часі. Enscape інтегрується з провідними BIM-платформами, такими

як Revit, SketchUp та ArchiCAD, що дозволяє легко синхронізувати зміни у проекті.

Enscape це:

- Швидкий та простий рендеринг у реальному часі (рис 3.18)
- Створення фотореалістичних зображень та відео (рис 3.22-3.25)
- Віртуальна реальність для занурення у проект (рис 3.20)
- Інтеграція з провідними BIM-платформами (рис 3.21)



Рисунок 3.19 AI рендер та 3D тур з можливістю занурюватися у VR реальність

Переваги Enscape:

1. Економія часу та коштів
2. Підвищення якості комунікації із клієнтами
3. Поліпшення прийняття рішень
4. Підвищення конкурентоспроможності



Рисунок 3.20 Enscape – від ліній до реальності

Enscape може допомогти вам:

- Заощаджувати час та кошти за рахунок швидкого та простого рендерингу.
- Підвищити якість комунікації з клієнтами, надаючи їм фотореалістичні зображення та відео проекту.
- Поліпшити прийняття рішень, дозволяючи вам побачити проект у віртуальній реальності.
- Підвищити конкурентоспроможність, пропонуючи своїм клієнтам передові технології візуалізації

Приклади використання Enscape:

- Архітектурна візуалізація
- Дизайн інтер'єра
- Ландшафтний дизайн
- Містобудування
- Інженерне проектування

Enscape — це комерційний плагін візуалізації в реальному часі та віртуальної реальності, який в основному використовується в архітектурі, інженерії та будівництві. Він розроблений і підтримується компанією Enscape GmbH, яка була заснована в 2013 році і розташована в Карлсруе, Німеччина, з офісом у Нью-Йорку, США. У 2022 році Enscape GmbH об'єдналася з Chaos, розробником конкуруючого програмного забезпечення для візуалізації V-Ray. Функції Enscape інтегруються безпосередньо у ваше програмне забезпечення для моделювання, забезпечуючи миттєвий робочий процес проектування та візуалізації, який не вимагає експорту чи імпорту файлів. Ця повна інтеграція дозволяє здійснювати візуалізацію в реальному часі та досвід віртуальної реальності безпосередньо з програмного забезпечення для моделювання

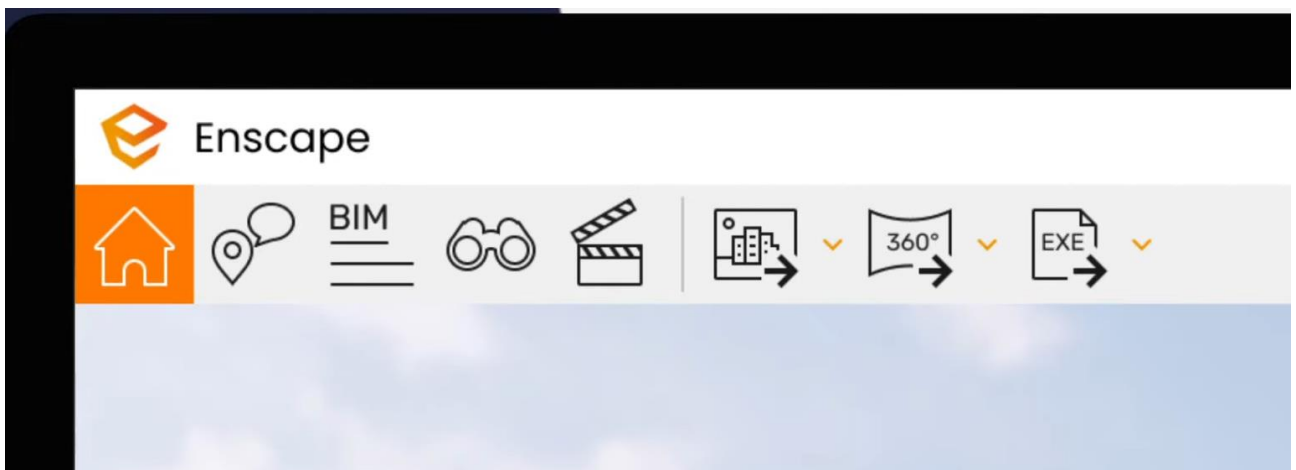


Рисунок 3.21 Enscape – навігація від BIM інструментів до 360 панорам

Enscape інтегрується безпосередньо з кількома популярними програмами для проектування та 3D-моделювання:

1. SketchUp: Плагін Enscape для SketchUp дозволяє проектувати та візуалізувати моделі в реальному часі прямо в інтерфейсі SketchUp.
2. Revit: Інтеграція з Revit підтримує BIM процеси та дає можливість створювати фотореалістичні рендери без потреби експортувати модель.
3. Rhino: Користувачі Rhino можуть використовувати Enscape для створення рендерів та віртуальної реальності прямо зі свого робочого середовища.

4. ArchiCAD: Плагін Enscape для ArchiCAD розширює функціональність програми для створення візуалізацій та анімацій.
5. Vectorworks: Підтримка Vectorworks почалася з пізнішої версії Enscape, дозволяючи користувачам покращити свої проекти за допомогою реалістичних візуалізацій та анімацій.

Enscape пропонує гладку інтеграцію, яка дозволяє архітекторам та дизайнерам без проблем перемикатися між редагуванням моделі та візуалізацією, покращуючи робочий процес та підвищуючи продуктивність.



Рисунок 3.22 Enscape – скарб для архітекторів у візуалізації

Enscape інтегрував деякі можливості штучного інтелекту (AI) для покращення процесу візуалізації.

AI-інструменти Enscape для покращення візуалізації:

- AI-матеріали: автоматичне створення фотореалістичних матеріалів. Поліпшення текстур для більш детальних та реалістичних поверхонь.
- AI-освітлення: автоматичне налаштування освітлення для створення реалістичної атмосфери. Оптимізація світлових ефектів та тіней для більш переконливої сцени.
- AI-населення: додавання та анімація реалістичних 3D-моделей людей та об'єктів. Можливість налаштування анімації для створення живої та динамічної сцени.
- AI-дерева: автоматичне створення 3D-дерев з реалістичним листям. Інтеграція з довкіллям задля досягнення природного виду ландшафту.
- AI-небо: створення реалістичного неба з динамічними хмарами. Адаптація освітлення піднебіння відповідно до встановленого часу доби.



Рисунок 3.24 Enscape – скарб для архітекторів у візуалізації та анімації

Додаткові можливості AI в Enscape:

- Аналіз проектів: автоматичний аналіз на наявність помилок чи невідповідностей. Рекомендації щодо покращення стандартів дизайну та безпеки.

- Поліпшення рендеру: застосування машинного навчання для зменшення шуму та підвищення якості зображення.
- Рекомендації щодо дизайну: Пропозиції щодо удосконалення проектів на основі аналізу інших успішних робіт.
- Автоматична адаптація до стилю дизайну: аналіз особистих уподобань дизайнера та пропозиції змін, що відповідають його стилю.



Рисунок 3.25 Enscape – фотореалістичний рендер інтер'єру



Рисунок 3.26 Гнучка система зміни текстур у режимі реального часу

Ці AI-функції в сукупності значно полегшують створення візуально привабливих та реалістичних архітектурних візуалізацій, заощаджуючи час та зусилля користувачів.

С Enscape ви вступаєте в нову еру архітектурної візуалізації, де кожен штрих проекту оживає з феноменальною точністю і реалізмом, наданим інноваційними AI-технологіями. Представте собі інструмент, який не просто втілює ваше бачення у життя, але і здійснює це з неймовірною швидкістю та легкістю, дозволяючи миттєво міняти текстури, освітлення, навіть погодні умови — все у реальному часі і без жодних обмежень. Enscape перетворює процес проектування у мистецтво, де єдиною межею є ваша уява.

А коли справа доходить до презентації цього мистецтва, Enscape надає вам силу розповсюджувати свої проекти світові через веб-браузер, просто передаючи посилання клієнту. Це відкриває двері до нового рівня взаємодії та зв'язку з клієнтами, де бар'єри відсутні, а можливості — безкрайні. Кожна деталь вашого проекту може бути оцінена з будь-якого куточка планети, дозволяючи клієнтам пережити та відчутти ваше бачення у всій його повноті. З Enscape ми не просто створюємо візуалізації — ми створюємо мрії, які стають реальністю [46].

ВИСНОВКИ

На зламі епох і технологій, ми стоїмо на порозі нової революції в будівельній галузі, де BIM (Building Information Modeling) не просто майстерно оркеструє процесами проектування, будівництва та експлуатації об'єктів, але й перетворюється завдяки штучному інтелекту (AI). Життєвий цикл BIM, який ми знали, отримує нове дихання, нове бачення, яке радикально змінює стандарти та підходи, що здавалися незмінними.

Уявіть світ, де кожен елемент будівлі не просто частина проекту, а живий організм, здатний адаптуватися, реагувати на зміни та передбачати майбутні потреби. AI в BIM відкриває нам таку реальність. Це не просто автоматизація звичних процесів, це переписування правил гри, де штучний інтелект аналізує безліч варіантів проектного рішення, оптимізуючи його не тільки з точки зору ефективності використання ресурсів, а й забезпечуючи максимальний комфорт та безпеку для майбутніх користувачів.

Ми перебуваємо на порозі епохи, де AI виявляє нові підходи у звичних процесах, забезпечуючи безпрецедентний рівень інтеграції, інтерактивності та інновацій. Штучний інтелект дозволяє нам побачити майбутнє проекту в усіх його проявах, передбачати можливі проблеми на етапі проектування та ефективно управляти ресурсами на всіх етапах життєвого циклу будівлі.

Завдяки AI, BIM перетворюється з інструменту проектування в цілісну інтелектуальну систему, здатну вчитися, адаптуватися і розвиватися разом з нашими потребами. Ми бачимо не просто будівлі; ми бачимо інтелектуальні екосистеми, що живуть і дихають унісон з нами, відповідають на наші потреби, навіть перш ніж ми усвідомимо їх.

Штучний інтелект у BIM – це не майбутнє, це реальність, яка змінює наше сприйняття можливого. Це шлях до створення не просто більш ефективних і безпечних будівель, а до створення простору, де кожен елемент слугує здоров'ю, благополуччю та задоволенню людських потреб. Вітаємо в новій ері будівельної галузі, де AI і BIM разом переосмислюють основи

проектування, будівництва та експлуатації для створення кращого майбутнього для всіх нас.

У цьому новому світі, де AI та BIM сплітаються в одне ціле, стираючи межі між фізичним та віртуальним, ми занурюємось в епоху, де кожен з нас може стати диригентом свого власного архітектурного оркестру. Можливість одягнути VR-окуляри і пірнути в майбутнє свого проєкту не просто як спостерігач, а як активний учасник, що може взаємодіяти з кожним елементом, вносити зміни та відчувати простір навколо себе, революціонує наше розуміння проєктування та будівництва.

Це не майбутнє; це теперішнє, що кличе нас переступити поріг звичного та відкрити для себе безмежні можливості інтерактивного проєктування. Уявіть собі, що ви можете не просто бачити, але й відчувати майбутній дім, офіс чи громадський простір ще до початку будівництва. Можливість випробувати різні варіанти дизайну, матеріали та освітлення в реальному часі, знаходячись в будь-якому куточку світу, перетворює кожен проєкт на унікальну подорож, в яку можна вирушити вже сьогодні.

Ми знаходимося на порозі нової ери, де технології VR і AI в BIM надають нам силу не тільки уявляти майбутнє, а й активно формувати його тут і зараз. Це ера, в якій кожен може стати творцем, а кожен проєкт — полотном для втілення найсміливіших ідей та інновацій. Ми вже не обмежені рамками традиційного проєктування; ми вільні творити, експериментувати та вдосконалювати, перетворюючи кожен проєкт на мистецтво, що оживає перед нашими очима.

Тож одягайте VR-окуляри та відчуйте майбутнє на дотик. Переступіть поріг звичайного і відкрийте для себе нові горизонти можливого, де кожен ваш рух та рішення впливає на формування простору навколо вас. Це ваш шанс не просто спостерігати за майбутнім, а бути його безпосереднім творцем. Живіть у проєктах, які ви створюєте, досліджуйте їх, вдосконалюйте та діліться своїми візіями зі світом. Ви — архітектор свого майбутнього. Не втрачайте можливості створити щось надзвичайне.

У світі, де технології переплітаються з нашими мріями та амбіціями, ми вже не просто спостерігачі, а активні учасники створення нової реальності. І коли я запускаю дрони, лупцюючи ворогів і водночас роблю 3D-сканування для BIM-проектування, я не лише захищаю свою землю, а й закладаю фундамент для майбутнього, де кожна цеглинка, віртуально закладена сьогодні, стане частиною реального завтра. Ми будуємо майбутнє, в якому технології слугують нам, дозволяючи створювати безпечні, ефективні та інноваційні простори для життя. Це майбутнє, де кожен з нас має силу не просто мріяти про зміни, а активно їх втілювати.

AI той що є - це лише початок! Далі буде...

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Арутюнян І. А. Наукові дослідження : навч.-метод. посіб. Запоріжжя : ЗДІА, 2018. 161 с.
2. Тези відповіді на конференціях: Добровольська О.Г., Великий О.А. Про автоматизацію проєктування об'єктів містобудування. МОЛОДА НАУКА-2023 : збірник наукових праць студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчених. Том V. Запоріжжя: ЗНУ, 2023. Т. 5 С. 148-149. URL: https://sites.znu.edu.ua/stud-sci-soc//2023/tom_5_2023_r_k.pdf.
3. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling - A comprehensive guide to BIM for owners, managers, designers, engineers, and contractor. 2010p.
4. . Beyond Bim: Architecture Information Modelling by Danelle Briscoe - Explores BIM's vast design potential through various investigations and practical advantages. 2014p.
5. Big Bim Little Bim – Second Edition by Finith E Jernigan Aia - Offers tools for synthesizing and reusing data, early problem solving, and boosting efficiency. 2014p.
6. BIM Design: Realising the Creative Potential of Building Information Modelling by Richard Garber - Focuses on how firms use BIM technologies to solve design problems and enhance collaboration. 2014p.
7. BIM Design: Realising the Creative Potential of Building Information Modelling by Richard Garber - Focuses on how firms use BIM technologies to solve design problems and enhance collaboration.
8. BIM Demystified by Steve Race - Provides a straightforward explanation of BIM, addressing the subject from a mainstream practice perspective.
9. Building Information Modeling: Technology Foundations and Industry Practice by André Borrmann - Combines discussions on BIM's technological basics with reports on current best practices.

10. Research Companion to Building Information Modeling - Offers critical insights into state-of-the-art BIM research and development .

11. Ebook on Building Information Modeling (BIM): An Ultimate Career Guide - Explores the career aspects of BIM, including job positions, salaries, and how BIM evolves.

12. Building Information Modelling (BIM) in Design, Construction and Operations - Covers topics like BIM and sustainability, advanced BIM platforms, and digital twins.

13. ArchiCAD: <https://graphisoft.com/solutions/archicad>.

14. AutoCAD: <https://www.autodesk.com/products/autocad/overview>

15. Revit: <https://www.autodesk.com/products/revit/overview> Using Autodesk Revit 2023 - Provides access to videos that break down BIM topics into short, manageable segments.

16. Autodesk CIVIL 3D: <https://www.autodesk.com/products/civil-3d/overview>

17. Allplan: <https://www.allplan.com/>.

18. CINEMA 4D by MAXON: <https://www.maxon.net/en/cinema-4d>.

19. Construction 4.0, Industry 4.0, and Building Information Modeling (BIM) for Sustainable Building Development - Explores the integration of BIM in the context of smart cities. 2018p.

20. ЛИРА-САПР: <https://www.lira-sapr.com/>.

21. BIM in Small-Scale Sustainable Design by Francois Levy - Focuses on how BIM can be used in the design of small-scale sustainable projects. 2011p.

22. Building Information Modeling: Framework for Structural Design by Nawari O. Nawari and Michael Kuenstle - Examines BIM's role in the structural design process, highlighting its impact on building lifecycle management. 2015p

23. Autodesk – 3DS MAX: <https://www.autodesk.com/products/3ds-max/overview>.

24. SketchUp: <https://www.sketchup.com/>.

25. Autodesk NAVISWORKS: <https://www.autodesk.com/products/navisworks/overview>.
26. BIM and Construction Management: Proven Tools, Methods, and Workflows by Brad Hardin and Dave McCool - A practical guide to integrating BIM with construction management. 2015p.
- 27 McGraw Hill: <https://www.mcgrawhill.com/>.
28. Building Information Modeling for Dummies by Stefan Mordue, Paul Swaddle, and David Philp - A beginner-friendly introduction to BIM concepts and practices.
29. The BIM Manager's Handbook: Guidance for Professionals in Architecture, Engineering, and Construction by Dominik Holzer - Offers guidance for BIM professionals, particularly BIM managers.
30. Digital Building Heritage: Using BIM in Heritage Reconstruction - Focuses on the application of BIM technologies in the reconstruction and preservation of heritage buildings.
31. Mastering Autodesk Revit 2023 for Architecture by Marcus Kim, Lance Kirby, and Eddy Krygiel - Provides in-depth training for Revit, one of the most popular BIM software tools.
32. The Aubin Academy: Revit Architecture: Concepts & Applications by Paul F. Aubin - A comprehensive guide to Autodesk Revit, designed to help users understand the architectural capabilities of the software.
33. BIM and Integrated Design: Strategies for Architectural Practice by Randy Deutsch - Discusses how BIM influences the workflow of architectural design, project management, and team collaboration.
34. "The Innovation Complex: Cities, Tech, and the New Economy" by Sharon Zukin explores the impact of the tech industry on urban spaces, particularly in New York City, offering insights into how technology shapes urban. 2022p.
35. Chaos–Enscape: <https://enscape3d.com>.
36. Dynamo: <https://dynamobim.org/>.
37. DALL·E: <https://openai.com/dall-e-2/>.

38. Finch 3D: <https://www.finch3d.com/>.

39. Freepik Pikaso: <https://www.freepik.com/pikaso/reimagine>.

40. GPT-4: <https://openai.com/gpt-4/>.

41. Grasshopper: <https://www.grasshopper3d.com/>.

42. Leonardo AI: <https://www.leonardo.com/en/home>.

43. "Good City Form" by Kevin Lynch, although not recent, provides foundational knowledge on the connections between human values and the physical forms of cities, setting a precedent for considering technology in urban planning. 2015p.

44. "The Next American Metropolis: Ecology, Community, and the American Dream" by Peter Calthorpe advocates for compact, mixed-use development over sprawl, emphasizing sustainable urban planning principles that technology and automation could enhance. 2014p.

45. "Cities of Tomorrow: An Intellectual History of Urban Planning and Design in the Twentieth Century" by Peter Hall, offers a comprehensive overview of the evolution of urban planning and design, providing context for the integration of modern technologies. 2002p.

46. "Hip Hop Architecture" by Sekou Cooke discusses the intersection of hip hop culture and architecture, suggesting innovative approaches to design and planning that could be informed by technology. 2021p.

ВІДГУК

керівника кваліфікаційної роботи
другого (магістерського) рівня вищої освіти,
виконаної на тему «**Покращення процесів проєктування об'єктів
містобудування за рахунок автоматизації**» здобувачем групи 8.1922 мбг -опа
Великим Олександром Анатолійовичем

Актуальність дослідження, представленого в кваліфікаційній роботі
Великого Олександра, безсумнівна, оскільки питання автоматизації процесів
проєктування в архітектурі та містобудуванні є ключовими для подальшого
розвитку галузі. Робота відповідає поставленому завданню і демонструє
глибоке розуміння тематики, а також ефективність застосування сучасних
методик, зокрема використання AI та BIM технологій. Олександр вміло
застосував теоретичні знання, здобуті під час навчання, для вирішення
практичних задач, що підтверджує його високий рівень підготовки до наукових
досліджень. Матеріал викладено логічно та аргументовано, з ясними
висновками та рекомендаціями.

Елементи плагіату (копіляції) у кваліфікаційній роботі не виявлені.
Кваліфікаційна робота (проект) другого (магістерського) рівня вищої освіти
виконана у повному обсязі, відповідає встановленим вимогам і заслуговує оцінки
«_____», а її автору, Великому О.А, може бути присвоєна
кваліфікація магістра з будівництва та цивільної інженерії.

Кількість балів за шкалою ECTS _____
(1-2 – "задовільно", 3-4 – "добре", 5 – "відмінно")

Керівник кваліфікаційної роботи
Доцент, к.т.н. кафедри МБГ _____

Савін В.О

РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу
другого (магістерського) рівня вищої освіти,
виконаної на тему «**Покращення процесів проектування об'єктів
містобудування за рахунок автоматизації**»
здобувачем групи _8.1922 мбг -опа_
Великим Олександром Анатолійовичем

Особливо варто виділити третій розділ, присвячений AI інструментам, який не лише демонструє передові підходи в проектуванні, але й вражає інноваційним використанням технологій для створення концепт-рішень. Цей розділ заслуговує особливої уваги за його внесок у розвиток методів проектування та здатність інспірувати на подальші дослідження в цій області.

Робота Олександра є яскравим прикладом високого рівня професіоналізму та інноваційного мислення, що відповідає сучасним вимогам освітньо-професійної програми і дає всі підстави для присвоєння йому відповідної кваліфікації. В роботі не виявлено елементів плагіату, що свідчить про авторський підхід та самостійність виконання дослідження. Загалом, проект вражає своєю якістю та глибиною розробки, відображаючи високий професійний рівень здобувача.

Елементи плагіату (компіляції) у кваліфікаційній роботі не виявлені.

Кваліфікаційна робота (проект) другого (магістерського) рівня вищої освіти виконана у повному обсязі, відповідає встановленим вимогам і заслуговує оцінки « _____ », а її автору, Великому О.А, може бути присвоєна кваліфікація магістра з будівництва та цивільної інженерії.

Кількість балів за шкалою ECTS _____
(1-2 – "задовільно", 3-4 – "добре", 5 – "відмінно")

Рецензент кваліфікаційної роботи
д.т.н., професор кафедри ПЦБ _____

Банах В.А

