

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд і технологій
(повна назва факультету)
Будівельної механіки
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

Магістра

(назва освітнього ступеня)

на тему: «Створення моделі будівлі з розрахунком та деталізацією її окремих
конструктивних елементів»

Виконала: студентка VI курсу, групи МБнм-61
спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»

(шифр і назва спеціальності)

	Ванкевич Я.С.
(підпис)	(прізвище та ініціали)
Керівник	Підгурський І.М.
(підпис)	(прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	Мещерякова О.М.
(підпис)	(прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	Ясній В.П.
(підпис)	(прізвище та ініціали)
Рецензент	Бобик М.П.
(підпис)	(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Факультет інженерії машин, споруд і технологій
(повна назва факультету)
Кафедра Будівельної механіки
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Ясній В.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)
« 09 » квітня 2026 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня Магістр
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія
(шифр і назва спеціальності)
студенту Ванкевич Яні Сергіївні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Створення моделі будівлі з розрахунком та деталізацією її окремих конструктивних елементів»

Керівник роботи Підгурський Іван Миколайович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 09 » квітня 2026 року № 4/9-178

2. Термін подання студентом завершеної роботи 18 травня 2026 року

3. Вихідні дані до роботи концепт офісної будівлі, інженерно-геологічні та кліматичні умови Ділянки будівництва.

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)
Розробити архітектурно - планувальне рішення навчального макету будівлі з урахуванням функціонального призначення. Провести розрахунок та підбір фундаментів і створити модель пальового фундаменту методом 3D-друку. Підібрати склад бетонної суміші для ростверку з використанням різних видів піску (гранітного та звичайного). Провести лабораторний експеримент з визначення міцності бетону на стиск.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)
33 слайди презентації (1. концепт будівлі – 11 слайдів; 2. архітектурно-планувальні рішення – 7 слайдів; 3. розрахунок фундаменту методом скінчених елементів – 2 слайди; 4. дослідження міцності бетону для ростверку на основі різних видів піску – 11 слайдів; 5. 3D-модель фундаменту – 2 слайди).

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Каспрук В.Б. доцент		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	Стручок В.С. ст. викл.		
Нормоконтроль	Мещерякова О.М. ст.викл.		

7. Дата видачі завдання 08 квітня 2026 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

[illegible]

Студент

(підпис)

Ванкевич Я.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Підгурський І.М.

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1 ІДЕЯ ТА МЕТА СТВОРЕННЯ МАКЕТУ ДЛЯ СТУДЕНТІВ-БУДІВЕЛЬНИКІВ	8
1.1 Макети. Їх використання в будівництві та архітектурі	8
1.2 Ідея та мета роботи	11
1.3 Планування та реалізація макету	13
1.3.1 Початковий концепт	14
1.3.2 Вивчення фасадів та фасадних систем	17
1.3.3 Набуття навичок скетчингу	18
1.4 Висновки до розділу 1	21
РОЗДІЛ 2 АРХІТЕКТУРНІ РІШЕННЯ МАКЕТУ	22
2.1 Характеристика будівлі компанії «Білий замок»	22
2.1.1 Коротка характеристика району та будівельного майданчика	22
2.1.2 Кліматичні умови	26
2.2 Архітектура макету	27
2.2.1 Дослідження архітектури будівлі «Білий замок»	29
2.2.2 Розробка фасаду макету	32
2.2.3 Конструктивні рішення макету	35
2.2.4 Інженерно-геологічні та гідрологічні умови ділянки	39
2.2.5 Конструювання та розрахунок фундаментів	45
2.2.6 Енергоефективність	49
2.2.7 Заходи щодо підвищення енергоефективності	50
2.3 Навчально-методичне забезпечення макету та інтеграція цифрових технологій	51
2.3.1 Використання AR - технологій у навчальному макеті	52
2.4 Висновки до розділу 2	54
РОЗДІЛ 3 ЛАБОРАТОРНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ БЕТОНУ НА СТИСК	56
3.1 Вплив піску на властивості бетону	56
3.1.1 Дослідження впливу різних видів піску на бетонну суміш	59
3.2 Методика проведення дослідження	61
3.3 Результати дослідження	65
3.4 Висновки до розділу 3	69
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	71

4.1 Охорона праці.....	71
4.1.1 Інженерні рішення з охорони праці	71
4.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	72
4.2.1 Законодавча база України	73
4.2.2 Заходи при землетрусі	73
4.3 Висновки до розділу 4.....	74
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	76
БІБЛІОГРАФІЯ	78

ВСТУП

Сучасний розвиток будівельної галузі характеризується активним впровадженням новітніх технологій, удосконаленням методів проектування та зведення будівель і споруд, а також підвищенням вимог до якості підготовки інженерних кадрів. В умовах зростаючої складності будівельних процесів особливого значення набуває поєднання теоретичних знань із практичними навичками, що може бути ефективно реалізовано шляхом моделювання, використання навчальних макетів та експериментальних досліджень.

У навчальному процесі закладів вищої освіти, зокрема Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, важливим є формування у здобувачів здатності до комплексного вирішення інженерних задач, що включають проектування конструкцій, їх розрахунок та експериментальну перевірку прийнятих рішень. Одним із перспективних напрямків удосконалення навчального процесу є створення функціональних навчальних макетів, які дозволяють наочно демонструвати роботу будівельних конструкцій, особливості їх взаємодії та вплив різних факторів на їх надійність і довговічність.

Особливу роль у сучасному будівництві відіграє бетон як основний конструкційний матеріал. Його властивості значною мірою залежать від складу бетонної суміші, якості компонентів та технології приготування. У зв'язку з цим актуальним є дослідження впливу різних видів заповнювачів, зокрема гранітного та природного піску, на міцнісні характеристики бетону. Отримані результати таких досліджень дозволяють підвищити ефективність використання матеріалів і забезпечити необхідний рівень надійності будівельних конструкцій.

Актуальність теми полягає у поєднанні сучасних методів моделювання та розрахунку будівельних конструкцій з адитивними технологіями, 3D-друку та застосуванні сучасних методів візуалізації в навчальному процесі. Додаткової актуальності роботі надає дослідження впливу різних видів піску на

міцність бетону, що є важливим для підвищення ефективності та надійності будівельних матеріалів.

Робота виконана відповідно до освітньої програми підготовки магістрів та науково-дослідних напрямків кафедри будівельної механіки Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

Метою роботи є розроблення навчального макету будівлі для підвищення ефективності освітнього процесу, виконання розрахунку пальового фундаменту, його моделювання, а також експериментальне визначення впливу різних видів піску на міцність бетону при стиску.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **задачі**:

- проаналізувати сучасний стан використання навчальних макетів у підготовці фахівців будівельної галузі;
- обґрунтувати вибір конструктивного рішення та розробити макет будівлі;
- дослідити вплив складу бетонної суміші з використанням гранітного та природного піску;
- провести лабораторні випробування зразків бетону на стиск у відповідних умовах;
- виконати аналіз отриманих результатів та сформулювати практичні рекомендації.

Об'єкт дослідження – процес проектування та дослідження будівельних конструкцій у навчальному середовищі.

Предмет дослідження – вплив складу бетонної суміші на міцність бетону.

Методи дослідження включають методи будівельної механіки, чисельний аналіз конструкцій методом скінченних елементів, методи 3D-друку, експериментальні лабораторні випробування бетонних зразків на стиск, а також методи моделювання та порівняльного аналізу.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у:

- поєднанні сучасних методів моделювання концепцій та їх розвитку з адитивними технологіями 3D-друку збірно-розбірних макетів будівельних конструкцій;
- дослідженні впливу гранітного та кар'єрного піску на властивості бетонної суміші та характер руйнування бетону при стиску. У результаті експерименту було встановлено відмінності у структурній цілісності бетонних зразків після випробувань.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості використання розробленого навчального макету, отриманого на основі моделювання та розрахунку будівельних конструкцій, в освітньому процесі Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, а також у застосуванні результатів досліджень при підборі складу бетонних сумішей.

Апробація результатів магістерської роботи виконана на IX Міжнародній студентській науково-технічній конференції «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання» (Тернопіль, 24-25 квітня 2026 р.).

Публікації результатів магістерської роботи: Ванкевич Я., Підгурський І. Використання гранітного піску для бетонних сумішей та аналіз його впливу на експлуатаційні характеристики бетону // Матеріали IX Міжнародної студентської науково - технічної конференції «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання», (Тернопіль, 24-25 квітня 2026 р.) – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2026 – С. 36.

Ключові слова: АРХІТЕКТУРНІ ТА КОНСТРУКТИВНІ РІШЕННЯ БУДІВЛІ, РОЗРАХУНОК, МАКЕТ КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ БУДІВЛІ, ЛАБОРАТОРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ БЕТОНУ

РОЗДІЛ 1

ІДЕЯ ТА МЕТА СТВОРЕННЯ МАКЕТУ ДЛЯ СТУДЕНТІВ-БУДІВЕЛЬНИКІВ

1.1 Макети. Їх використання в будівництві та архітектурі

Макети з давніх часів відіграють важливу роль у різних сферах людської діяльності, зокрема у будівництві та архітектурі. Вони являють собою зменшені або інколи збільшені фізичні моделі об'єктів, які відтворюють їх форму, структуру, функціональні особливості та взаємозв'язки між окремими елементами. Основною метою створення макетів є наочне представлення складних об'єктів, що дозволяє краще зрозуміти їхню будову, принцип роботи та просторову організацію.

У будівництві макети застосовуються на різних етапах проєктування та реалізації об'єктів. На початковому етапі вони допомагають архітекторам і інженерам сформулювати загальну концепцію майбутньої споруди, визначити її об'ємно-планувальні рішення, оцінити пропорції та взаємодію з навколишнім середовищем. Фізичний макет дозволяє побачити об'єкт у тривимірному просторі, що значно полегшує процес прийняття проєктних рішень у порівнянні з кресленнями або двовимірними схемами.

В архітектурі макети є невід'ємною частиною творчого процесу. Вони використовуються для презентації проєктів замовникам, участі у конкурсах, а також для демонстрації майбутніх об'єктів широкій аудиторії. Завдяки макетам можна оцінити не лише зовнішній вигляд будівлі, але й її масштаб, взаємодію з ландшафтом, освітлення, тіньові ефекти та інші важливі аспекти. Особливо це актуально для складних архітектурних форм, де візуалізація відіграє ключову роль.

Окрім архітектурних макетів, у будівництві широко застосовуються конструктивні та технологічні моделі. Вони дозволяють детально вивчити окремі елементи будівель, такі як фундаменти, перекриття, вузли з'єднань, інженерні системи. Наприклад, макети фундаментів дають можливість

продемонструвати принцип їх роботи в ґрунті, взаємодію з навантаженнями та особливості конструктивного виконання. Це особливо важливо у навчальному процесі, де необхідно поєднати теоретичні знання з практичним розумінням конструкцій.

Варто зазначити, що макети використовуються не лише для проєктування, але й для досліджень. У деяких випадках створюються експериментальні моделі, на яких проводяться випробування конструкцій або їх елементів. Такий підхід дозволяє перевірити правильність розрахунків, оцінити поведінку конструкції під дією навантажень та виявити можливі недоліки ще до реалізації проєкту. Це відповідає сучасним вимогам до інженерної діяльності, де важливу роль відіграє моделювання та експеримент, що підкреслюється і в методичних підходах до виконання кваліфікаційних робіт.

Історично макети застосовувалися ще в античні часи. Відомо, що архітектори Стародавнього Риму створювали моделі будівель для узгодження проєктів із замовниками. У період Відродження макетування стало невід'ємною частиною архітектурної практики, а багато відомих споруд попередньо реалізовувалися у вигляді фізичних моделей. З розвитком технологій значення макетів не зменшилось, а навпаки – розширилось, доповнившись сучасними матеріалами та методами виготовлення.

Процес створення макету є складним і багатоступеневим. Він включає аналіз вихідних даних, вибір масштабу, розробку креслень, підбір матеріалів та безпосереднє виготовлення. Для створення макетів використовують різноманітні матеріали: картон, пластик, дерево, гіпс, пінополістирол, а також сучасні полімери. Останнім часом активно застосовуються технології 3D-друку, які дозволяють виготовляти складні деталі з високою точністю та мінімальними затратами часу.

Залежно від призначення, макети можуть бути різних типів:

- концептуальні (для формування ідеї);
- архітектурні (для візуалізації зовнішнього вигляду);

- конструктивні (для демонстрації будівельних елементів);
- навчальні (для освітніх цілей);
- експериментальні (для досліджень).

У навчальному процесі макети відіграють особливо важливу роль. Вони сприяють розвитку просторового мислення, що є ключовим для майбутніх інженерів та архітекторів. Студенти отримують можливість не лише спостерігати, але й взаємодіяти з моделлю, що значно підвищує рівень засвоєння матеріалу. Як зазначається у методичних підходах до підготовки фахівців будівельної галузі, важливою складовою навчання є використання моделювання та практичних методів дослідження, що забезпечують формування професійних компетентностей.

Цікаво, що макети широко використовуються і в інших галузях. У машинобудуванні створюють моделі механізмів для перевірки їх працездатності. У медицині використовуються анатомічні макети для навчання студентів та планування складних операцій. У військовій справі застосовуються макети місцевості для відпрацювання тактичних дій. У кінематографії макети допомагають створювати спецефекти та відтворювати масштабні сцени без значних фінансових витрат.

З розвитком цифрових технологій з'явилися віртуальні моделі, проте фізичні макети не втратили своєї актуальності. Вони мають ряд переваг, серед яких – наочність, можливість фізичного контакту та інтуїтивне сприйняття. Саме тому в сучасній практиці часто поєднують фізичне та цифрове моделювання, що дозволяє отримати максимально повне уявлення про об'єкт.

Таким чином, макети є універсальним інструментом, який широко використовується у будівництві, архітектурі та багатьох інших галузях. Вони забезпечують наочність, полегшують процес проектування, сприяють проведенню досліджень та відіграють важливу роль у навчанні. Їх застосування дозволяє підвищити якість інженерних рішень, зменшити ризики помилок та сформувати у майбутніх фахівців глибоке розуміння професійної діяльності.

1.2 Ідея та мета роботи

У сучасних умовах розвитку будівельної галузі, яка характеризується високим рівнем технологічності, складністю конструктивних рішень та інтеграцією інженерних систем, особливого значення набуває якісна підготовка майбутніх фахівців. Традиційні методи навчання, що базуються переважно на теоретичному викладі матеріалу, вже не забезпечують достатнього рівня засвоєння знань, оскільки не дозволяють студентам повною мірою уявити реальні конструктивні процеси. Саме тому виникає необхідність впровадження нових підходів, серед яких важливе місце займає створення навчальних макетів.

Ідея даної роботи полягає у розробці наочного, функціонального та педагогічно доцільного макету, який дозволяє студентам-будівельникам отримати комплексне уявлення про конструкції, технологічні процеси та принципи роботи будівельних систем. Макет виступає не просто допоміжним засобом, а інтегрованою моделлю реального об'єкта, що поєднує теоретичні знання з практичним досвідом.

Згідно з сучасними підходами до освіти, зокрема концепцією STEM, навчання повинно бути практично орієнтованим, міждисциплінарним та інтерактивним. У таких умовах навчальні моделі та макети відіграють ключову роль, оскільки вони забезпечують перехід від пасивного сприйняття інформації до активного пізнання. Як зазначається у дослідженнях, практична діяльність та використання моделей сприяють розвитку критичного мислення, творчих здібностей та навичок вирішення реальних задач.

Основною ідеєю створення макету є візуалізація складних інженерних процесів у спрощеній, доступній формі. У будівництві це особливо актуально, оскільки більшість конструкцій має багаторівневу структуру, яку складно уявити лише за кресленнями або схемами. Наприклад, розуміння роботи фундаментів, армування залізобетонних конструкцій чи взаємодії різних елементів будівлі значно полегшується при використанні фізичного макету.

Важливо підкреслити, що макет виконує не лише ілюстративну функцію, а й дослідницьку. Студенти можуть аналізувати конструкцію, моделювати різні ситуації, виявляти помилки та пропонувати власні рішення. Такий підхід відповідає сучасним педагогічним моделям, де навчання розглядається як процес дослідження та проєктування, що включає етапи аналізу, підготовки, виконання та рефлексії.

Метою даної роботи є створення навчального макету, який забезпечить:

- підвищення рівня засвоєння теоретичних знань;
- розвиток практичних навичок студентів;
- формування просторового мислення;
- підготовку до реальних умов професійної діяльності.

Досягнення цієї мети передбачає вирішення ряду завдань, серед яких: аналіз існуючих навчальних моделей, визначення оптимальної конструкції макету, вибір матеріалів, розробка технології виготовлення та оцінка ефективності його використання у навчальному процесі.

Для кращого розуміння значення макетів у навчанні доцільно розглянути приклади з інших галузей. У медицині широко використовуються анатомічні моделі, які дозволяють студентам вивчати будову людського тіла без необхідності проведення складних та дорогих досліджень. У фізиці застосовуються демонстраційні установки та моделі, які ілюструють закони механіки, електрики та оптики. Дослідження показують, що використання навчальних фізичних моделей сприяє формуванню базових компетентностей та покращує розуміння складних явищ.

У галузі інформаційних технологій аналогом фізичних макетів є комп'ютерне моделювання, яке дозволяє відтворювати складні процеси у віртуальному середовищі. Використання таких моделей підвищує мотивацію студентів, сприяє розвитку аналітичного мислення та дозволяє індивідуалізувати навчальний процес. Подібні принципи можуть бути застосовані і в будівництві, де фізичні макети доповнюють цифрові моделі, створюючи комплексне освітнє середовище.

Також варто зазначити, що в сучасній освіті все більше уваги приділяється проєктній діяльності. Вона передбачає активну участь студентів у створенні власних навчальних продуктів, що значно підвищує рівень їхньої зацікавленості та відповідальності за результат. Макет у цьому контексті може виступати як результат проєктної роботи, що поєднує знання з різних дисциплін – будівельної механіки, матеріалознавства, архітектури та технології будівництва.

Таким чином, ідея створення макету для студентів-будівельників базується на необхідності вдосконалення освітнього процесу шляхом впровадження практично орієнтованих методів навчання. Макет виступає ефективним інструментом, який дозволяє поєднати теорію і практику, забезпечити наочність навчання та сформувати у студентів професійні компетентності, необхідні для їхньої майбутньої діяльності.

1.3 Планування та реалізація макету

Планування та реалізація навчального макету є ключовим етапом у створенні ефективного навчального інструменту для студентів будівельних спеціальностей. Даний процес базується на попередньо визначеній ідеї та меті роботи і передбачає поетапне формування концепції, її деталізацію та практичне втілення з урахуванням освітніх і інженерних вимог.

На початковому етапі планування формується загальна концепція макету, яка визначає його функціональне призначення, масштаб, рівень деталізації та перелік конструктивних елементів, що підлягають відтворенню. Концепція повинна відповідати навчальним цілям, зокрема забезпечувати наочне представлення основних будівельних процесів, конструкцій та вузлів. Важливим аспектом є орієнтація на практичне застосування макету у навчальному процесі, що передбачає його використання під час вивчення профільних дисциплін.

Подальше планування передбачає аналіз навчальних дисциплін, які вивчаються студентами протягом бакалаврату, з метою визначення тих

елементів будівельної галузі, які доцільно відобразити у макеті. Такий підхід дозволяє забезпечити міждисциплінарний зв'язок та підвищити ефективність засвоєння матеріалу. Відбір елементів здійснюється з урахуванням їх значущості, складності та можливості візуалізації.

Окрему увагу приділено вивченню архітектурних рішень, зокрема фасадів та фасадних систем, що дозволяє сформувати естетично обґрунтований і конструктивно правильний зовнішній вигляд макету. Це включає аналіз сучасних матеріалів, технологій оздоблення та композиційних принципів формування фасадів. У результаті цього етапу визначається зовнішній вигляд об'єкта, який поєднує навчальну функцію з візуальною привабливістю.

Для якісної реалізації задуму також важливим є розвиток навичок графічного представлення, зокрема скетчингу. Це дозволяє виконувати ескізні проробки макету, швидко оцінювати різні варіанти рішень і обирати найбільш доцільні з них. Ескізування виступає проміжною ланкою між ідеєю та її матеріалізацією, забезпечуючи більш точне опрацювання деталей.

Безпосередня реалізація макету здійснюється відповідно до розробленого плану та включає підбір матеріалів, виготовлення окремих елементів і їх подальше компонування в єдину систему. При цьому враховуються вимоги до точності, міцності та наочності конструкції. Важливо забезпечити відповідність макету реальним будівельним принципам, що підвищує його навчальну цінність.

1.3.1 Початковий концепт

Початковий концепт макету передбачає створення просторової моделі будівлі навчального призначення, яка поєднує архітектурну виразність із демонстрацією конструктивних рішень. В основу ідеї покладено П-подібну різноповерхову офісну будівлю, виконану в стилізації під замкову архітектуру, що дозволяє поєднати естетичну привабливість із функціональністю навчального макету (рис. 1.1).

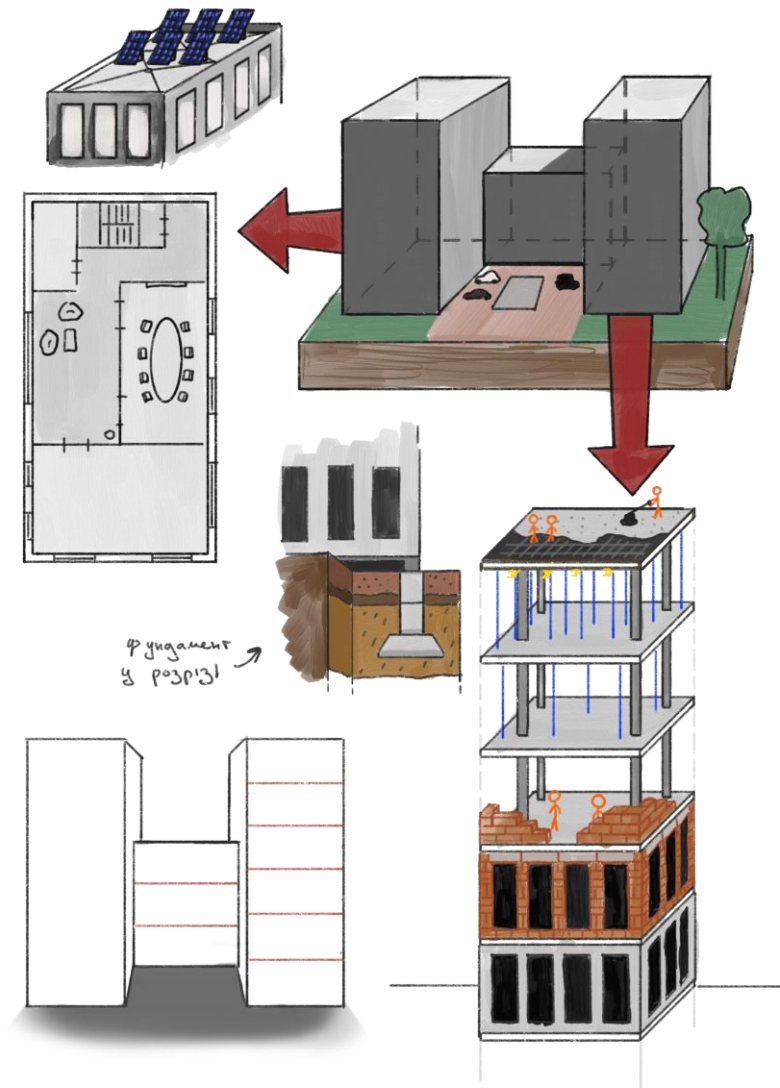


Рисунок 1.1 – Перший концепт макету

Об'ємно-планувальне рішення будівлі передбачає наявність трьох основних частин. Два бокові корпуси є п'ятиповерховими та запроектовані з використанням залізобетонного монолітного каркасу. Для них прийнято фундаменти глибокого закладання пальового типу, що відповідає сучасним практикам будівництва багатоповерхових будівель. Перпендикулярна до них частина формує третю сторону П-подібної композиції та має три поверхи. Вона виконана з цегляним каркасом і базується на фундаменті мілкового закладання стрічкового типу. Такий підхід дозволяє продемонструвати різні конструктивні системи в межах одного макету.

Важливою особливістю концепту є умовний поділ будівлі на дві функціональні частини: архітектурну та конструктивну. Архітектурна частина

представлена як завершений об'єкт, який умовно введений в експлуатацію. У ній відтворено повний комплекс архітектурних рішень, включаючи фасади, сходові клітки, ліфтові вузли, інженерні комунікації, а також елементи об'ємно-просторової композиції, такі як балкони, лоджії, еркери. Крім того, детально опрацьовано покрівлю, систему водовідведення з урахуванням ухилів, а також внутрішнє планування та елементи інтер'єру. Це забезпечує цілісне уявлення про завершений будівельний об'єкт.



Рисунок 1.2 – Ідея візуалізації конструктивної частини [10]

Конструктивна частина макету, на відміну від архітектурної, відображає процес будівництва і перебуває в умовно «замороженому» стані. Такий підхід дозволяє наочно продемонструвати послідовність виконання будівельних робіт. Кожен поверх цієї частини репрезентує окремий етап зведення будівлі. Зокрема, на верхньому рівні показано процес улаштування монолітної плити перекриття, тоді як нижчі поверхи ілюструють етапи зведення стін, утеплення, оздоблювальних робіт (зокрема шпаклювання) та інших технологічних операцій (рис. 1.2).

Додатково в основі макету передбачено виконання розрізів, які дозволяють відобразити структуру ґрунтових шарів і принципи влаштування

фундаментів різних типів. Це дає змогу наочно продемонструвати взаємодію будівлі з основою та порівняти особливості пальових і стрічкових фундаментів.

1.3.2 Вивчення фасадів та фасадних систем

У процесі розробки архітектурної частини макету було приділено окрему увагу вивченню сучасних фасадних рішень і технологій. З цією метою було опрацьовано онлайн-курс на платформі edX під назвою *Principles, Materials and Technologies of Façades* [7], який охоплює основні принципи формування фасадів будівель з урахуванням як естетичних, так і технічних вимог.

Курс дає системне розуміння ролі фасаду як багатофункціональної оболонки будівлі, що виконує не лише декоративну, але й захисну, теплоізоляційну та інженерну функції. Особлива увага приділяється принципам проєктування фасадів залежно від кліматичних умов, орієнтації будівлі та функціонального призначення. Це дозволило сформуванню більш обґрунтований підхід до вибору зовнішнього вигляду макету, з урахуванням реальних інженерних вимог.

Окремий блок курсу присвячений матеріалам, які застосовуються у фасадних системах. Розглядаються як традиційні матеріали (цегла, бетон, штукатурка), так і сучасні рішення – скляні фасади, вентильовані системи, композитні панелі. Отримані знання були використані при формуванні зовнішнього вигляду архітектурної частини макету, де поєднано класичну стилізацію з елементами сучасних конструктивних підходів.

Також у курсі значна увага приділяється технологіям монтажу фасадів, вузлам кріплення та деталям, які зазвичай не помітні на перший погляд, але мають критичне значення для довговічності та ефективності будівлі. Це дозволило при створенні макету більш точно відобразити окремі конструктивні елементи фасаду, а також передбачити можливість демонстрації їх будови у вигляді фрагментів або розрізів.

1.3.3 Набуття навичок скетчингу

У процесі розробки макету значна увага була приділена розвитку навичок скетчингу як інструменту швидкого візуального мислення та попереднього проєктування. Для цього використовувалась програма Procreate, яка дозволяє створювати цифрові ескізи з високим рівнем деталізації та гнучкості редагування. Робота в цифровому середовищі дала можливість оперативно опрацьовувати різні варіанти об'ємно-просторових рішень та експериментувати з формою будівлі. Практика відбувалась на основі відео уроків на Youtube каналі Svets Pro Sketch [8].

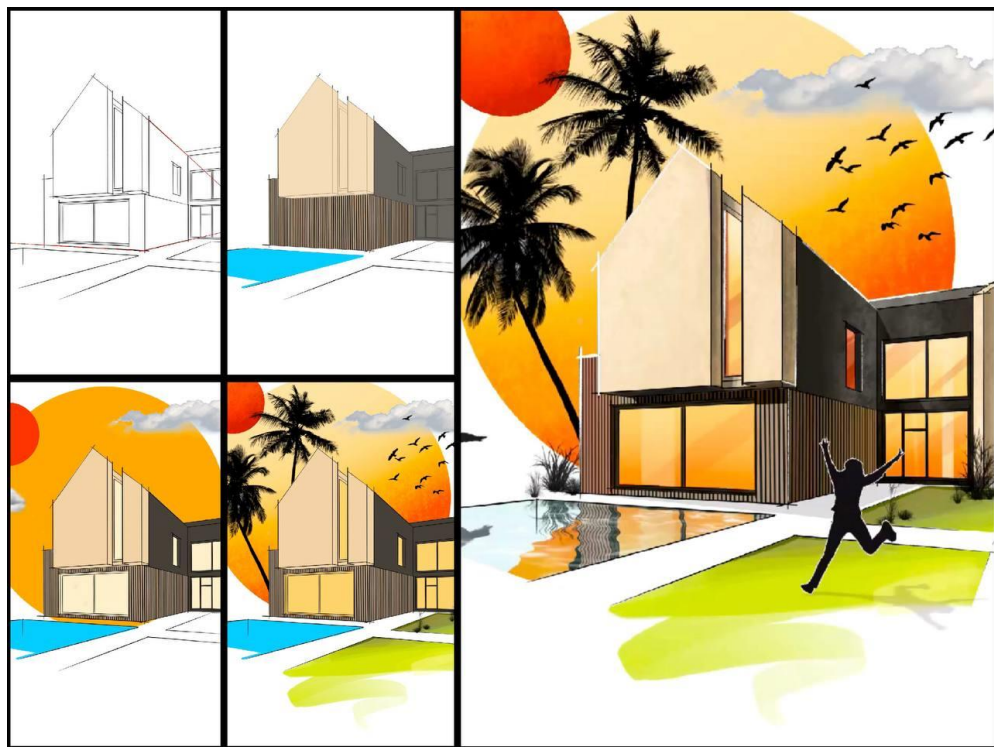


Рисунок 1.4 – Малюнок «Дім» (час виконання 01:08:13)

У ході виконання роботи було створено ряд ескізів, що відображають загальний вигляд будівлі, окремі фасадні рішення, а також конструктивні елементи. Частина цих напрацювань буде представлена у роботі як приклади, що ілюструють процес переходу від початкової ідеї до сформованого концепту. Використання скетчингу дозволило не лише візуалізувати задум, але й виявити недоліки на ранніх етапах проєктування.



Рисунок 1.5 – Малюнок «Генплан» (час виконання 00:47:21)

Скетчинг також відіграє важливу роль у формуванні просторового мислення, що є необхідним для майбутнього інженера-будівельника. Завдяки швидкому ескізуванню можна ефективно передавати ідеї, пояснювати конструктивні рішення та комунікувати з іншими учасниками проєкту без потреби у складних кресленнях на початкових стадіях.

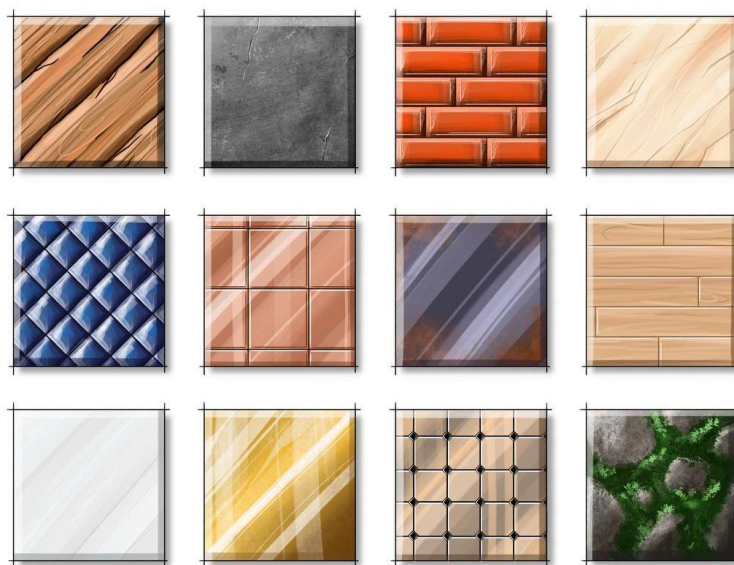


Рисунок 1.6 – Малюнок «Текстури» (час виконання 02:12:04)

Отримані навички можуть застосовуватись у різних сферах професійної діяльності. Зокрема, у даній роботі використовувався при розробці архітектурних концепцій, створенні ескізних пропозицій, а також підготовці презентаційних матеріалів.

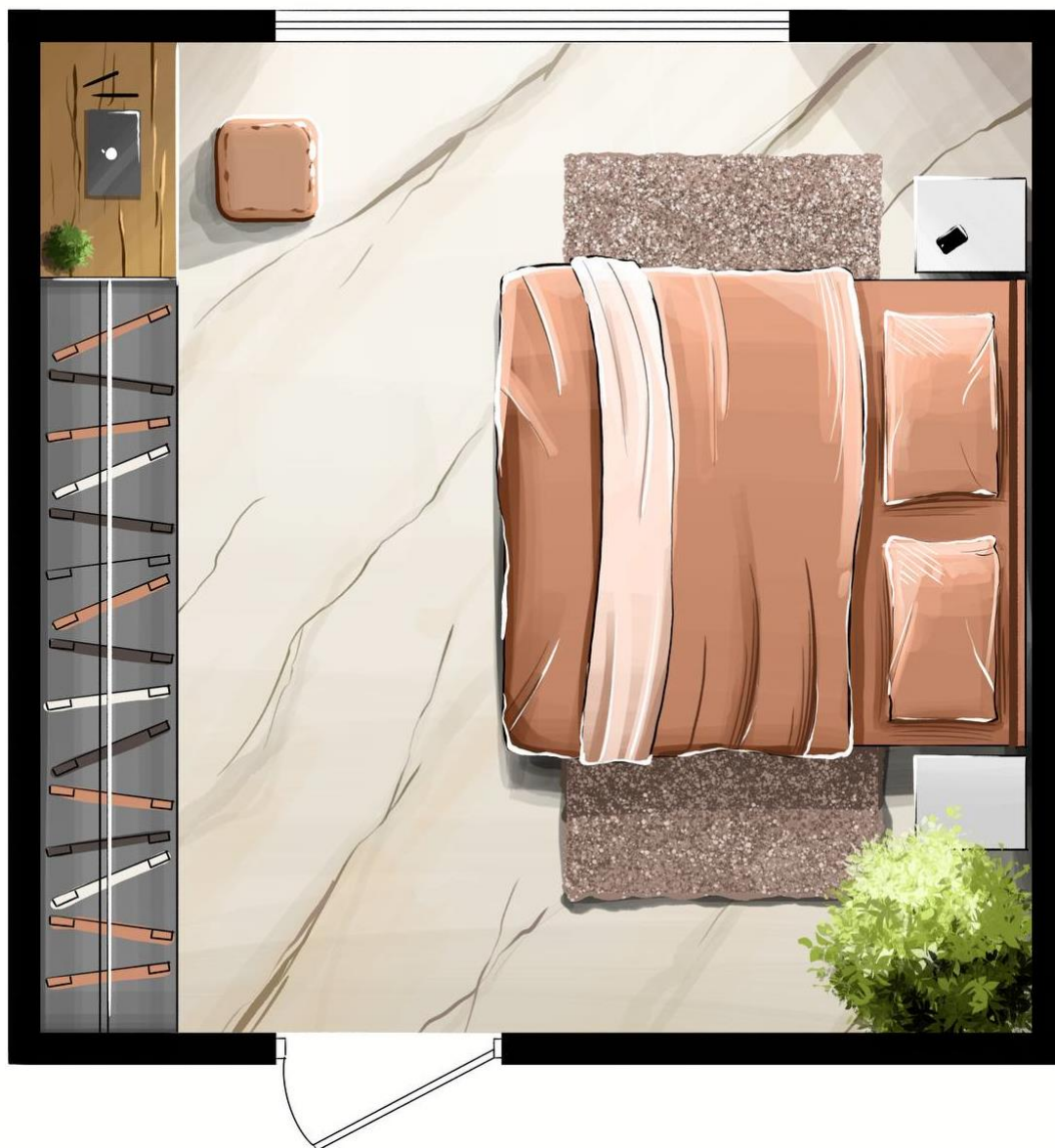


Рисунок 1.7 – Малюнок «Кімната» (час виконання 01:48:18)

1.4 Висновки до розділу 1

У першому розділі було сформовано загальну ідею та обґрунтовано доцільність створення навчального макету як ефективного інструменту для підготовки студентів будівельних спеціальностей. Визначено основну мету роботи, яка полягає у створенні наочного, інформативного та функціонального макету, що поєднує архітектурні та конструктивні аспекти будівлі і дозволяє відобразити як кінцевий результат, так і процес її зведення.

У процесі розробки було детально опрацьовано концепцію макету, яка базується на П-подібній різноповерховій будівлі зі змішаними конструктивними схемами. Такий підхід дозволив інтегрувати в одному об'єкті різні типи каркасів і фундаментів, а також реалізувати поділ на архітектурну (завершену) та конструктивну (у стадії будівництва) частини. Це забезпечує комплексне сприйняття як зовнішнього вигляду будівлі, так і технології її зведення.

Аналіз навчальних дисциплін показав, що макет може виступати універсальним засобом візуалізації більшості базових предметів будівельного профілю. У ньому відображено елементи, пов'язані з технологією будівництва, конструкціями, інженерними мережами, геологією, фундаментами, архітектурою та організацією будівництва. Це дозволяє використовувати макет не лише як демонстраційний об'єкт, але і як інтегрований навчальний інструмент.

Додатково було проведено вивчення сучасних фасадних систем, що сприяло формуванню обґрунтованого архітектурного рішення, а також набуття навичок скетчингу, які забезпечили ефективне опрацювання ідей на початкових етапах проектування. Застосування цифрових інструментів дозволило покращити якість візуалізації та пришвидшити процес розробки.

РОЗДІЛ 2

АРХІТЕКТУРНІ РІШЕННЯ МАКЕТУ

2.1 Характеристика будівлі компанії «Білий замок»

Будівля компанії «Білий замок», розташована у місті Тернопіль, є об'єктом комерційного призначення, що використовується для здійснення діяльності у сфері будівництва та експлуатації нерухомості. Згідно з відкритими даними, компанія функціонує як товариство з обмеженою відповідальністю та здійснює діяльність, пов'язану з наданням в оренду й обслуговуванням власного або орендованого майна.

Будівля розміщена за адресою на вулиці С. Будного, що належить до територій з активною міською забудовою та розвинуеною інфраструктурою. Локація характеризується значним транспортним і пішохідним потоком, що робить її зручною для розміщення офісних та виробничих приміщень.

Функціонально об'єкт пов'язаний із будівельною галуззю: серед напрямів діяльності компанії є виготовлення будівельних металевих конструкцій, дерев'яних елементів, а також виконання спеціалізованих будівельних робіт. Це свідчить про те, що будівля може включати як адміністративні, так і виробничі або складські приміщення.

У містобудівному контексті будівля «Білий замок» виступає локальним орієнтиром району, що додатково підкреслює її значення в структурі міської забудови.

2.1.1 Коротка характеристика району та будівельного майданчика

Будівля компанії «Білий замок» розташована в межах міста Тернопіль, у сформованій зоні міської забудови з розвинуеною інженерною та транспортною інфраструктурою. Район характеризується змішаним функціональним використанням територій, де поєднуються адміністративні, виробничі та

складські об'єкти. Наявність під'їзних шляхів із твердим покриттям забезпечує зручний доступ до будівлі як легкового, так і вантажного транспорту.

Територія будівельного майданчика є відносно впорядкованою, з частково облаштованим благоустроєм. Рельєф ділянки загалом спокійний, з незначними перепадами висот, що сприятливо впливає на умови будівництва та експлуатації об'єкта. Інженерні мережі району представлені централізованими системами водопостачання, водовідведення, електропостачання та зв'язку, що є типовим для міських територій подібного функціонального призначення.

Оточення будівлі включає як промислові та комерційні споруди, так і об'єкти інфраструктури, що формує достатньо щільне міське середовище. Санітарно-гігієнічні умови відповідають нормам для подібних територій, хоча наявність транспортного руху може спричиняти підвищений рівень шуму та пилу.

З метою детального вивчення будівельного майданчика були проведені власні натурні дослідження. Зокрема, виконано геодезичні вимірювання із застосуванням нівеліра навколо основної будівлі, що дозволило визначити характер рельєфу та перепади висот ділянки. Результати вимірювань були зафіксовані у вигляді швидкого креслення (рис. 2.1), виконаного безпосередньо на об'єкті, яке відображає положення точок зйомки та їх відносні висотні відмітки. Максимальний перепад висот між двома найвіддаленішими точками приблизно дорівнює 5 м.

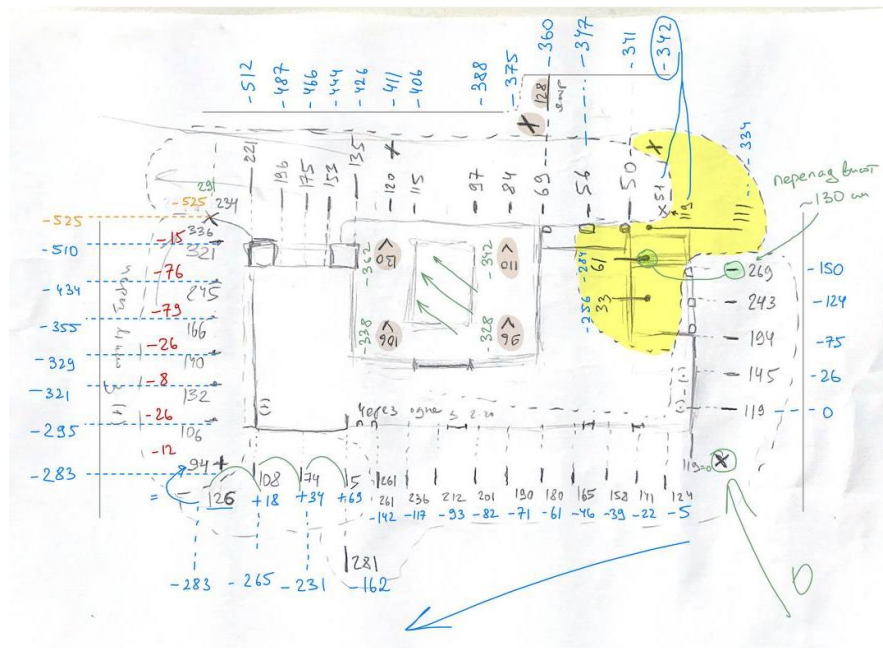


Рисунок 2.1 – Ескіз геодезичного дослідження будівельного майданчика

Крім того, було здійснено приблизне визначення габаритних розмірів фасаду будівлі за допомогою лазерної лінійки (рис. 2.2). Отримані дані стали основою для побудови відповідних креслень. Частина креслень була виконана безпосередньо під час обмірів на будівельному майданчику, а інша частина – з використанням цифрових інструментів на основі картографічних матеріалів сервісу Тороexport [10], що дозволило уточнити геометричні параметри будівлі та її розміщення на ділянці (рис. 2.3).

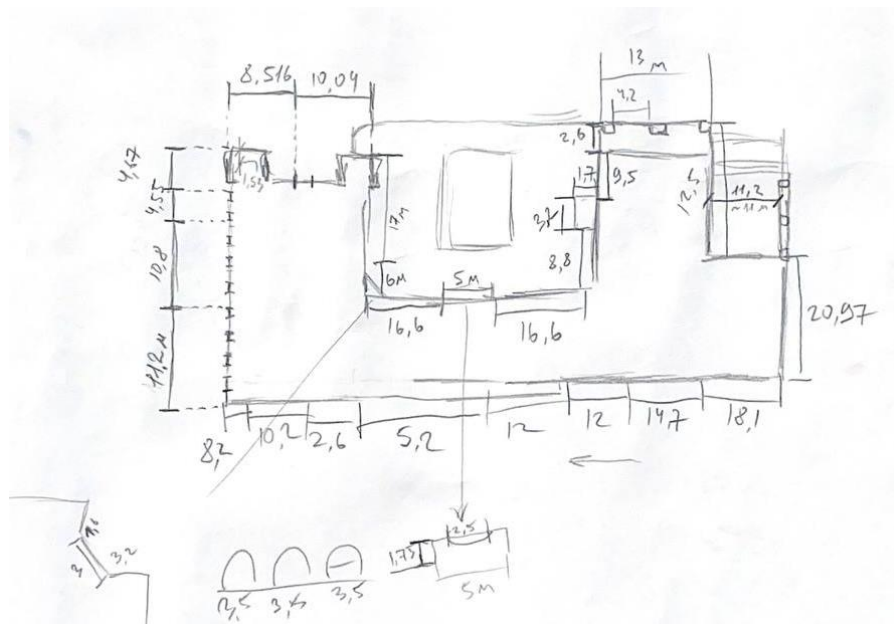


Рисунок 2.2 – Ескізний план розмірів будівлі

2.1.2 Кліматичні умови

Кліматичні умови є одним із визначальних факторів при проектуванні будівель і споруд, оскільки вони впливають на вибір конструктивних рішень, матеріалів, типів огорожувальних конструкцій, а також на забезпечення енергоефективності та довговічності об'єкта. Основними кліматичними параметрами, що враховуються при проектуванні, є температура повітря, вологість, кількість опадів, швидкість і напрямок вітру, а також глибина промерзання ґрунту.

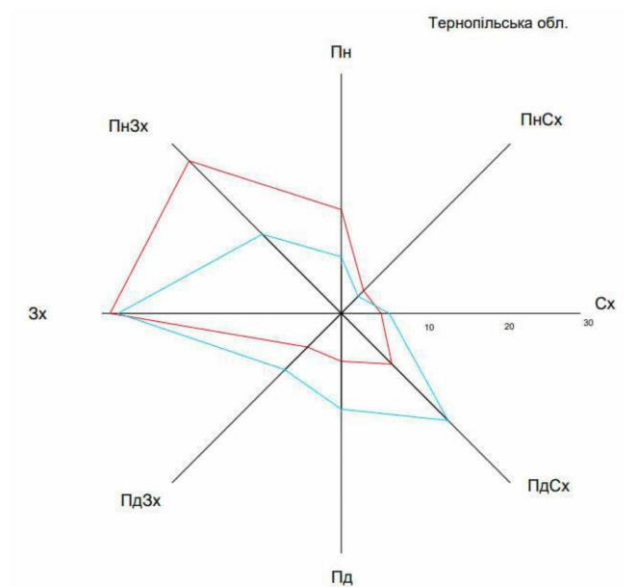


Рисунок 2.5 – Роза вітрів Тернопільської області

Територія України загалом характеризується помірно-континентальним кліматом із чітко вираженою сезонністю: теплим літом та відносно холодною зимою. Для таких умов характерні значні річні амплітуди температур, нерівномірний розподіл опадів протягом року та періодичні коливання погодних умов.

Місто Тернопіль розташоване у західній частині України та належить до зони помірно-континентального клімату з достатнім зволоженням. Клімат району характеризується м'якою зимою та помірно теплим літом. Середня температура найхолоднішого місяця (січня) становить приблизно $-3...-5^{\circ}\text{C}$,

тоді як середня температура найтеплішого місяця (липня) коливається в межах +18...+20 °С.

Річна кількість опадів у Тернополі становить у середньому 600–700 мм, причому більша їх частина припадає на теплий період року. Сніговий покрив у зимовий період є нестійким, але може зберігатися протягом кількох місяців. Вітровий режим характеризується переважанням західних та північно-західних вітрів із помірною швидкістю.

Важливим фактором для будівництва є глибина сезонного промерзання ґрунту, яка для даного регіону зазвичай становить близько 0,8–1,0 м. Цей показник враховується при проєктуванні фундаментів, зокрема при визначенні глибини їх закладання.

Таким чином, кліматичні умови району будівництва є відносно сприятливими для зведення будівель різного призначення, проте потребують врахування теплотехнічних вимог, захисту конструкцій від вологи та впливу низьких температур у зимовий період.

2.2 Архітектура макету

Архітектура макету є ключовим елементом кваліфікаційної роботи, оскільки саме вона забезпечує наочне відображення прийнятих архітектурних, планувальних та конструктивних рішень об'єкта. У контексті даної роботи макет виконує не лише презентаційну, але й навчально-дослідну функцію, дозволяючи візуалізувати процеси проєктування та будівництва, а також взаємозв'язок між окремими елементами будівлі.

Основне призначення архітектури макету полягає у:

- демонстрації об'ємно-просторового рішення будівлі;
- відображенні фасадної композиції та стилістики об'єкта;
- візуалізації функціонального зонування та внутрішнього планування;
- показі конструктивної схеми будівлі та етапів її зведення;
- створенні навчального інструменту для студентів будівельних спеціальностей.

Відповідно до вимог до архітектурно-будівельної частини, у макеті повинні бути відображені основні архітектурно-планувальні рішення, включаючи функціональний процес, планувальну структуру, розміри приміщень та їх взаємозв'язок. Це означає, що макет має не просто копіювати зовнішній вигляд будівлі, а відображати логіку її проєктування.

Архітектура макету повинна включати такі складові:

- **Фасадні рішення** – форма, пропорції, декоративні елементи, віконні та дверні прорізи, стиль (у даному випадку стилізація під замкову архітектуру);
- **Об'ємно-просторову композицію** – конфігурацію будівлі (П-подібна форма), різну поверховість окремих частин, взаємне розташування корпусів;
- **Внутрішнє планування** – умовне або часткове відображення приміщень, сходових кліток, комунікацій;
- **Конструктивні елементи** – фундаменти, каркас, перекриття, що особливо важливо для навчального макету;
- **Розрізи та демонстраційні зони** – відкриті частини макету, які дозволяють побачити внутрішню будову, шари ґрунту, типи фундаментів;
- **Опорядження та матеріали** – імітація реальних будівельних матеріалів та текстур;
- **Елементи благоустрою (за потреби)** – прилегла територія, доріжки, озеленення.

Особливістю даного макету є поєднання двох підходів: завершеної архітектурної частини та відкритої конструктивної частини, що демонструє процес будівництва. Такий підхід підвищує навчальну цінність макету, оскільки дозволяє одночасно аналізувати як кінцевий вигляд будівлі, так і технологію її зведення.

2.2.1 Дослідження архітектури будівлі «Білий замок»

Досліджуючи фасадну систему на території об'єкту виянилось, що фасад основної будівлі виконаний у стилізації під замкову архітектуру з елементами неоготики та історизму. Даний тип фасаду не є автентичним історичним, а являє собою сучасну інтерпретацію середньовічних оборонних споруд із використанням актуальних будівельних технологій та матеріалів (рис. 2.6).



Рисунок 2.6 – Фото фасадів будівлі

Фасад будівлі характеризується складною об'ємно-просторовою композицією, яка формується за рахунок поєднання різноповерхових частин, виступаючих баштових елементів та чергування горизонтальних і вертикальних членувань. Композиція фасаду є частково асиметричною, однак зберігає візуальну рівновагу завдяки повторенню окремих архітектурних елементів та їх ритмічному розташуванню.

Згідно деяких креслень плану та фасаду (рис.2.7, 2.8) з проектною документації, можна побачити, що до основних стилістичних ознак фасаду належать зубчасті завершення стін (мерлони), характерні для замкової архітектури, масивні башти з вузькими витягнутими віконними прорізами, а також використання аркових форм. Архітектурні елементи виконують переважно декоративну функцію та формують виразний силует будівлі, не несучи при цьому оборонного або конструктивного навантаження.

Фасад вирішений із застосуванням різних оздоблювальних матеріалів, що дозволяє виділити окремі частини будівлі. Як показано на рисунку 2.6, одна

частина будівлі має оштукатурену поверхню світлого кольору з використанням декоративних елементів, що імітують кам'яну кладку. Інша частина виконана з відкритої цегляної кладки, що підкреслює конструктивну основу та створює контраст із оздобленими ділянками фасаду. Такий підхід дозволяє одночасно відобразити як завершений архітектурний вигляд, так і стадію будівництва.

У структурі фасаду чітко виділяються основні архітектурні елементи, серед яких:

- башти, що формують вертикальні акценти та визначають загальний силует будівлі;
- карнизи та горизонтальні пояски, які підкреслюють поверховість;
- аркові прорізи на нижніх рівнях, що створюють відкриті простори та зменшують візуальну масивність;
- віконні прорізи різної форми, розташовані відповідно до внутрішнього планування;
- декоративні виступи та уступи, що надають фасаду пластичності та глибини.

Незважаючи на виражену історичну стилізацію, будівля має сучасну конструктивну основу. Несучі елементи виконані у вигляді монолітного або цегляного каркасу, тоді як декоративні елементи фасаду є накладними або допоміжними конструкціями. Таким чином, фасад виконує переважно огорожувальну та естетичну функції, що відповідає сучасним вимогам проєктування.

Отже, фасад досліджуваної будівлі є прикладом еклектичного архітектурного рішення, в якому поєднано елементи замкової архітектури та сучасні будівельні технології. Його композиційна складність, наявність різноманітних архітектурних деталей і поєднання матеріалів роблять його доцільним для подальшого відтворення у вигляді навчального макету.

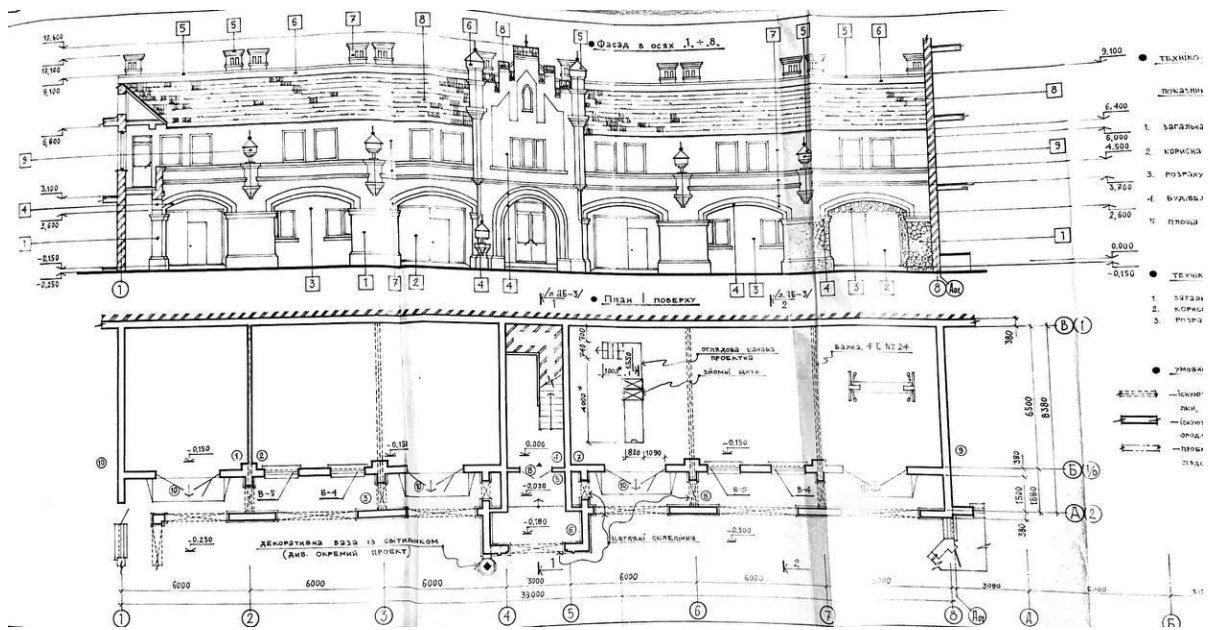


Рисунок 2.7 – Креслення фасаду та плану А-1 з проектної документації об'єкту

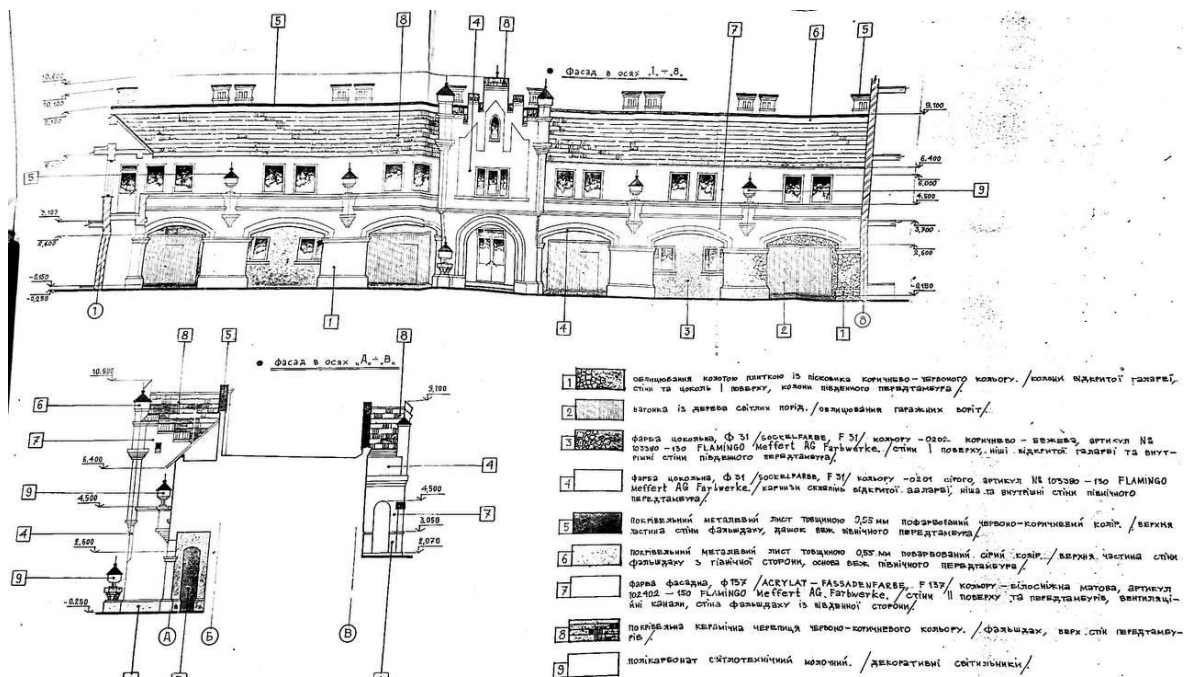


Рисунок 2.8 – Креслення фасаду А-2 з проектної документації об'єкту

2.2.2 Розробка фасаду макету

Розробка фасаду макету виконувалась із використанням спеціалізованого програмного забезпечення *Forge* для цифрового моделювання. На початковому етапі було сформовано загальну об'ємно-просторову модель будівлі відповідно до прийнятого концепту та результатів аналізу фасаду реального об'єкта.

У процесі роботи поетапно опрацьовувались основні архітектурні елементи фасаду, зокрема башти, віконні прорізи, карнизи та декоративні деталі. Особлива увага приділялась відтворенню пропорцій, ритміки фасаду та характерних стилістичних ознак замкової архітектури.

На проміжних етапах виконувалась візуалізація моделі (рис. 2.9, 2.10, 2.11, 2.12, 2.13), що дозволило оцінити правильність прийнятих рішень та внести необхідні корективи. Отримані зображення відображають послідовність формування фасаду – від базової геометрії до деталізованої архітектурної моделі.

Завершальний етап розробки передбачав уточнення дрібних деталей та підготовку моделі до подальшого виготовлення фізичного макету.



Рисунок 2.9 – Прогрес моделювання фасаду макету 1



Рисунок 2.10 – Прогрес моделювання фасаду макету 2



Рисунок 2.11 – Прогрес моделювання фасаду макету 3



Рисунок 2.12 – Прогрес моделювання фасаду макету 4



Рисунок 2.13 – Прогрес моделювання фасаду макету 5

2.2.3 Конструктивні рішення макету

Конструктивні рішення макету прийняті з урахуванням необхідності максимально повної візуалізації основних типів будівельних систем, що застосовуються у сучасному будівництві. З цією метою макет умовно поділено на дві конструктивно відмінні частини, об'єднані в єдину П-подібну об'ємно-просторову структуру будівлі (рис. 2.14).



Рисунок 2.14 – Скетч макету

Бічні корпуси, які формують вертикальні гілки П-подібної конфігурації, запроєктовані за каркасною схемою із застосуванням монолітного залізобетону (рис. 2.15). Дані частини будівлі мають п'ятиповерхову структуру, що обумовлює необхідність використання жорсткого та просторово стійкого несучого каркасу. Основними несучими елементами є колони, ригелі та монолітні плити перекриття, які забезпечують передачу навантажень на основу. В якості фундаментів для цих корпусів прийнято пальові фундаменти глибокого закладання, що дозволяє ефективно передавати навантаження на

більш міцні шари ґрунту та забезпечує надійність конструкції при значних навантаженнях.

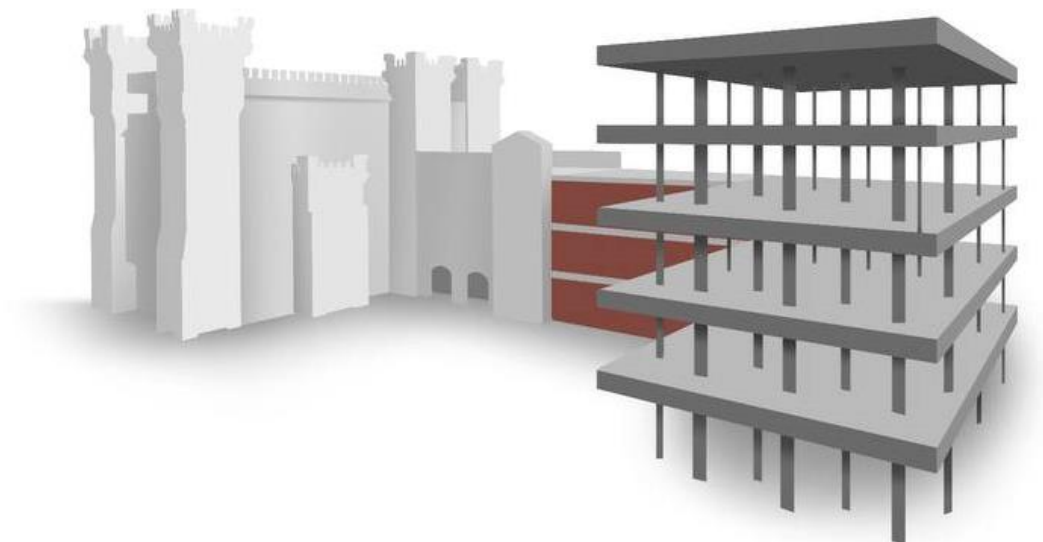


Рисунок 2.15 – Конструктивні рішення корпусів

Сполучаючий корпус, що формує горизонтальну частину П-подібної будівлі, запроєктований за безкаркасною (стіновою) конструктивною схемою (рис. 2.15). Несучу функцію в даному випадку виконують цегляні стіни, на які спираються збірні плити перекриття. Будівля має три поверхи, що дозволяє ефективно застосовувати даний тип конструктивного рішення без необхідності у складних каркасних системах. В якості основи прийнято стрічковий фундамент мілкового закладання, який є доцільним для споруд із відносно невеликими навантаженнями та рівномірним розподілом маси по довжині несучих стін.

Окрім конструктивного поділу, макет також умовно розділено по вертикальній осі симетрії, що проходить через середину П-подібної форми, на архітектурну та конструктивну частини (рис. 2.16). Такий поділ дозволяє одночасно відобразити як завершений зовнішній вигляд будівлі, так і внутрішню логіку її зведення.

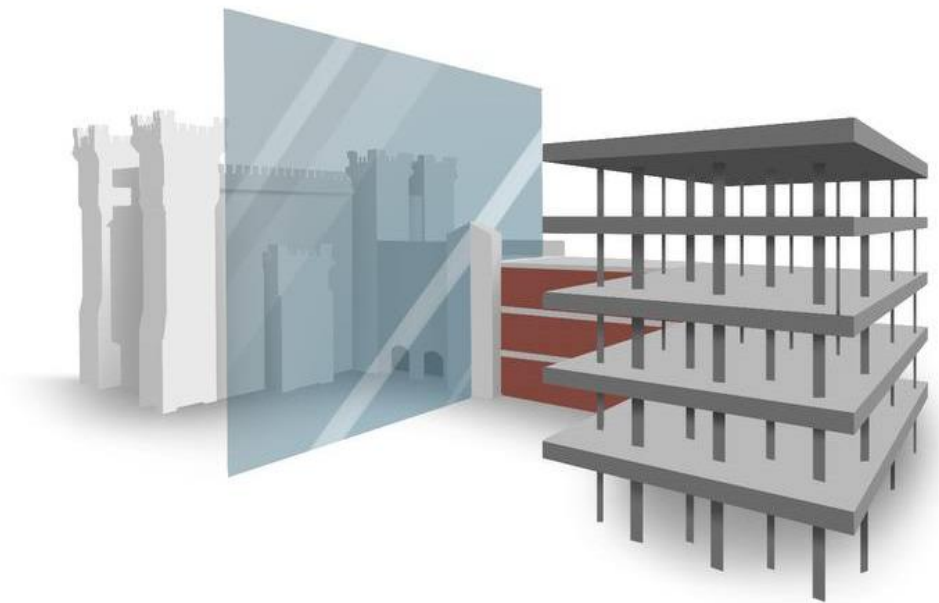


Рисунок 2.16 – Поділ макету на дві частини

Архітектурна частина макету представляє собою повністю завершену будівлю з виконаним фасадом, опорядженням та всіма характерними декоративними елементами. У ній відображено кінцевий вигляд об'єкта, включаючи фасадні рішення, покрівлю, віконні та дверні прорізи, а також інші елементи, що формують архітектурний образ споруди.

Конструктивна частина, навпаки, демонструє процес будівництва у вигляді поетапного виконання робіт. У цій частині макету окремі поверхи відображають різні стадії зведення будівлі, зокрема влаштування перекриттів, зведення стін, монтаж конструктивних елементів та інші технологічні процеси (рис 2.17). Додатково передбачено виконання розрізів у зоні фундаментів, що дозволяє наочно показати будову основи, типи фундаментів та інженерно-геологічні умови (рис. 2.18).

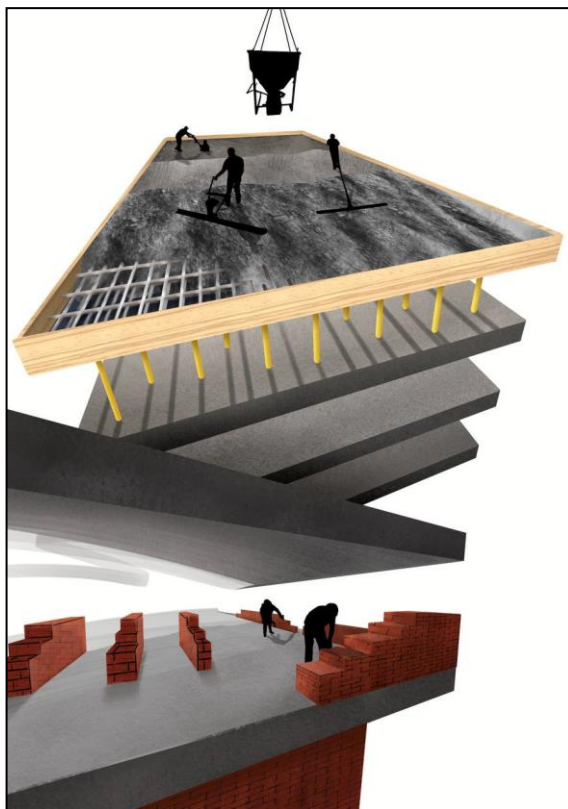


Рисунок 2.17 – Концепт поверхів у конструктивній частині макету

Прийняте поєднання двох різних конструктивних схем, а також поділ на архітектурну і конструктивну частини, забезпечує комплексне сприйняття об'єкта. Такий підхід дозволяє не лише проаналізувати зовнішній вигляд будівлі, але й зрозуміти принципи її конструктивного вирішення та послідовність виконання будівельних робіт.

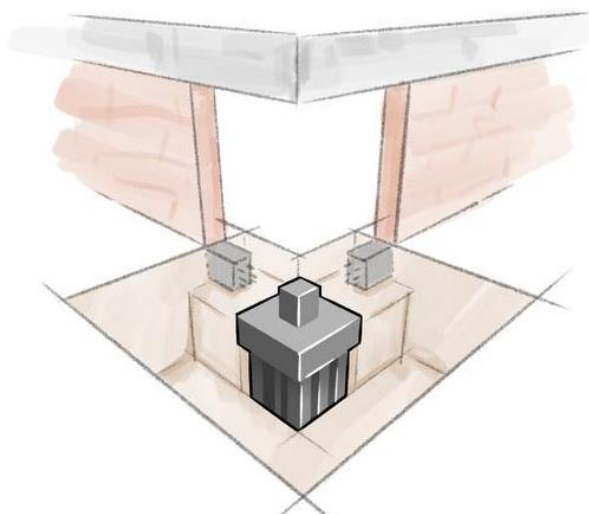


Рисунок 2.18 – Концепт розрізу фундаменту

Таким чином, конструктивні рішення макету мають не лише проєктне, але й виражене навчальне значення, оскільки забезпечують наочну демонстрацію різних типів будівельних конструкцій, способів їх реалізації та взаємозв'язку між архітектурними і конструктивними аспектами будівлі.

2.2.4 Інженерно-геологічні та гідрологічні умови ділянки

Інженерно-геологічні та гідрологічні умови є важливою складовою при проєктуванні будівель, оскільки визначають вибір типу фундаментів, глибину їх закладання та загальну надійність споруди. Для території міста Тернопіль характерні геологічні умови, сформовані відкладами четвертинного та третинного періодів.

У геологічній будові району переважають лесовидні суглинки, супіски, піски різної крупності, а також глинисті ґрунти. Такі ґрунти, як правило, мають достатню несучу здатність, однак окремі їх різновиди можуть проявляти просадкові властивості при зволоженні, що необхідно враховувати при проєктуванні основ і фундаментів.

Гідрологічні умови району характеризуються наявністю підземних вод, рівень яких може змінюватися залежно від сезону, кількості атмосферних опадів та особливостей рельєфу. Як правило, рівень ґрунтових вод у межах міста залягає на глибині від 2 до 6 м, проте на окремих ділянках можливі як більш глибокі, так і ближчі до поверхні водоносні горизонти. Вплив підземних вод необхідно враховувати при виборі конструкції фундаментів, а також при організації водовідведення та гідроізоляції.

Згідно з прийнятими в роботі умовними інженерно-геологічними даними, для досліджуваної ділянки прийнято таку будову ґрунтового розрізу:

- рослинний шар потужністю 0,8–1,0 м;
- пісок дрібнозернистий потужністю 5,5–5,8 м;
- супісок пиловатий потужністю 3,2–3,5 м;
- глина третинна (потужність умовно необмежена).

Рослинний шар є слабким і не може використовуватись як природна основа під фундаменти, тому при будівництві він підлягає зняттю. Дрібнозернисті піски, що залягають нижче, характеризуються відносно доброю водопроникністю та середньою несучою здатністю, що дозволяє використовувати їх як основу для фундаментів за умови забезпечення належного ущільнення.

Супіски пилюваті мають нижчі механічні характеристики порівняно з пісками, можуть бути чутливими до зволоження та втрачати міцність при насиченні водою. Найбільш надійним шаром у даному розрізі є третинні глини, які характеризуються високою щільністю та несучою здатністю, що робить їх придатними як надійну основу для передачі навантажень від споруди.

Для розрахунку геологічних характеристик ґрунту, потрібно виконати ряд розрахунків. Спочатку визначаємо число пластичності I_p .

Для супіску пилюватого:

$$I_p = (0,15 - 0,22) \cdot 100\% = 7\%$$

Для глини третинної:

$$I_p = (0,16 - 0,46) \cdot 100\% = 30\%$$

Визначаємо показник текучості I_L .

Для супіску пилюватого:

$$I_L = \frac{W - W_p}{W_L - W_p} = 0,571$$

Для глини третинної:

$$I_L = \frac{W - W_p}{W_L - W_p} = 0,26$$

Визначаємо коефіцієнт пористості $e = \frac{\gamma_s(1+W)}{\gamma} - 1$. Для піску дрібнозернистого $e=0,64$; для супіску пилюватого $e=0,847$; для глини третинної $e=0,69$.

Визначаємо ступінь вологості $S_r = \frac{W \cdot \rho_s}{e \cdot \rho_w} \cdot 100\%$.

Для піску дрібнозернистого:

$$\rho_s = \frac{\gamma_s}{g} = \frac{26,5}{9,81} = 2,701$$

$$S_r = \frac{0,18 \cdot 2,701}{0,64 \cdot 1} = 0,76$$

Для супіску пилюватого:

$$S_r = \frac{0,19 \cdot 2,721}{0,84 \cdot 1} = 0,615$$

Для глини третинної:

$$S_r = \frac{0,24 \cdot 2,793}{0,69 \cdot 1} = 0,97$$

Визначаємо питому вагу ґрунту насиченого водою $\gamma_{sub} = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{1 + e}$. Для піску дрібнозернистого $\gamma_{sub} = 10,17$; для супіску пилюватого $\gamma_{sub} = 9,18$; для глини третинної $\gamma_{sub} = 10,4$.

Визначаємо модуль деформації в природному стані E , МПа.

$$E = W \cdot d \cdot (1 - v) \cdot \frac{\Delta P}{\Delta S}$$

$$W = 0,8$$

$$S = \pi R^2; R = 0,3989 \text{ м}$$

$$v = 0,3; d = 0,797 \text{ м}$$

$$\Delta P = 400 - 200 = 200 \text{ кПа}$$

$$\Delta S = 0,03 - 0,0138 = 0,0162 \text{ м}$$

$$E = 0,8 \cdot 798 \cdot (1 - 0,3^2) \cdot \frac{0,1}{16,2} = 3,586 \text{ МПа}$$

Визначаємо питому вагу сухого ґрунту $\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + W}$, кН/м².

Для рослинного шару:

$$\gamma_d = \frac{16}{1 + 0,12} = 14,28$$

Для піску дрібнозернистого:

$$\gamma_d = \frac{19}{1 + 0,18} = 16,1$$

Для супіску пилюватого:

$$\gamma_d = \frac{17,2}{1 + 0,19} = 14,45$$

Для глини третинної:

$$\gamma_d = \frac{20}{1 + 0,24} = 16,13$$

Визначаємо питоме зчеплення C_n методом інтерполяції з додатку В [15].

$$y = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} (y_2 - y_1) + y_1$$

Для піску дрібнозернистого:

$$y = \frac{0,64 - 0,55}{0,65 - 0,55} (2 - 4) + 4 = 2,2$$

Для супіску пилюватого:

$$y = \frac{0,84 - 0,75}{0,85 - 0,75} (9 - 11) + 11 = 9,2$$

Для глини третинної:

$$y = \frac{0,65 - 0,69}{0,75 - 0,69} (50 - 57) + 57 = 54,2$$

Визначаємо кут внутрішнього тертя φ_n методом інтерполяції.

Для піску дрібнозернистого:

$$y = \frac{0,64 - 0,55}{0,65 - 0,55} (32 - 36) + 36 = 32,4$$

Для супіску пилюватого:

$$y = \frac{0,84 - 0,75}{0,85 - 0,75} (18 - 21) + 21 = 18,3$$

Для глини третинної:

$$y = \frac{0,65 - 0,69}{0,75 - 0,69}(17 - 18) + 18 = 17,6$$

Визначаємо модуль деформації в природному стані E методом інтерполяції.

Для піску дрібнозернистого:

$$y = \frac{0,64 - 0,55}{0,65 - 0,55}(28 - 38) + 38 = 29$$

Для глини третинної:

$$y = \frac{0,65 - 0,69}{0,75 - 0,69}(18 - 21) + 21 = 19,8$$

Визначаємо R_0 методом інтерполяції.

Для піску дрібнозернистого:

1. Визначили ступінь насичення водою:

$$S_r = \frac{0,18 \cdot 2,701}{0,64 \cdot 1} = 0,76$$

Отже пісок дрібнозернистий – середнього ступеня водонасичення.

2. Визначаємо ступінь щільності згідно таблиць Б18 [15] – пісок середньої щільності.
3. Визначаємо R_0 :

$$R_0 = 200 \text{ кПа}$$

Для супіску пилуватого визначаємо R_0 методом подвійної інтерполяції.

$$R_0 = 178,6 \text{ кПа.}$$

Для глини третинної визначаємо R_0 методом подвійної інтерполяції. $R_0 = 369,7 \text{ кПа.}$

Остаточні значення були винесені в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Властивості ґрунту

ІГЕ-1	ІГЕ-2	ІГЕ-3	ІГЕ-4	1	№ інженерно-геологічного елемента
Рослинний шар	Пісок дрібнозернистий	Супісок пилюватий	Глина третинна	2	Назва елемента
0,8-1,0	5,5-5,8	3,2-3,5	Не обмеж.	3	Потужність шару ґрунту, м
16	19	17,2	20	4	Питома вага ґрунту, γ_n , кН/м ³
-	26,5	26,7	27,4	5	Питома вага частинок, γ_s , кН/м ³
14,28	16,1	14,45	16,13	6	Питома вага сухого ґрунту, γ_d , кН/м ²
0,12	0,18	0,19	0,24	7	Природна вологість, w
-	-	0,22	0,46	8	Вологість на границі пластичності, w _p
-	-	0,15	0,16	9	Вологість на границі текучості, w _l
-	-	7	30	10	Число пластичності, I _p , %
-	-	0,571	0,26	11	Показник текучості, I _L
-	0,64	0,84	0,69	12	Коефіцієнт пористості, e
-	0,76	0,61	0,97	13	Ступінь вологості, S _r
-	10,17	9,18	10,4	14	Питома вага ґрунту насиченого водою, γ_{sub} , кН/м ³
-	32,4	18,3	17,6	15	Кут внутрішнього тертя, ϕ_n , град
-	2,2	9,2	54,2	16	Питоме зчеплення, C _n , кПа
-	29	3,568	19,8	17	Модуль деформації в природному стані, E, МПа
-	200	178,6	369,7	18	Умовний розрахунковий опір, R ₀ , кПа

2.2.5 Конструювання та розрахунок фундаментів

Інженерно-геологічні умови будівельного майданчика представлені чотирма інженерно геологічними елементами (ІГЕ):

ІГЕ 1 – Рослинний шар, потужністю 0,8 м, питома вага $\gamma = 16,1 \text{ кН/м}^3$;

ІГЕ 2 – Пісок дрібнозернистий, потужністю 5,5 м, питома вага $\gamma = 18,3 \text{ кН/м}^3$, модуль деформації $E = 27 \text{ МПа}$, кут внутрішнього тертя $\phi = 30^\circ$, питоме зчеплення $C = 2 \text{ кПа}$, коефіцієнт Пуассона $\nu = 0,28$;

ІГЕ 3 – Супісок пилюватий, потужністю 3,2 м, питома вага $\gamma = 18,5 \text{ кН/м}^3$, модуль деформації $E = 14 \text{ МПа}$, кут внутрішнього тертя $\phi = 22^\circ$, питоме зчеплення $C = 12 \text{ кПа}$, коефіцієнт Пуассона $\nu = 0,3$, показник текучості $I_L = 0,35$;

ІГЕ 4 – Глина третинна, потужність необмежена на глибину розвідувальної свердловини, питома вага $\gamma = 19,3 \text{ кН/м}^3$, модуль деформації $E = 22 \text{ МПа}$, кут внутрішнього тертя $\phi = 13^\circ$, питоме зчеплення $C = 35 \text{ кПа}$, коефіцієнт Пуассона $\nu = 0,35$, показник текучості $I_L = 0,23$.

Під п'ятиповерховою частиною будівлі виконані фундаменти глибокого закладання із залізобетонних забивних паль із стрічковим (під стіни) та стовпчиковим (під колони) монолітним ростверком. Під триповерховою (перехідною) частиною будівлі виконані фундаменти мілкового закладання із збірних залізобетонних блоків по збірній залізобетонній фундаментній подушці.

На фундаменти діють постійні та змінні навантаження. До постійних навантажень відноситься власна вага несучих (колон, стін, перекриття) та не несучих (заповнення між елементами каркасу) елементів, власна вага засипок, стяжок, ізоляцій та оздоблювальних шарів стін, підлоги та покрівлі. До змінних навантажень відноситься вага перегородок, вага обладнання, інженерних комунікацій з їх ізоляцією та заповненням, корисне навантаження від людей та складування, снігові та вітрові навантаження.

Розрахунок та моделювання фундаменту виконано в LIRA-FEM методом скінчених елементів (рис. 2.19, 2.20). В підсистемі ГРУНТ виконаний розрахунок

основи (рис. 2.21) під фундаментами мілкового закладання та пальового фундаменту (рис. 2.22), визначено осідання основи та її характеристики жорсткості [15].

fund zamok.13d

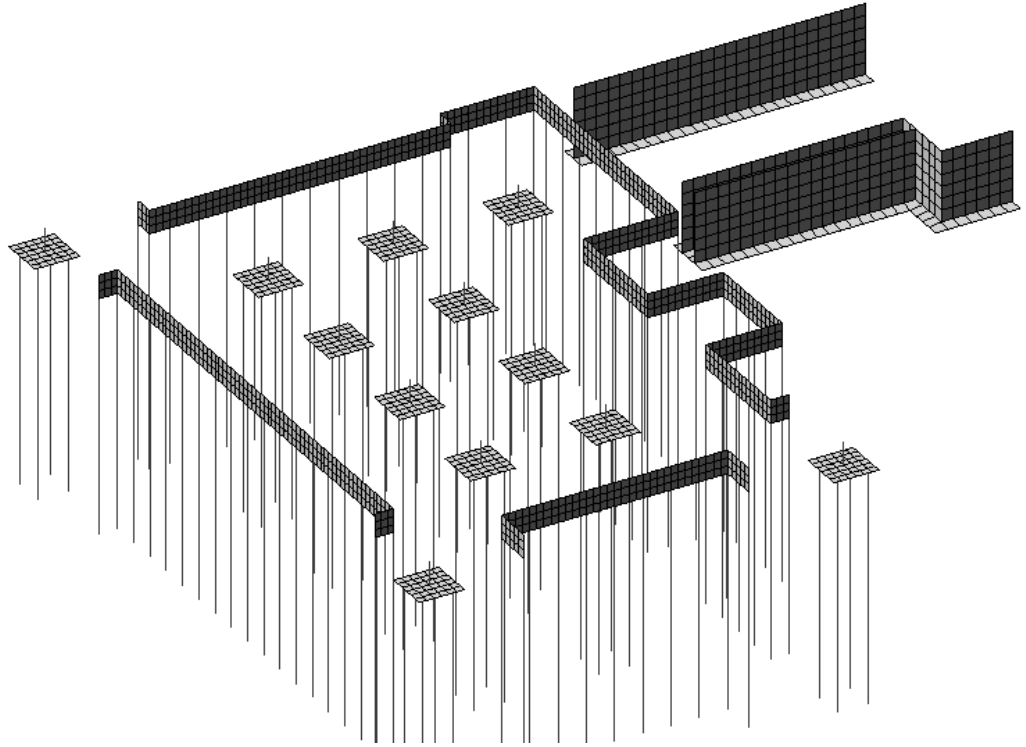


Рисунок 2.19 – Скінченно-елемента модель фундаментів частини споруди

fund zamok.13d

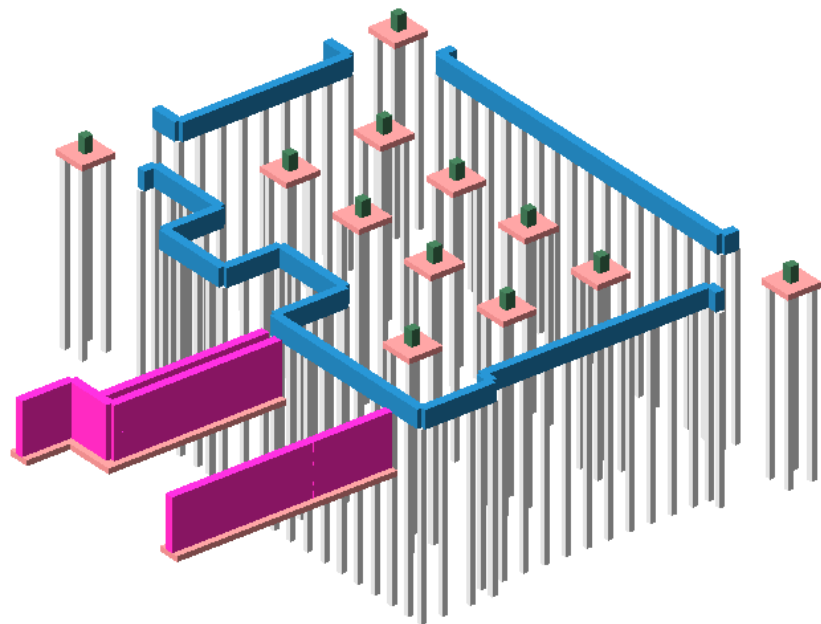


Рисунок 2.20 – 3D модель фундаментів частини споруди

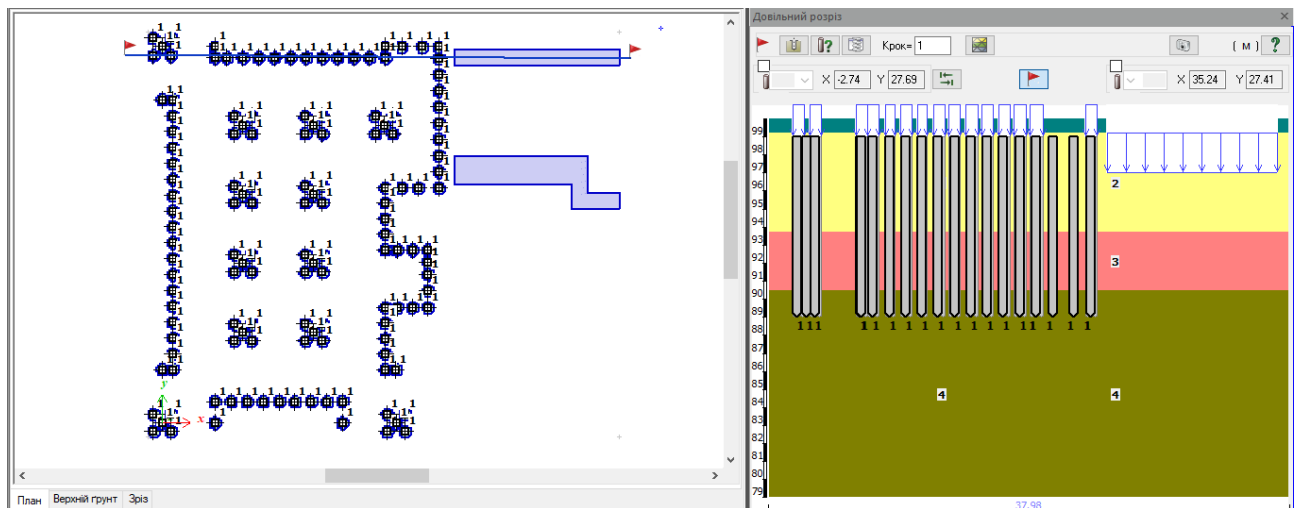
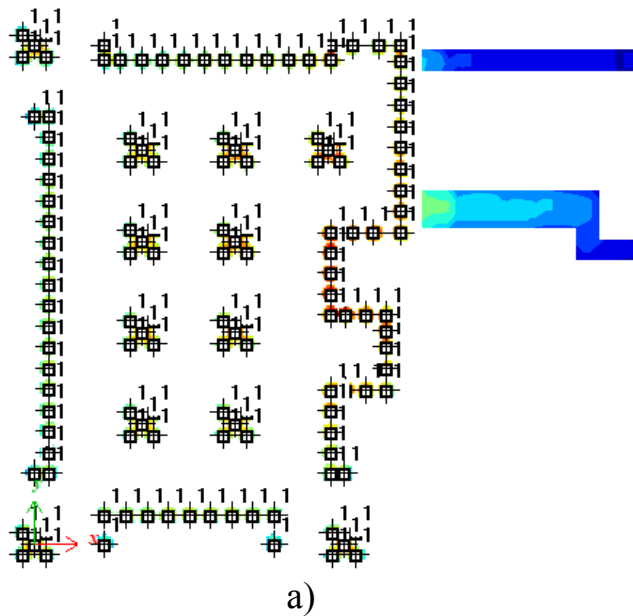
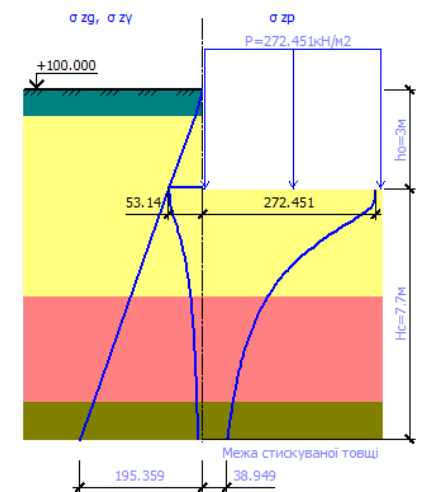


Рисунок 2.21 – План фундаментів та їх геологічний розріз в системі ГРУНТ

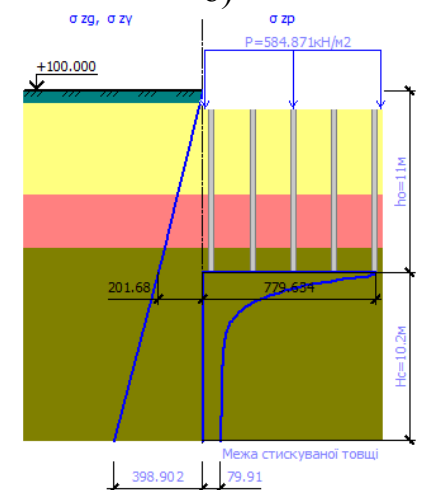
Ізополя осадки. Метод розрахунку 2.
7.6076 12.876 18.145 23.414 28.682 33.951 39.22 44.489 49.757 55.026 60.295 65.564 70.83;



а)



б)



в)

Рисунок 2.22 – Осідання основи під фундаментами (а) з визначенням напружень в основі під фундаментом мілкого закладання (б) та пальовим фундаментом (в)

На завершальному етапі розділу з розрахунку фундаментів була розроблена та виготовлена фізична модель пальового фундаменту (рис 2.23), яка стала окремою складовою навчального макету будівлі. Модель виконана методом 3D-друку, що дозволило точно відтворити основні конструктивні елементи пальового фундаменту та забезпечити їх наочну демонстрацію в процесі навчання.

Конструкція моделі являє собою пальовий куц із можливістю комбінування кількості паль залежно від поставленого завдання. Такий підхід дозволяє демонструвати різні варіанти розташування паль у фундаменті та принципи передачі навантаження від ростверку до ґрунтової основи. Завдяки модульній системі модель може адаптуватися під різні конструктивні схеми та використовуватись для пояснення особливостей роботи фундаментів глибокого закладання.



Рисунок 2.23 – Фізична модель пальового фундаменту

2.2.6 Енергоефективність

Енергоефективність будівель є одним із ключових напрямків сучасного проєктування та будівництва, що спрямований на зменшення споживання енергетичних ресурсів при одночасному забезпеченні належних умов експлуатації та комфорту для користувачів. В умовах зростання вартості енергоносіїв та підвищення екологічних вимог питання енергоефективності набуває особливої актуальності.

Під енергоефективністю будівлі розуміють здатність забезпечувати необхідні мікрокліматичні умови (температура, вологість, повітрообмін, освітлення) при мінімальних витратах енергії на опалення, вентиляцію, кондиціювання та освітлення. Досягнення цього забезпечується шляхом раціонального проєктування об'ємно-планувальних рішень, вибору ефективних будівельних матеріалів та впровадження сучасних інженерних систем.

Важливу роль у забезпеченні енергоефективності відіграють огорожувальні конструкції будівлі, зокрема зовнішні стіни, покриття, перекриття та віконні прорізи. Їх теплотехнічні характеристики визначають рівень тепловтрат будівлі. Використання матеріалів із низькою теплопровідністю, багатошарових конструкцій із утеплювачем, а також енергоефективних вікон дозволяє суттєво зменшити втрати тепла.

Не менш важливим є врахування орієнтації будівлі за сторонами світу та раціональне використання природного освітлення. Правильне розміщення віконних прорізів сприяє зменшенню витрат на штучне освітлення та частковому використанню сонячної енергії для обігріву приміщень у холодний період року.

До заходів забезпечення енергоефективності також належить застосування сучасних інженерних систем, таких як енергоощадні системи опалення, вентиляції та кондиціювання, використання рекуперації тепла, автоматизованих систем управління будівлею, а також альтернативних джерел енергії (сонячні панелі, теплові насоси тощо).

2.2.7 Заходи щодо підвищення енергоефективності

Підвищення енергоефективності будівлі є одним із ключових завдань сучасного проєктування, що дозволяє зменшити експлуатаційні витрати, підвищити комфорт перебування та знизити вплив на навколишнє середовище. На основі прийнятих архітектурних та конструктивних рішень макету можуть бути запропоновані ефективні заходи, які доцільно реалізувати для реальної будівлі.

Одним із основних напрямків є підвищення теплозахисних властивостей огорожувальних конструкцій. Для цього доцільно застосовувати сучасні теплоізоляційні матеріали для утеплення зовнішніх стін, покрівлі та перекриттів. Особливу увагу слід приділяти усуненню «містків холоду», які можуть виникати в місцях стику конструкцій, зокрема в зонах колон, балок та фундаментів. Використання багатошарових конструкцій із ефективним утеплювачем дозволяє значно зменшити тепловтрати.

Важливим заходом є застосування енергоефективних віконних систем із багатокамерними склопакетами та низькоемісійним покриттям. Такі вікна забезпечують зменшення втрат тепла у холодний період та обмежують перегрів приміщень у літній час. Додатково можуть застосовуватись сонцезахисні елементи, зокрема козирки, жалюзі або спеціальні плівки, що регулюють надходження сонячної радіації.

Доцільним є впровадження сучасних інженерних систем, зокрема енергоефективного опалення, вентиляції та кондиціювання. Одним із найбільш ефективних рішень є використання систем вентиляції з рекуперацією тепла.

Рекупераційна вентиляція передбачає використання спеціального теплообмінника (рекуператора), в якому відбувається передача тепла від відпрацьованого повітря, що видаляється з приміщення, до свіжого припливного повітря. Таким чином, свіже повітря, що надходить ззовні, попередньо нагрівається взимку або охолоджується влітку без додаткових витрат енергії на опалення чи кондиціювання.

Принцип роботи системи полягає у тому, що два повітряні потоки – витяжний та припливний – проходять через теплообмінник, не змішуючись між собою. При цьому відбувається передача теплової енергії через стінки теплообмінника. Коефіцієнт ефективності таких систем може досягати 70–90%, що дозволяє суттєво зменшити енергоспоживання будівлі.

Перевагами рекупераційної вентиляції є:

- зниження витрат на опалення та охолодження;
- забезпечення постійного припливу свіжого повітря без втрати тепла;
- покращення мікроклімату в приміщеннях;
- зменшення рівня вологості та запобігання утворенню конденсату.

Окрім цього, до сучасних заходів підвищення енергоефективності можна віднести використання відновлюваних джерел енергії, зокрема сонячних панелей для генерації електроенергії або сонячних колекторів для підігріву води. Також ефективним є впровадження систем автоматизації будівлі (так званих «розумних» систем), які дозволяють оптимізувати споживання енергії шляхом регулювання роботи інженерного обладнання залежно від умов експлуатації.

2.3 Навчально-методичне забезпечення макету та інтеграція цифрових технологій

Створення навчального макету у сфері будівництва не обмежується лише фізичною моделлю будівлі. Для досягнення максимальної ефективності навчального процесу необхідно доповнювати макет комплексом допоміжних матеріалів, які забезпечують глибше розуміння конструктивних, архітектурних та інженерних рішень. До таких матеріалів належать креслення, довідкові матеріали, а також сучасні цифрові інструменти, зокрема технології доповненої реальності.

Застосування креслень і довідкових матеріалів у поєднанні з макетом дозволяє студентам перейти від візуального сприйняття об'єкта до його аналітичного розуміння. Макет демонструє просторову структуру будівлі, тоді

як креслення деталізують її елементи, розкриваючи геометричні параметри, конструктивні вузли та взаємозв'язки між складовими. Це особливо важливо у підготовці майбутніх інженерів-будівельників, де ключову роль відіграє здатність працювати з проєктною документацією.

Додатково, використання довідкових матеріалів (таблиць, схем, пояснювальних записок) сприяє систематизації знань студентів та формуванню навичок самостійної роботи з технічною інформацією. Такі матеріали можуть містити характеристики будівельних матеріалів, нормативні вимоги, приклади розрахунків та інші дані, що безпосередньо пов'язані з представленим у макеті об'єктом.

Важливим напрямком розвитку навчальних макетів є інтеграція сучасних цифрових технологій, зокрема доповненої реальності (AR). Використання AR дозволяє накладати цифрову інформацію безпосередньо на фізичний макет, створюючи інтерактивне навчальне середовище. За допомогою мобільних пристроїв або спеціалізованого програмного забезпечення студенти можуть отримувати доступ до додаткових шарів інформації: внутрішніх конструкцій, інженерних мереж, етапів будівництва або результатів розрахунків.

Таке поєднання фізичного макету та цифрових технологій забезпечує мультисенсорний підхід до навчання, що значно підвищує рівень засвоєння матеріалу. Студенти мають можливість одночасно бачити об'єкт, аналізувати його конструкцію за кресленнями та взаємодіяти з інтерактивними елементами, що моделюють реальні процеси будівництва

2.3.1 Використання AR - технологій у навчальному макеті

Сучасний розвиток цифрових технологій відкриває нові можливості для вдосконалення освітнього процесу у сфері будівництва. Одним із найбільш перспективних напрямків є застосування технологій доповненої реальності (AR), які дозволяють поєднати фізичні об'єкти з інтерактивною цифровою інформацією. У контексті розробленого навчального макету використання AR-

технологій спрямоване на підвищення наочності, доступності та ефективності засвоєння складних конструктивних рішень.

У рамках даної роботи було створено декілька експериментальних AR-моделей, які демонструють з'єднання дерев'яних елементів, що вивчаються в дисципліні «Проектування конструкцій з дерева та пластмас». Основною метою їх розробки є спрощення візуального сприйняття просторово складних вузлів, які у традиційному вигляді (креслення або статичні зображення) часто викликають труднощі у студентів.

Розроблені AR-моделі дозволяють переглядати конструктивні вузли у тривимірному середовищі з можливістю обертання, масштабування та детального аналізу елементів з'єднання. Такий підхід забезпечує краще розуміння принципів роботи конструкцій, послідовності їх монтажу та взаємодії окремих компонентів.

З метою забезпечення доступності та зручності використання AR-матеріалів було організовано їх розповсюдження через відкриту групу в месенджері Telegram. Вибір саме цієї платформи обумовлений її широким використанням серед студентів, кросплатформеністю (підтримка операційних систем iOS та Android), а також можливістю швидкого доступу до файлів без необхідності встановлення додаткового спеціалізованого програмного забезпечення.

Для кожної AR-моделі підготовлено окремі файли, адаптовані під різні операційні системи, що забезпечує коректне відображення моделей на мобільних пристроях користувачів. Усі матеріали структуровано в межах групи за тематичними категоріями (гілками), що значно полегшує навігацію та пошук необхідної інформації.

Додатковою перевагою використання даної платформи є можливість інтеграції AR-матеріалів у навчальний процес за допомогою QR-кодів. Для кожної категорії може бути згенерований QR-код, який забезпечує швидкий перехід до відповідного розділу в групі. Це дозволяє ефективно

використовувати AR-матеріали під час лекцій та презентацій, зокрема при демонстрації на проекторі, а також під час самостійної роботи студентів.

2.4 Висновки до розділу 2

У ході виконання роботи було сформовано цілісне уявлення про об'єкт моделювання та обґрунтовано основні архітектурні і конструктивні рішення навчального макету. Врахування кліматичних, інженерно-геологічних та гідрологічних умов дозволило забезпечити реалістичність прийнятих рішень і створити основу для подальших розрахунків та досліджень.

Запропонована об'ємно-планувальна структура будівлі з поєднанням різної поверховості та конструктивних схем дала можливість відобразити у макеті декілька типів будівельних систем. Використання монолітного залізобетонного каркасу разом із цегляними елементами, а також різних типів фундаментів, забезпечує наочну демонстрацію сучасних технологій зведення будівель. Додатковою перевагою є відображення послідовності виконання будівельних робіт, що дозволяє простежити етапи зведення конструкцій у динаміці.

Впровадження заходів з енергоефективності та опрацювання інженерних рішень сприяє формуванню уявлення про комплексний підхід до проектування будівель з урахуванням сучасних вимог.

Окрему роль у підвищенні навчальної ефективності макету відіграє використання технологій доповненої реальності. Створені тривимірні AR-моделі конструктивних вузлів забезпечують більш глибоке розуміння просторових з'єднань елементів, що є складними для сприйняття у традиційних кресленнях. Організація доступу до цих матеріалів через цифрову платформу з можливістю швидкої навігації та використання QR-кодів значно спрощує їх інтеграцію в освітній процес.

Таким чином, розроблений макет у поєднанні з цифровими інструментами є ефективним навчальним засобом, що дозволяє поєднати

теоретичні знання з їх практичною візуалізацією, сприяє розвитку просторового мислення та формуванню професійних компетентностей у галузі будівництва.

РОЗДІЛ 3

ЛАБОРАТОРНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ БЕТОНУ НА СТИСК

У розробленому архітектурному макеті будівлі передбачено використання монолітного залізобетонного каркаса, який є одним із найпоширеніших конструктивних рішень у сучасному будівництві. Саме бетон забезпечує несучу здатність, жорсткість та довговічність конструкції, тому його властивості безпосередньо впливають на надійність будівлі. У зв'язку з цим для детальнішого дослідження було обрано бетонну суміш та фактори, що впливають на її характеристики. Особливу увагу приділено впливу різних видів піску на міцність бетону, оскільки дрібний заповнювач є одним із основних компонентів бетонної суміші та суттєво впливає на її структуру й експлуатаційні властивості.

3.1 Вплив піску на властивості бетону

Пісок є одним із основних складників бетонної суміші та виконує роль дрібного заповнювача. Саме від його характеристик значною мірою залежать міцність, щільність, водонепроникність, морозостійкість, усадка та довговічність бетону. У сучасному будівництві якість піску розглядається як один із ключових факторів формування структури цементного каменю та контактної зони між цементом і крупним заповнювачем.

У бетоні пісок заповнює порожнечи між зернами щебеню, забезпечує рівномірний розподіл цементного тіста та впливає на реологічні властивості бетонної суміші. Від гранулометричного складу піску залежить необхідна кількість цементу та води для отримання потрібної рухливості суміші. Надмірно дрібний пісок збільшує водопотребу бетону, тоді як занадто крупний може погіршувати однорідність структури.

Основними характеристиками піску, що впливають на властивості бетону, є:

- зерновий (гранулометричний) склад;

- форма зерен;
- мінералогічний склад;
- вологість;
- наявність пилюватих та глинистих частинок;
- щільність;
- модуль крупності;
- міцність зерен.

Одним із найважливіших показників є гранулометричний склад. Оптимальне поєднання великих, середніх та дрібних зерен дозволяє зменшити пустотність суміші та знизити витрати цементу. У якісному піску пустотність не повинна перевищувати приблизно 38 %.

При використанні дрібного піску збільшується питома поверхня зерен, через що суміш потребує більшої кількості води для забезпечення рухливості. Це призводить до підвищення водоцементного відношення та, як наслідок, до зменшення міцності бетону [12]. Відомо, що надлишкова вода після твердіння утворює пори та капіляри у структурі цементного каменю, що негативно впливає на щільність та довговічність матеріалу.

Важливу роль відіграє форма зерен піску. Гострокутні зерна гранітного або дробленого піску забезпечують краще зчеплення з цементним каменем у порівнянні з гладкими округлими зернами річкового піску. Завдяки цьому бетон на основі дробленого гранітного піску часто характеризується підвищеною міцністю на стиск і кращою адгезією компонентів. Однак така суміш може мати меншу рухливість і вимагати більшої кількості води або пластифікаторів.

Річковий пісок, навпаки, має гладку поверхню зерен та менший вміст домішок, що забезпечує хорошу пластичність бетонної суміші. Проте зчеплення між цементним каменем і зернами такого піску є дещо нижчим. У практиці будівництва часто використовують комбінований підхід – поєднання декількох типів піску для отримання оптимального балансу між міцністю та технологічністю суміші.

Значний вплив на властивості бетону мають пилюваті та глинисті домішки. Глина обволікає поверхню зерен піску тонкою плівкою, що погіршує адгезію цементного каменю та знижує міцність бетону. Крім того, глинисті частинки здатні утримувати вологу, що спричиняє додаткову усадку та появу мікротріщин під час висихання.

Для виготовлення конструкційного бетону рекомендовано використовувати очищений пісок із мінімальним вмістом органічних домішок та пилю. Особливо це важливо при виготовленні високоміцних бетонів і тонкостінних залізобетонних елементів.

Також важливим фактором є вологість піску. При зміні вологості фактична кількість води у бетонній суміші змінюється, що безпосередньо впливає на водоцементне відношення. Навіть незначне перевищення необхідної кількості води може помітно знизити міцність бетону.

У сучасних дослідженнях значна увага приділяється впливу різних типів піску на фізико-механічні характеристики бетону. Зокрема, у роботах, присвячених кварцитовим та гранітним заповнювачам, було встановлено, що дрібнодисперсні пилюваті частинки кварциту можуть позитивно впливати на структуру контактної зони бетону та підвищувати міцність при стиску.

Дослідження гранулометричного складу вторинних пісків показали, що зі збільшенням крупності зерен підвищується водопоглинання матеріалу. Це необхідно враховувати при підборі складу бетонної суміші, оскільки підвищене водопоглинання може змінювати ефективне водоцементне співвідношення.

Наукові роботи також підтверджують, що структура заповнювача безпосередньо впливає на мікротріщиноутворення у бетоні. Зі збільшенням розміру зерен і пористості заповнювача може збільшуватись ширина мікротріщин, а також проникність бетону.

У практиці лабораторних досліджень часто проводять порівняння бетонних сумішей із використанням різних типів піску – річкового, кварцового, гранітного або дробленого. Типово такі дослідження включають:

- виготовлення серії бетонних кубиків;

- витримування зразків у стандартних умовах;
- визначення міцності на стиск через 7 та 28 діб;
- аналіз щільності та водопоглинання;
- оцінку структури зламу бетону.

У багатьох експериментах бетон із гранітним або дробленим піском демонструє вищу міцність на стиск у порівнянні з бетоном на звичайному річковому піску. Це пояснюється кращою шорсткістю поверхні зерен та ефективнішим механічним зчепленням із цементним каменем. Проте для забезпечення однакової рухливості суміші часто потрібне збільшення кількості води або використання хімічних добавок.

Для лабораторного дослідження у даній роботі особливий інтерес становить порівняння впливу гранітного та звичайного піску на міцність бетону на стиск. Таке дослідження дозволяє оцінити ефективність використання різних дрібних заповнювачів та визначити найбільш доцільний варіант для використання у будівельних конструкціях.

3.1.1 Дослідження впливу різних видів піску на бетонну суміш

Під час виготовлення бетонної суміші тип піску суттєво впливає на її поведінку, консистенцію, щільність та процес ущільнення. Різні види піску мають відмінну форму зерен, щільність, шорсткість поверхні та вологопоглинання, через що одна й та сама рецептура бетону може поводитися по-різному залежно від використаного дрібного заповнювача [12].

Одним із найпоширеніших є річковий пісок. Завдяки природному походженню його зерна мають округлу форму, тому бетонна суміш на такому піску є більш пластичною та легко розподіляється у формах. Такий пісок часто застосовується при виготовленні стандартних бетонів та розчинів для кладки.

Кар'єрний пісок має більш неоднорідний склад та може містити домішки глини або пилу. Через це бетонна суміш може ставати менш однорідною, а при надлишку домішок – втрачати частину міцності після твердіння. Водночас

після очищення та просіювання кар'єрний пісок широко використовується у будівництві через його доступність та невисоку вартість.

Гранітний або дроблений пісок утворюється внаслідок подрібнення твердих гірських порід. Суміш із таким піском є більш жорсткою та щільною. Під час ущільнення бетон краще зберігає форму та утворює міцнішу структуру після набору міцності. Однак така суміш може бути менш зручною в роботі та потребувати додаткового ущільнення або використання пластифікаторів.

Кварцовий пісок характеризується високою чистотою та однорідністю зерен. Його застосовують у спеціальних бетонних сумішах, де важливими є стабільність структури та декоративні властивості поверхні. Бетон із кварцовим піском часто використовується у виробництві декоративних виробів, тротуарної плитки та архітектурного бетону.

Окремо варто відзначити використання штучних або вторинних пісків, отриманих після переробки будівельних матеріалів. Такі піски можуть застосовуватись для зменшення витрат природних ресурсів. Проте через неоднорідний склад їх використання потребує додаткових лабораторних досліджень та контролю якості.

Різні типи піску по-різному впливають на поведінку бетонної суміші:

- одні забезпечують кращу рухливість;
- інші формують щільнішу структуру;
- окремі типи піску збільшують потребу у воді;
- деякі покращують ущільнення та зменшують кількість пор у бетоні.

Також є різниця у процесі твердіння. Бетонні суміші з різними типами піску можуть по-різному набирати міцність, реагувати на ущільнення та переносити навантаження під час випробувань.

У лабораторних умовах порівняння декількох видів піску дозволяє оцінити, який саме дрібний заповнювач є найбільш ефективним для конкретного типу бетонної суміші. Це особливо важливо при виготовленні конструкційних бетонів, де необхідно забезпечити стабільні фізико-механічні характеристики матеріалу.

3.2 Методика проведення дослідження

Дослідження міцності бетону на стиск проводилось як експериментальне вивчення матеріалу, який може застосовуватись для виготовлення ростверку пальового фундаменту. Оскільки ростверк є одним із основних елементів фундаментної системи та сприймає навантаження від усієї будівлі, до бетону висуваються підвищені вимоги щодо міцності, щільності та стійкості до руйнування. Саме тому було виконано порівняння бетонних сумішей із різними типами піску з метою оцінки їх поведінки під навантаженням та визначення більш ефективного варіанту дрібного заповнювача для використання у конструкціях пальового фундаменту.

Дослідження міцності бетону на стиск проводилось відповідно до вимог [13]. Методика дослідження полягала у виготовленні контрольних бетонних зразків, їх витримуванні у встановлених умовах та подальшому випробуванні на стиск до моменту руйнування.

Згідно з вимогами стандарту, для визначення міцності бетону на стиск використовують контрольні зразки у формі кубів. Базовим зразком при випробуваннях є куб із розмірами $150 \times 150 \times 150$ мм. У даному дослідженні було виготовлено шість бетонних кубиків розміром 150×150 мм:

- три зразки на основі звичайного кар'єрного піску;
- три зразки на основі гранітного піску.



Рисунок 3.1 – Пісок кар'єрний та гранітний

Відповідно до ДСТУ зразки виготовлялись серіями , що дало можливість порівняти результати випробувань для різних типів дрібного заповнювача.

Для проведення експерименту матеріали були доставлені з будівельного підприємства згідно з попередньо виконаними розрахунками (рис. 3.2).

Дослід проводився з використанням бетону класу С20/25.



Рисунок 3.2 – Будівельні матеріали

Перший заміс виготовлявся із використанням кар'єрного піску (рис. 3.1).

Склад бетонної суміші становив:

- цемент – 4,4 кг;
- пісок – 7,8 кг;
- щебінь – 14,5 кг;
- вода – 2,1 л;
- добавка «BauGut HydroSTOP Beton» – 45 мл.

Другий заміс виготовлявся із використанням гранітного піску (рис. 3.1).

Склад суміші:

- цемент – 4,4 кг;
- пісок – 7,8 кг;
- щебінь – 14,5 кг;
- вода – 2,4 л;
- добавка «BauGut HydroSTOP Beton» – 45 мл.

Під час виконання другого замісу було встановлено, що бетонна суміш із гранітним піском вимішувалась важче та мала нижчу рухливість. Для отримання однорідної консистенції виникла необхідність у збільшенні кількості води.



Рисунок 3.4 – Компоненти для першого замісу

Приготування бетонної суміші виконувалось у бетонозмішувачі (рис. 3.4). Після завантаження всіх компонентів суміш перемішувалась до отримання однорідної структури без сухих включень.

Відповідно до вимог ДСТУ перед формуванням контрольних зразків бетонна суміш додатково перемішувалась. Після цього суміш укладалась методом штикування у металеві форми для виготовлення бетонних кубиків (рис. 3.5).

Формування зразків здійснювалось на вібраційній установці. Вібрування використовувалось для ущільнення бетонної суміші та видалення повітряних порожнин із структури бетону. Після завершення ущільнення форми з бетонною сумішшю були зняті з віброустановки та залишені у приміщенні для початкового твердіння.



Рисунок 3.5 – Укладання бетонної суміші в форми

Через декілька днів після бетонування виконувалось розпалублення зразків (рис. 3.6). Після зняття форм бетонні кубики зберігались у приміщенні зі сталою температурою та вологістю в період з 31.03.2026 до 30.04.2026. Такі умови забезпечували нормальний процес гідратації цементу та набір міцності бетоном.



Рисунок 3.6 – Готові бетонні блоки

Випробування бетонних зразків на стиск проводилось 30.04.2026 відповідно до методики, наведеної у [13]. Сутність методу полягає у визначенні навантаження, при якому відбувається руйнування контрольного зразка під дією поступово зростаючого стискаючого зусилля .

Під час випробувань кожен бетонний кубик встановлювався у прес таким чином, щоб навантаження прикладалось рівномірно до робочих граней зразка. Навантаження збільшувалось поступово до моменту руйнування бетону. У процесі випробування фіксувались:

- максимальне навантаження;
- характер руйнування зразків;
- наявність тріщин;
- зовнішній вигляд поверхні після руйнування.

Отримані результати випробувань були використані для подальшого аналізу впливу типу піску на міцність бетону при стиску.

3.3 Результати дослідження

Після завершення періоду твердіння бетонні кубики були випробувані на стиск на випробувальному пресі (рис. 3.7) з метою визначення впливу різних видів піску на міцність бетону та характер руйнування зразків. Випробування проводились для двох серій бетонних кубиків з використанням кар'єрного та гранітного піску.



Рисунок 3.7 – Випробувальний прес MATEST з контролером Cyber-Plus Progress

У результаті проведених випробувань було встановлено, що середня міцність бетонних зразків обох серій становила приблизно 23 МПа:

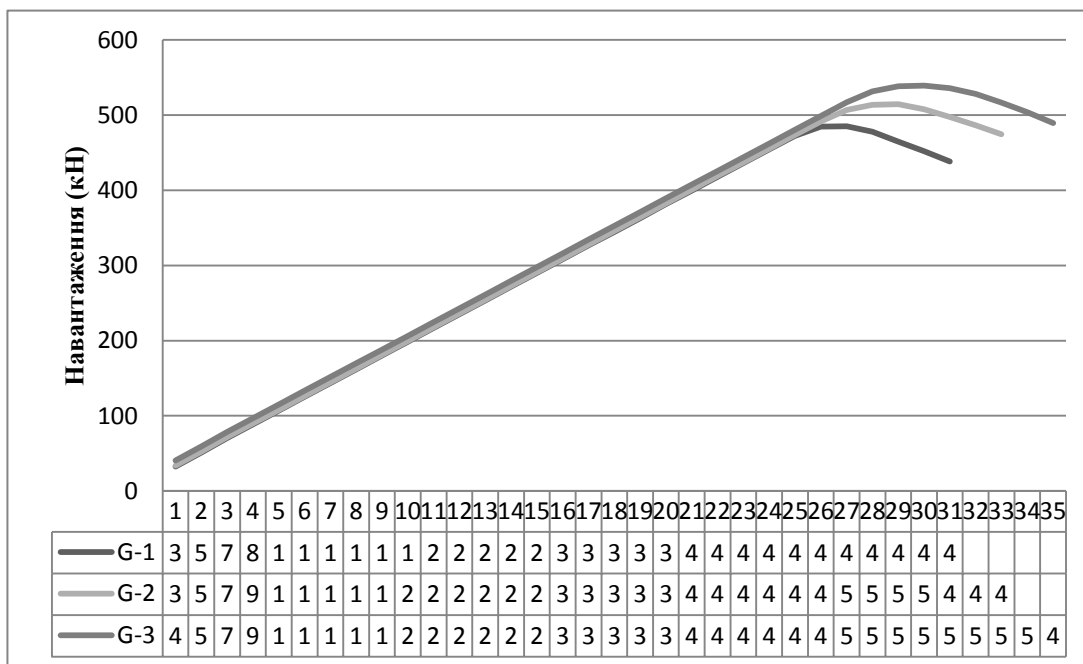


Рисунок 3.8 – Графік результатів дослідження на стиск бетонних зразків на основі кар'єрного піску

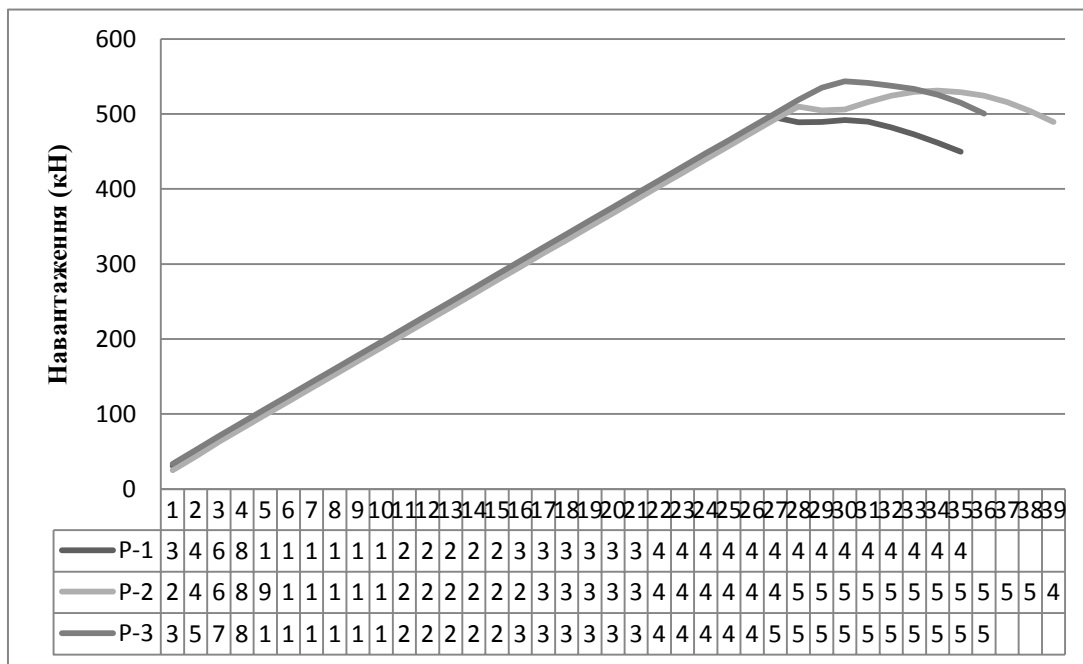


Рисунок 3.9 – Графік результатів дослідження на стиск бетонних зразків на основі гранітного піску

Отримані результати показали, що суттєвої різниці у показниках міцності між бетоном на кар'єрному та гранітному піску не спостерігалось. Обидва типи бетонних зразків продемонстрували близькі значення навантаження до моменту руйнування.

Таблиця 3.1 – Бетонні зразки та їх характеристики

Назва зразка	Площа (мм ²)	Макс. напруження (МПа)	Макс. навантаження (кН)	Вага (кг)
P-1	22500	22,062	496,393	7,945
P-2	22500	23,613	531,301	7,960
P-3	22500	24,183	544,110	8,005
G-1	22950	21,169	485,818	8,115
G-2	22950	22,440	514,993	8,085
G-3	22950	23,505	539,445	8,165

Де P – зразки з кар'єрного піску; G – зразки з гранітного піску.

Під час випробувань було виявлено помітну різницю у характері руйнування бетонних кубиків. Як показано на рисунку 3.10, зразки виготовлені з використанням кар'єрного піску, після руйнування мали значно більшу сипучість та осипання поверхневих шарів бетону. Під час стиску спостерігалось активне відокремлення дрібних частинок і кришення окремих ділянок зразків.

Як показано на рисунку 3.11, бетонні кубики з гранітним піском після випробування краще зберігали цілісність структури, а кількість осипаного матеріалу була помітно меншою. Руйнування відбувалось із формуванням основних тріщин без значного розсипання дрібних частинок.



Рисунок 3.10 – Руйнування зразку з кар'єрного піску



Рисунок 3.11 – Руйнування зразку з гранітного піску

Отримані результати свідчать про те, що тип піску впливає не лише на міцність бетону, а й на структуру матеріалу та характер його руйнування під навантаженням. Використання гранітного піску сприяло утворенню більш щільної структури бетону, що позитивно вплинуло на цілісність зразків після випробування. На рисунку 3.12 можна побачити усі шість кубиків.

Проведене дослідження підтвердило, що навіть при однакових показниках міцності різні види піску можуть по-різному впливати на поведінку

бетону під час руйнування. Це є важливим фактором при виборі матеріалів для конструкцій, які працюють в умовах підвищених механічних навантажень або потребують високої довговічності.



Рисунок 3.12 – Зразки після випробувань

3.4 Висновки до розділу 3

У даному розділі було проведено дослідження впливу різних видів піску на властивості бетонної суміші та міцність бетону на стиск. Актуальність дослідження обумовлена тим, що в основі розробленого архітектурного макета використовується монолітний залізобетонний каркас, для якого бетон є основним конструктивним матеріалом.

У ході роботи було проаналізовано особливості різних типів піску та їх вплив на поведінку бетонної суміші. Встановлено, що тип дрібного заповнювача впливає на рухливість суміші, процес ущільнення, щільність структури бетону та характер руйнування зразків після випробувань.

Для експериментального дослідження було виготовлено шість бетонних кубиків класу C20/25 – три з використанням кар'єрного піску та три з використанням гранітного піску. Зразки були виготовлені відповідно до вимог ДСТУ [13] та випробувані на стиск після періоду твердіння.

Результати випробувань показали, що середня міцність бетонних зразків обох серій становила приблизно 23 МПа, а суттєвої різниці у показниках міцності між бетоном на кар'єрному та гранітному піску виявлено не було. Разом із тим було встановлено помітну різницю у характері руйнування

бетонних кубиків. Зразки на основі кар'єрного піску після випробувань мали значно більшу сипучість та осипання поверхневих шарів, тоді як бетон із гранітним піском зберігав більш щільну та монолітну структуру.

Під час проведення дослідження також було встановлено, що бетонна суміш із гранітним піском потребувала більшої кількості води для отримання необхідної консистенції, оскільки суміш вимішувалась важче у порівнянні з бетоном на кар'єрному піску.

Отримані результати підтвердили, що навіть при близьких показниках міцності різні види піску по-різному впливають на структуру бетону та його поведінку під навантаженням. Це свідчить про важливість правильного підбору дрібного заповнювача при проєктуванні бетонних сумішей для будівельних конструкцій різного призначення.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Охорона праці

Організація робіт на будівельному майданчику повинна забезпечувати безпечні умови праці для всіх працівників на кожному етапі виконання будівельно-монтажних робіт. Одним із ключових завдань є створення таких виробничих умов, за яких виключається вплив небезпечних та шкідливих факторів на працівників, а також мінімізується ризик виникнення травматизму та професійних захворювань [17].

Під час виконання робіт, пов'язаних із монтажем і дослідженням сендвіч-панелей, особливу увагу необхідно приділяти дотриманню вимог техніки безпеки, виробничої санітарії та пожежної безпеки. Раціональна організація робочих місць, належний технічний стан обладнання та застосування сучасних засобів індивідуального захисту дозволяють значно підвищити рівень безпеки праці.

Важливим фактором забезпечення безпечних умов праці є правильна організація технологічного процесу [18]. Відповідальність за дотримання норм охорони праці покладається на керівників будівельних організацій, інженерів з охорони праці, виконробів та майстрів, які зобов'язані здійснювати постійний контроль за станом безпеки на об'єкті.

4.1.1 Інженерні рішення з охорони праці

У процесі виконання будівельно-монтажних робіт необхідно керуватись чинними нормативними документами та вимогами з охорони праці. Система охорони праці включає комплекс організаційних, технічних і санітарно-гігієнічних заходів, спрямованих на створення безпечних умов роботи для працівників.

Для забезпечення безпеки під час виконання робіт передбачаються такі інженерні рішення:

- організація безпечного пересування працівників по будівельному майданчику;
- застосування справного технологічного обладнання та механізмів;
- використання засобів індивідуального захисту: касок, рукавиць, спецодягу, запобіжних поясів та спецвзуття;
- забезпечення робочих місць необхідним освітленням;
- облаштування тимчасових огорожень у небезпечних зонах;
- проведення інструктажів з техніки безпеки для працівників;
- організація навчання та періодичної перевірки знань з охорони праці;
- контроль за дотриманням правил пожежної безпеки;
- проведення медичних оглядів працівників, які виконують роботи з підвищеною небезпекою;
- здійснення обліку та аналізу нещасних випадків на виробництві.

Особливу увагу слід приділяти роботам на висоті під час монтажу сендвіч-панелей. Працівники повинні використовувати страхувальні системи та працювати лише зі справних риштувань або підйомних механізмів. Забороняється виконання монтажних робіт за несприятливих погодних умов, зокрема при сильному вітрі, ожеледиці або недостатній видимості.

Для зниження ризику виробничого травматизму необхідно підтримувати порядок на будівельному майданчику, забезпечувати правильне складування матеріалів та не допускати захащення проходів і робочих зон.

Покращення умов праці та дотримання вимог охорони праці сприяють підвищенню продуктивності праці, зменшенню кількості аварійних ситуацій і забезпеченню безпечного виконання будівельних робіт.

4.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Під час експлуатації та будівництва споруд важливе значення має забезпечення безпеки працівників і населення у разі виникнення надзвичайних

ситуацій природного або техногенного характеру. До таких ситуацій належать пожежі, вибухи, аварії, зсуви, повені та землетруси.

Основною метою цивільного захисту є запобігання виникненню надзвичайних ситуацій, мінімізація їх наслідків та забезпечення захисту людей і матеріальних цінностей. Для цього на підприємствах і будівельних об'єктах розробляються спеціальні заходи реагування та евакуації.

4.2.1 Законодавча база України

Нормативно-правове регулювання у сфері цивільного захисту населення в Україні здійснюється на основі Кодексу цивільного захисту України та інших законодавчих актів.

До основних нормативних документів належать:

- Кодекс цивільного захисту України;
- Закон України «Про аварійно-рятувальні служби»;
- Закон України «Про правовий режим надзвичайного стану»;
- постанови Кабінету Міністрів України щодо функціонування єдиної державної системи цивільного захисту;
- державні будівельні норми та правила щодо безпеки будівництва;
- нормативні акти з питань пожежної та техногенної безпеки.

Вказані документи визначають порядок організації заходів цивільного захисту, дії населення та працівників у надзвичайних ситуаціях, а також вимоги до проєктування й експлуатації будівель у небезпечних умовах.

4.2.2 Заходи при землетрусі

Землетруси належать до найбільш небезпечних природних явищ, оскільки виникають раптово та можуть спричинити значні руйнування будівель і споруд, людські жертви та великі матеріальні збитки.

Сейсмонебезпечними вважаються території, де можливі землетруси інтенсивністю 6 балів і більше. Для підвищення рівня безпеки в таких районах застосовують комплекс інженерних та організаційних заходів.

До основних заходів належать:

1. Правильний вибір ділянки для будівництва з урахуванням геологічних умов.
2. Використання конструктивних рішень, що підвищують сейсмостійкість споруд.
3. Забезпечення високої якості будівельно-монтажних робіт.
4. Улаштування антисейсмічних швів між окремими частинами будівлі.
5. Застосування будівельних матеріалів, здатних витримувати динамічні навантаження.

Під час виникнення землетрусу необхідно:

- зберігати спокій;
- відійти від вікон, важких предметів та конструкцій, які можуть впасти;
- зайняти безпечне місце біля несучих стін або під міцними меблями;
- не користуватися ліфтами;
- після припинення поштовхів організовано залишити будівлю;
- дотримуватися вказівок рятувальних служб.

При проєктуванні будівель у сейсмічних районах використовують вимоги ДБН В.1.1-12:2014 «Будівництво у сейсмічних районах України». Врахування цих вимог дозволяє підвищити надійність споруд та зменшити ризик їх руйнування.

4.3 Висновки до розділу 4

У даному розділі було розглянуто основні питання охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях під час виконання будівельно-монтажних робіт.

Проаналізовано основні заходи щодо створення безпечних умов праці, дотримання техніки безпеки та виробничої санітарії на будівельному майданчику. Визначено, що застосування сучасних засобів індивідуального захисту, проведення інструктажів і належна організація робіт дозволяють значно знизити ризик виробничого травматизму.

Також було розглянуто питання цивільного захисту населення та дії у разі виникнення надзвичайних ситуацій, зокрема землетрусів. Встановлено, що дотримання нормативних вимог під час проєктування та будівництва споруд у сейсмонебезпечних районах є важливим фактором забезпечення безпеки людей і збереження будівельних конструкцій.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі було розроблено та обґрунтовано концепцію навчального будівельного макету, призначеного для використання у процесі підготовки студентів будівельних спеціальностей. Основною метою роботи стало створення наочного та функціонального макету, який дозволяє поєднати архітектурні, конструктивні та технологічні аспекти будівництва в єдиній навчальній системі. У ході виконання роботи було опрацьовано теоретичні та практичні матеріали, що стосуються проєктування будівельних макетів, архітектурних рішень, конструктивних елементів будівель і методів візуалізації будівельних процесів.

У першій частині роботи сформовано ідею створення макету та визначено його навчальне призначення. Проведено аналіз дисциплін будівельного спрямування, що вивчаються студентами, завдяки чому було визначено основні елементи, які доцільно відобразити у макеті для підвищення ефективності навчального процесу. Також було опрацьовано питання фасадних систем, архітектурної стилістики та розвитку навичок скетчингу, що дало можливість сформувати цілісний художній і конструктивний образ об'єкта.

У другому розділі досліджено об'єкт будівлі, на основі якого створювався макет, а також проаналізовано архітектурно-будівельні умови ділянки. Було розглянуто кліматичні, інженерно-геологічні та гідрологічні умови, що впливають на вибір конструктивних рішень. У роботі обґрунтовано використання різних типів фундаментів і конструктивних схем для окремих частин будівлі. Значну увагу приділено архітектурному оформленню макету, енергоефективності будівлі та застосуванню сучасних конструктивних рішень. Особливістю розробленого макету стало поєднання завершеної архітектурної частини з конструктивною частиною, що перебуває на різних етапах будівництва, завдяки чому забезпечується наочна демонстрація технології зведення будівлі.

У межах науково-дослідної частини роботи проведено лабораторне дослідження міцності бетону на стиск із використанням різних видів піску. Дослідження виконувалось відповідно до вимог чинного стандарту ДСТУ [13] щодо методів визначення міцності бетону за контрольними зразками. У процесі експерименту було виготовлено та випробувано бетонні зразки, після чого виконано порівняльний аналіз отриманих результатів. Дослідження показало, що використання різних видів піску суттєво впливає на технологічні властивості бетонної суміші, зокрема на її сипучість та зручність укладання, тоді як показники міцності залишилися близькими між собою. Отримані результати підтвердили доцільність проведення лабораторних випробувань при підборі складу бетонних сумішей і дозволили закріпити практичні навички виконання експериментальних досліджень.

Також у роботі були розглянуті питання охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях під час виконання будівельних і лабораторних робіт. Визначено основні вимоги безпечної роботи з обладнанням, механізмами та будівельними матеріалами, а також заходи щодо мінімізації виробничих ризиків.

У результаті виконання кваліфікаційної роботи поставлена мета була досягнута. Створений концепт навчального макету може бути використаний як наочний матеріал у процесі вивчення архітектурних, конструктивних та технологічних дисциплін у закладах вищої освіти будівельного профілю. Робота поєднує теоретичні знання з практичними дослідженнями та демонструє можливість застосування навчальних макетів як ефективного інструменту професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі будівництва.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Методичний посібник для виконання кваліфікаційної роботи магістра за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія» / Я.О. Ковальчук, Г.М. Крамар, О.М. Мещерякова. – Тернопіль: ТНТУ, 2020. – 56 с.
2. Згурський М.З., Кушнір М.І. Основи інженерної освіти та підготовки фахівців. – Київ: Видавництво НТУУ «КПІ», 2018. – 320 с.
3. Ортинський В.Л. Педагогіка вищої школи. – Київ: Центр учбової літератури, 2019. – 472 с.
4. Кузьмінський А.І., Омеляненко В.Л. Педагогіка: підручник. – Київ: Знання, 2017. – 447 с.
5. ДБН А.3.1-5:2016. Організація будівельного виробництва. – Київ: Мінрегіон України, 2016.
6. Білуха М.Т. Основи наукових досліджень. – Київ: Вища школа, 2015. – 271 с.
7. Онлайн курси – www.edx.org.
8. Курси по скетчингу <https://www.youtube.com/@ShvetsProSketch>.
9. Програма для створення кадастрових карт із контурними лініями <https://topoexport.com/>.
10. Інструмент для створення інфографіків, схем, діаграм <https://www.napkin.ai/>.
11. ДСТУ-Н Б В.1.1–27: 2010.– [Дата введення 2011-11-01]. / Мінрегіонбуд України. – К.: Укрархбудінформ, 2011. – 123 с.
12. Солодкий С. Й. Вплив водоцементного відношення на тріщиностійкість важкого бетону / С. Й. Солодкий, Н. О. Васьків // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – 2010. – № 664 : Теорія і практика будівництва. – С. 231–234. – Бібліографія: 3 назви.
13. ДСТУ Б В.2.7-214:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками
14. ДБН В.2.1-10-2009 Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування. Зміна № 1

15. Підгурський М.І., Підгурський І.М. Механіка ґрунтів, основи і фундаменти. Методичні вказівки для виконання курсового проєкту. – Тернопіль: ТНТУ, 2023. – 140 с.

16. Підгурський М. І. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ ПАЛЬОВО-ПЛИТНОГО ФУНДАМЕНТУ МЕТАЛЕВОГО СИЛОСУ НА ОСОБЛИВОСТІ ДЕФОРМУВАННЯ ФУНДАМЕНТНОЇ ПЛИТИ / Підгурський М. І., Підгурський І. М., Підвисоцький О. І., Биків Д. З.// Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Рівне, 2023. - Вип. 43. - С. 244-254.

17. Техноекологія та цивільна безпека. Частина «Цивільна безпека». Навчальний посібник / В.С. Стручок, – Тернопіль: ТНТУ ім. І.Пулюя, 2022. – 150 с.

18. Стручок В.С. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / В.С.Стручок. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022 – 156 с.

19. Методичні вказівки до написання розділу з охорони праці в будівництві для спеціальності 192 "Будівництво та цивільна інженерія" / Каспрук В. Б. – Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2024