МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
імені Ю.М. ПОТЕБНІ

КАФЕДРА МІСЬКОГО БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота (проєкт)

магістр
(рівень вищої освіти)

на тему Моделювання елементів і конструктивних рішень несучих конструкцій покриття будівлі плавального басейну

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1924-мбг
спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія
(код і назва спеціальності)
освітньої програми Міське будівництво та господарство
(назва освітньої програми)
Розумович О.І.
(ініціали та прізвище)

Керівник доц.,к.т.н, Ільїн С.В.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)
Рецензент проф., д.т.н, Банах В.А.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
імені Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра міського будівництва і архітектури
Рівень вищої освіти магістр
Спеціальність 192 Будівництво та цивільна інженерія
(код та назва)
Освітня програма Міське будівництво та господарство

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
«01» 06 2025 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Розумовичу Олексію Івановичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи (проєкту) Моделювання елементів і конструктивних рішень несучих конструкцій покриття будівлі плавального басейну

керівник роботи доц.,к.т.н, Ільїн С.В.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від «19» 09 2025 року № 1303-с.

1 Строк подання студентом роботи 01.12.2025

2 Вихідні дані до роботи Актуальність обраного напрямку досліджень, значимість у сучасному житті, можливість розвинення проблематики, перспективи впровадження майбутніх досягнень, мета роботи, завдання до виконання обраних досліджень, об`єкт досліджень, предмет досліджень, передбачувані методи виконання досліджень

3 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Аналіз світового досвіду проектування великопролітних покриттів плавальних басейнів та особливостей захисту сталевих конструкцій в агресивному вологому середовищі. Обґрунтування раціональної конструктивної схеми будівлі та визначення специфічних розрахункових навантажень. Чисельне моделювання просторової роботи

комбінованого каркаса (монолітний залізобетон та сталеві ферми) методом скінченних елементів у ПК SCAD Office.

4 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Презентація із результатами аналітичних обґрунтувань наукового напряму досліджень, результатами експериментальних досліджень, результати розрахунків із застосуванням сучасних інформаційних методів досліджень

5 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Ільїн С.В.		
2	Ільїн С.В.		
3	Ільїн С.В.		

6 Дата видачі завдання 01.09.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Літературний огляд	01.10	
2	Розділ 1	15.10	
3	Розділ 2	01.11	
4	Розділ 3	15.11	
5	Розробка графічної частини	20.11	
6	Оформлення роботи	25.11	
7	Попередній захист	01.12	

Студент _____ Розумович О.І.
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проєкту) _____ Ільїн С.В.
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ Гребенюк І.В.
(підпис) (ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Розумович Олексій Іванович. Моделювання елементів і конструктивних рішень несучих конструкцій покриття будівлі плавального басейну.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 192 - Будівництво та цивільна інженерія, науковий керівник С.В. Ільїн. Інженерний навчально-науковий інститут імені Ю.М. Потебні ЗНУ, кафедра міського будівництва і архітектури, 2025.

У магістерській роботі виконано комплексне проєктування та розрахунок напружено-деформованого стану будівлі плавального басейну в складних інженерно-геологічних та кліматичних.

Обґрунтовано застосування комбінованої конструктивної схеми, що поєднує монолітний залізобетонний каркас адміністративного блоку та великопролітне покриття (32 м) залу басейну. Для перекриття залу розроблено сталеві трапецієподібні ферми з гнутозварних замкнутих профілів (ГЗП). Це рішення дозволило підвищити корозійну стійкість конструкцій в агресивному вологому середовищі та забезпечити необхідну жорсткість.

За результатами моделювання у ПК SCAD Office підтверджено несучу здатність каркаса при дії снігових навантажень та сейсмічного впливу. Виконаний теплотехнічний розрахунок довів ефективність використання сендвіч-панелей товщиною 200 мм для забезпечення енергоефективності будівлі.

Ключові слова: ПЛАВАЛЬНИЙ БАСЕЙН, ВЕЛИКОПРОЛІТНЕ ПОКРИТТЯ, СТАЛЕВІ ФЕРМИ, ГНУТОЗВАРНІ ПРОФІЛІ, МОНОЛІТНИЙ ЗАЛІЗОБЕТОН, НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН, SCAD OFFICE, СНІГОВЕ НАВАНТАЖЕННЯ.

ABSTRACT

Rozumovych Oleksii Ivanovych. Modeling of Elements and Structural Solutions of Bearing Structures of the Swimming Pool Building Roof.

Master’s qualification paper for the degree of Master in specialty 192 – Construction and Civil Engineering, supervisor S.V. Ilyin. Yu.M. Potebnia Engineering Educational and Scientific Institute of ZNU, Department of Urban Construction and Architecture, 2025.

The master's thesis performs a comprehensive design and calculation of the stress-strain state of a swimming pool building under complex engineering-geological and climatic conditions.

The use of a combined structural scheme, which integrates the monolithic reinforced concrete frame of the administrative block and the long-span roof (32 m) of the pool hall, is substantiated. Steel trapezoidal trusses made of bent-welded closed profiles (HSS) were developed to span the hall. This solution made it possible to increase the corrosion resistance of structures in an aggressive humid environment and ensure the necessary rigidity.

Based on the modeling results in the SCAD Office software suite, the load-bearing capacity of the frame under snow loads and seismic effects was confirmed. The performed thermal engineering calculation proved the effectiveness of using 200 mm thick sandwich panels to ensure the energy efficiency of the building.

Key words: SWIMMING POOL, LONG-SPAN ROOF, STEEL TRUSSES, BENT-WELDED PROFILES, MONOLITHIC REINFORCED CONCRETE, STRESS-STRAIN STATE, SCAD OFFICE, SNOW LOAD.

ЗМІСТ

	Вступ	7
Розділ 1	АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ, СВІТОВОГО ДОСВІДУ ТА МЕТОДІВ МОДЕЛЮВАННЯ ВЕЛИКОПРОЛІТНИХ ПОКРИТТІВ ПЛАВАЛЬНИХ БАСЕЙНІВ	10
1.1	Еволюція та сучасні тенденції проектування будівель плавальних басейнів	10
1.1.1	Античний період: народження інженерної типології терм	10
1.1.2	Індустріальна революція XIX століття: ера металу та скла	12
1.1.3	XX століття: залізобетонні оболонки та просторові системи	13
1.1.4	Сучасний етап: біоніка та параметричне моделювання	14
1.2	Комплексний аналіз світового досвіду проектування унікальних плавальних комплексів	15
1.2.1	Національний плавальний центр "Water Cube" (Пекін, КНР)	15
1.2.2	Центр водних видів спорту (London Aquatics Centre, Великобританія)	16
1.2.3	Європейський досвід: Олімпійський водний центр (Париж, 2024) та технології Альп	17
1.3	Класифікація, об'ємно-планувальні вимоги та специфіка експлуатації басейнів в Україні	20
1.3.1	Типологія та геометричні параметри згідно з нормативною базою	20
1.3.2	Агресивність внутрішнього середовища та фізика корозійних процесів	21
1.3.3	Вимоги до антикорозійного захисту (АКЗ)	22
1.4	Обґрунтування вибору конструктивної схеми покриття	24

1.5 Аналіз навантажень та впливів для умов будівництва 25
1.6 Огляд наукової літератури та нормативної бази 26
1.7 Теоретичні основи комп'ютерного моделювання (МСЕ) 29
1.8 Висновки до розділу 1 30
Розділ 2 ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНОЇ СХЕМИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ПАРАМЕТРІВ БУДІВЛІ 31
2.1 Архітектурно-планувальні та конструктивні рішення 31
2.2 Теплотехнічний розрахунок огороджувальних конструкцій (з урахуванням гірських умов будівництва) 39
2.3 Визначення навантажень та впливів на несучі конструкції 41
2.4 Конструктивні рішення об'єкта 45
2.5 Висновки до розділу 2 55
Розділ 3 РОЗРАХУНОК НЕСУЧИХ КОНСТРУКЦІЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ SCAD OFFICE 57
3.1 Програмний комплекс SCAD Office 57
3.1.1 Склад та структура комплексу 57
3.1.2 Види розрахунків та аналітичні можливості 59
3.1.3 Конструювання матеріалів 60
3.2 Вихідні дані для будівлі плавального басейну 60
3.3 Схеми навантажень 63
3.4 Жорсткості елементів 64
3.5 Розрахунок каркаса будівлі 75
3.6 Розрахунок та конструювання залізобетонних елементів 77
3.7 Висновки до розділу 3 86
Основні висновки 88
Список використаних джерел 89

ВСТУП

Актуальність дослідження. На сьогоднішній день за допомогою сучасних розрахункових комплексів стало можливим не тільки моделювати, але й виконувати повний розрахунок будівель і споруд на основі розрахункової схеми, отримуючи ефективний результат та суттєво заощаджуючи час. У будівельній галузі використовується безліч таких програмних комплексів, що дозволяють розраховувати будівельні конструкції з необхідною точністю. В основі розрахунку більшості з них лежить метод скінченних елементів (МСЕ), а їхні алгоритми враховують чинні вимоги та положення з проектування будівельних конструкцій, регламентовані національними будівельними нормами (ДБН) та Єврокодами.

Багато локальних розрахунків по-різному реалізовані в різних програмних комплексах, тому для порівняння результатів та уникнення помилок виконувати розрахунок рекомендується у двох незалежних програмах.

Перелік основних нормативно-правових актів та нормативних документів, якими керується інженер-проектувальник при розрахунку будівель і споруд в Україні:

- Закон України «Про регулювання містобудівної діяльності»;
- Закон України «Про будівельні норми»;
- Технічний регламент будівельних виробів, будівель і споруд (затверджений Постановою КМУ № 1764);
- ДБН В.1.2-14:2018 «Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд» (основний документ, що замінює згаданий у вихідному тексті ГОСТ);
- ДБН А.2.2-3:2014 «Склад та зміст проектної документації на будівництво».

Згідно з вимогами ДБН В.1.2-14:2018 та Технічного регламенту, безпеку проектованих конструкцій будівлі у проектній документації необхідно

забезпечувати шляхом розрахунків або експериментальних методів. Інженер, використовуючи два різні розрахункові комплекси, може якісніше проаналізувати розрахункову схему, виявити неточності та помилки на ранній стадії та підвищити надійність видаваного результату.

При розрахунку будівель і споруд необхідно користуватися актуальними ліцензійними версіями сучасних розрахункових комплексів. На практиці в Україні широко застосовуються як вітчизняні програмні комплекси (ЛІРА-САПР, SCAD Office), так і закордонні аналоги (Robot Structural Analysis, ETABS та ін.).

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є визначення фактичного напружено-деформованого стану несучих елементів будівлі, підбір арматури внутрішніх та зовнішніх несучих стін і плит перекриття, перерізів елементів ферм.

Завдання дослідження :

1. Створити просторову скінченно-елементну модель каркаса в ПК SCAD Office.
2. Виконати теплотехнічний розрахунок огороджувальних конструкцій.
3. Виконати збір навантажень на конструкції.
4. Розробити вузли з'єднання елементів ферм, що забезпечують герметичність труб та зручність антикорозійного захисту.
5. Підібрати перерізи для елементів конструкцій, виконати перевірку на міцність та стійкість.

Об'єкт дослідження. Об'єктом дослідження є конструктивні елементи (плита, колони) будівлі.

Предмет дослідження. Предметом дослідження є робота конструктивних елементів будівлі у розрахунковому комплексі SCAD Office.

Методи дослідження. При виконанні роботи використовувалися методи системного аналізу нормативної бази та літературних джерел, метод скінченних елементів (МСЕ) для комп’ютерного моделювання напружено-

деформованого стану конструкцій у ПК SCAD Office, а також аналітичні методи для теплотехнічних розрахунків та збору навантажень.

Наукова новизна одержаних результатів. Обґрунтовано ефективність застосування комбінованої конструктивної схеми (монолітний залізобетон та сталеві ферми з гнутозварних профілів) для перекриття прольоту 32 м в складних інженерно-геологічних та кліматичних умовах.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблено оптимальні конструктивні рішення каркаса будівлі плавального басейну та запропоновано систему антикорозійного захисту металоконструкцій для експлуатації в агресивному вологому середовищі.

Особистий вклад дослідника. Створено просторову скінченно-елементну модель будівлі, виконано розрахунок несучих конструкцій на дію специфічних гірських навантажень та здійснено підбір армування залізобетонних елементів і перерізів сталевих ферм.

Апробація результатів роботи. Результати роботи доповідалися на XVIII університетської науково-практичної конференції студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчених «МОЛОДА НАУКА-2025» з доповіддю «Загальна характеристика збору навантажень на будівельні конструкції»[34].

Структура та обсяг магістерської роботи. Магістерська робота складається зі вступу, трьох розділів, основних висновків та списку використаних джерел. Загальний обсяг роботи становить 92 сторінки. Робота містить 35 рисунків, 6 таблиць та список використаних джерел із 34 найменувань.

РОЗДІЛ 1
АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ, СВІТОВОГО ДОСВІДУ ТА МЕТОДІВ МОДЕЛЮВАННЯ ВЕЛИКОПРОЛІТНИХ ПОКРИТТІВ ПЛАВАЛЬНИХ БАСЕЙНІВ

1.1. Еволюція та сучасні тенденції проектування будівель плавальних басейнів

Історія розвитку архітектури спортивних та громадських купалень є наочною ілюстрацією прогресу інженерної думки. Зміна конструктивних матеріалів — від природного каменю та римського бетону до високоміцних сталей та композитів — дозволяла поступово збільшувати прольоти споруд, зменшувати їхню матеріалоємність та трансформувати внутрішній простір.

1.1.1. Античний період: народження інженерної типології терм

Першими монументальними спорудами, призначеними для масових водних процедур, стали римські терми. Їхня конструктивна схема базувалася на масивних арково-склепінчастих системах. Найвизначнішим прикладом є Терми Каракалли (Рим, 212–217 рр. н.е.).

Конструктивне рішення головного залу (фригідарію)(рисунок1.1), який мав розміри 58х24 метри, базувалося на застосуванні системи трьох хрестових склепінь, що спиралися на вісім масивних пілонів. Основою слугував opus caementicium (римський бетон) — суміш вапняного розчину з вулканічним попелом та заповнювачем. Це дозволяло створювати монолітні, жорсткі конструкції.

Статична робота такої системи полягала в тому, що величезний горизонтальний розпір від важких склепінь гасився за рахунок власної ваги стін, контрфорсів та прибудов бічних приміщень.

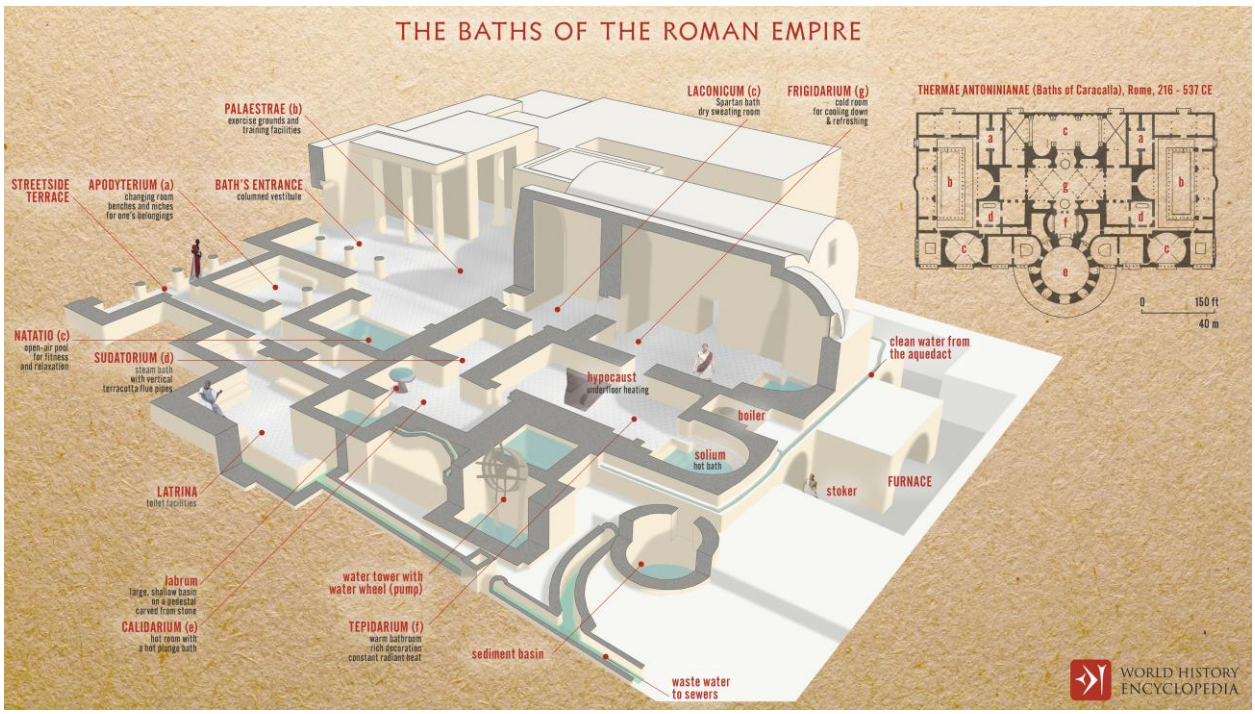


Рисунок 1.1— Планувальна структура Терм Каракалли з виділенням фригідарію.[24]

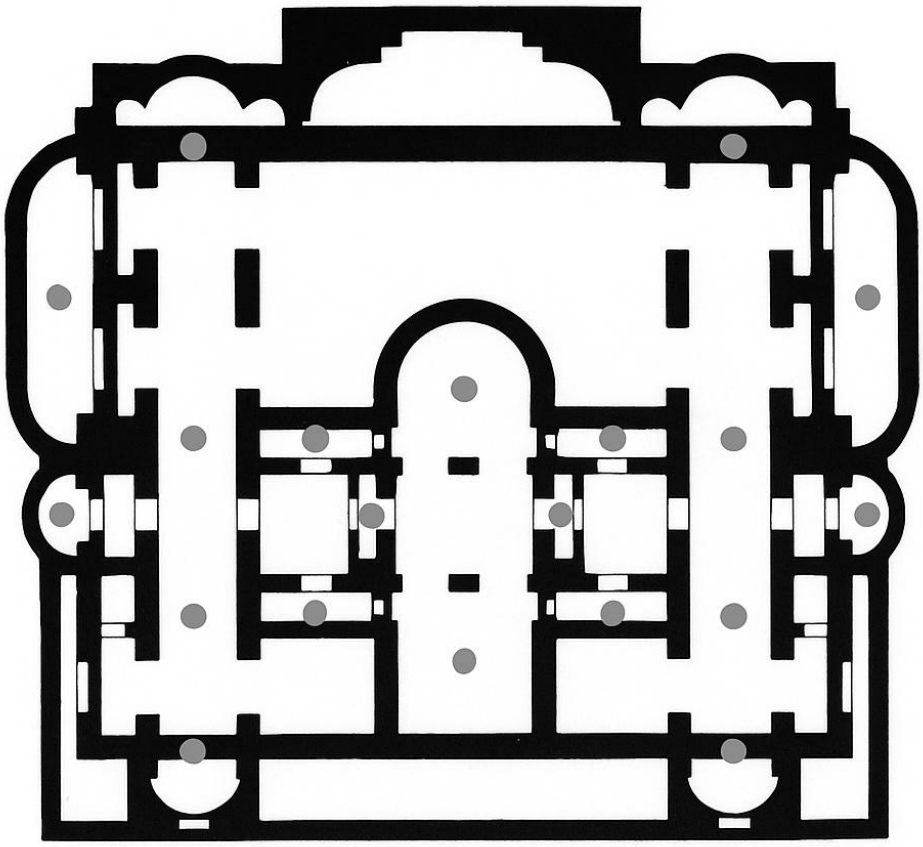


Рисунок 1.2 – Планувальне рішення та точки опирання склепінь римских терм

1.1.2. Індустріальна революція XIX століття: ера металу та скла

У XIX столітті, з розвитком металургії та промислового виробництва у Західній Європі, на зміну каменю прийшли чавун та сталь. Це дозволило реалізувати принципово нову концепцію "зимових садів" та критих басейнів — легких, ажурних споруд, наповнених світлом.

Характерним прикладом є Victoria Baths у Манчестері (1906)(рисунок 1.3) та численні купальні Лондона і Парижа. Тут вперше масово застосовано металеві ферми (системи Полонсо або трикутні ферми з розкосами) на чавунних колонах. Технологічний прорив у застосуванні заклепувальних з'єднань дозволив збирати ферми прольотом 15–25 метрів. Покрівля стала двосхилою, зі скляними ліхтарями по всій довжині коника, що вирішило проблему природної інсоляції та вентиляції. Вже тоді європейські інженери зіткнулися з проблемою корозії сталі у вологому середовищі, що змушувало використовувати масивні елементи з багаторазовим запасом міцності.

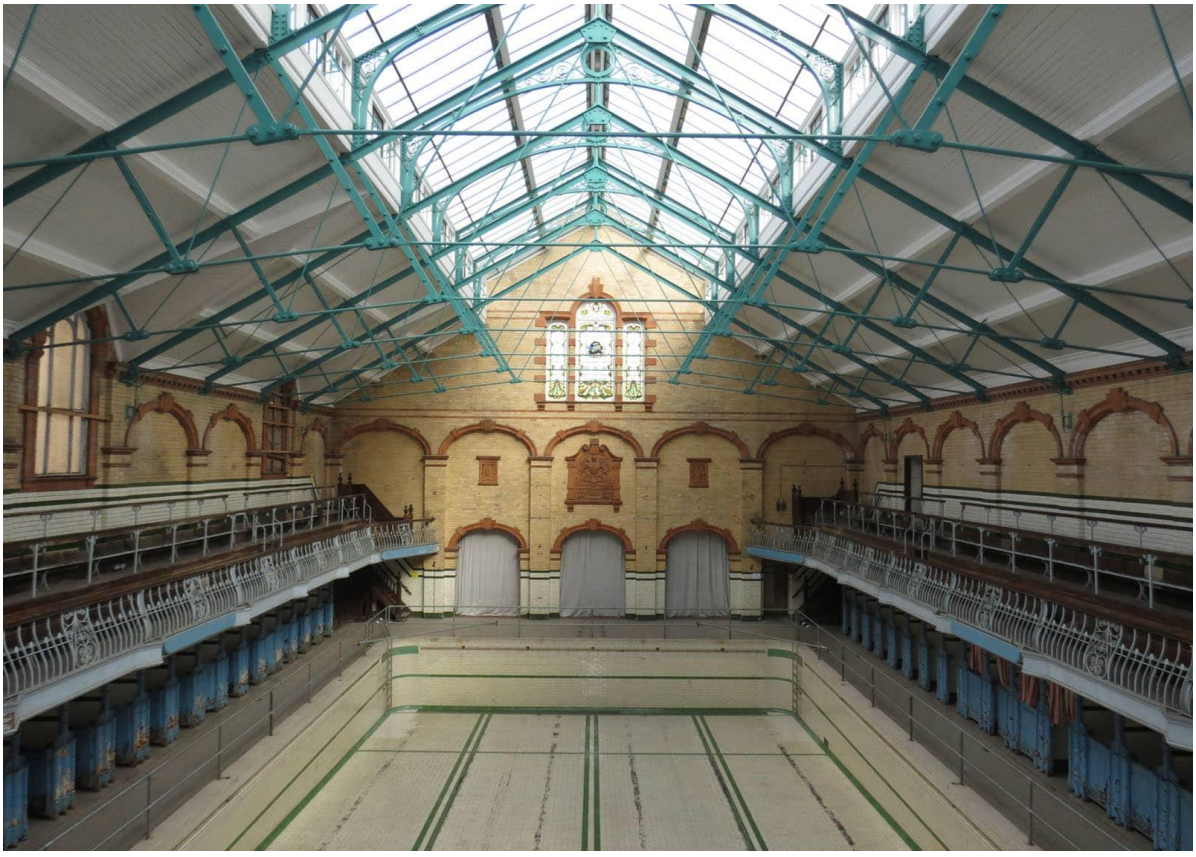


Рисунок 1.3 — Металеві кроквяні ферми у конструкції басейнів вікторіанської епохи (на прикладі Victoria Baths, Манчестер, 1906 р.)

1.1.3. XX століття: залізобетонні оболонки та просторові системи

З появою залізобетону на початку XX століття почалася ера тонкостінних просторових конструкцій. Інженери, такі як П'єр Луїджі Нерві (Італія) та Фелікс Кандела (Іспанія/Мексика), довели, що бетон може бути легким. Для перекриття басейнів використовували циліндричні оболонки, куполи та гіперболічні параболоїди. Такі форми дозволяли перекривати прольоти 40–60 метрів при товщині бетону всього 6–10 см.

У другій половині XX століття набули популярності перехресно-стрижневі системи (системи типу MERO(рисунок 1.4), розроблені в Німеччині). Вони складалися з тисяч уніфікованих стрижнів та вузлів, утворюючи жорстку структурну плиту. Перевагою таких систем був рівномірний розподіл зусиль та висока надійність. Проте для басейнів виявився критичний недолік: величезна кількість щілин у болтових вузлах, де накопичувався конденсат, робила ці системи вразливими до корозії, що призвело до відмови від них у сучасних вологих приміщеннях.

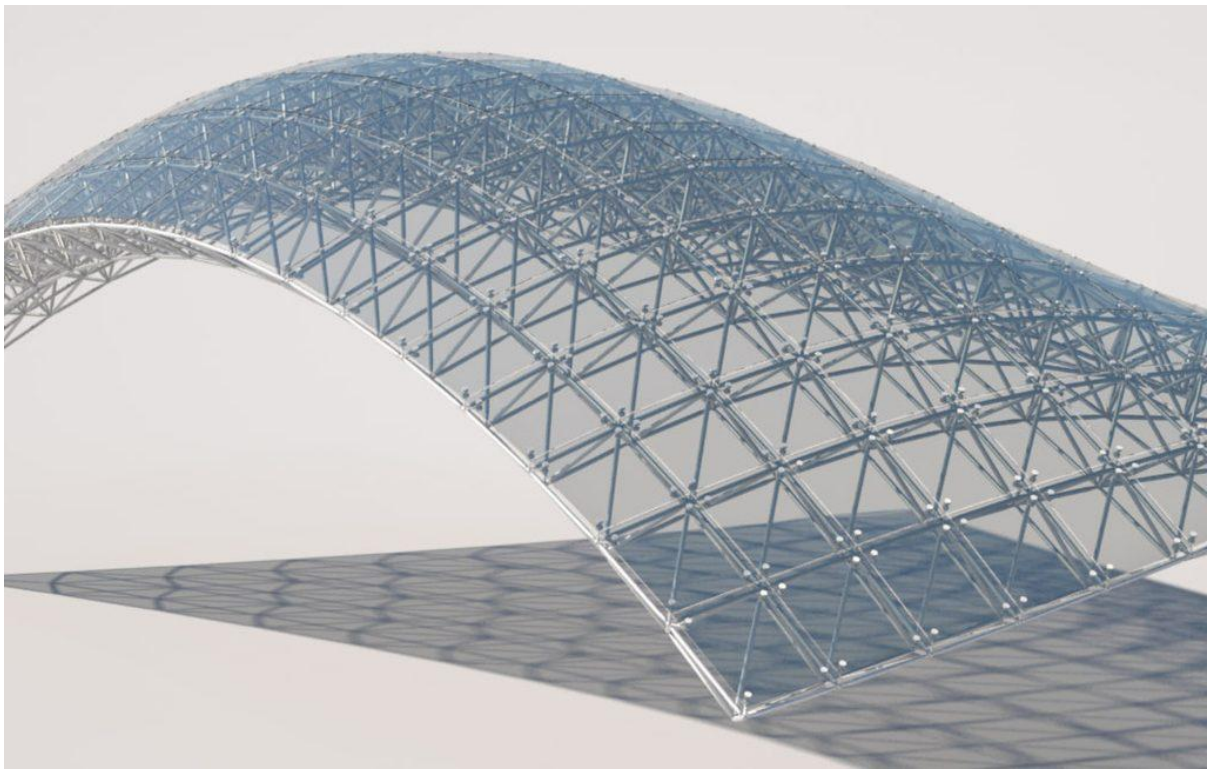


Рисунок 1.4 - Приклад великопрольотного покриття на основі системи MERO

1.1.4. Сучасний етап: біоніка та параметричне моделювання

На межі XX–XXI століть, завдяки комп'ютерному моделюванню (FEM/МСЕ), основним трендом стало використання високоефективних сталевих ферм з гнутозварних профілів (ГЗП) та клеєної деревини. Сучасні європейські проекти характеризуються біонічними формами, гібридністю (поєднання сталі і вант) та високою енергоефективністю.



Рисунок 1.5 — Використання сталевих великопрольотних ферм із гнутозварних профілів (ГЗП)

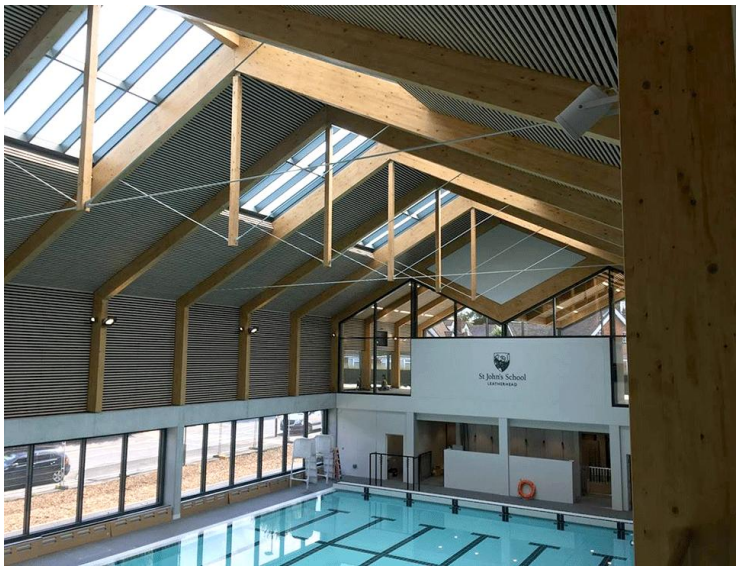


Рисунок 1.6 — Сучасні конструкції покриття з клеєної деревини у будівлях басейнів

1.2. Комплексний аналіз світового досвіду проектування унікальних плавальних комплексів

Аналіз реалізованих об'єктів-аналогів дозволяє виявити ефективні інженерні рішення, які можуть бути адаптовані для проектування басейну в умовах України.

1.2.1. Національний плавальний центр "Water Cube" (Пекін, КНР)

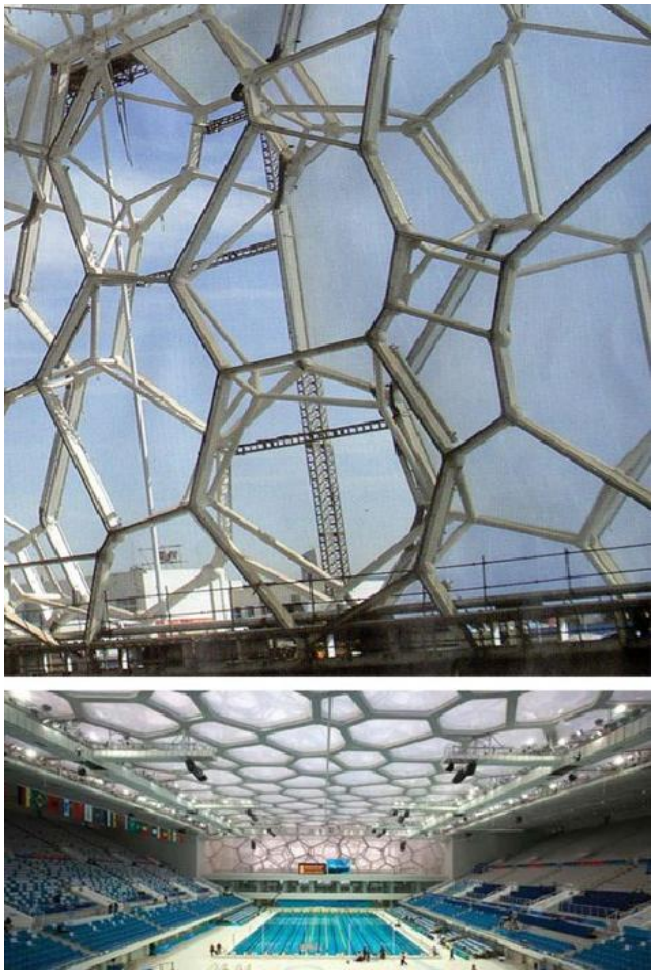


Рисунок 1.7 — Поліедрична структура каркаса Пекінського національного плавального центру

Рік побудови: 2008. Інженери: Arup (Великобританія). Ця будівля є еталоном застосування теорії просторових ґраток. В основу формоутворення покладено структуру Вейра-Федера (Weaire-Phelan structure) — геометричну

модель піни з бульбашок. Каркас складається з 22 000 сталевих балок (труб) та 12 000 зварних вузлів. Загальні розміри — 177x177 м. Прольоти перекриваються без внутрішніх колон завдяки величезній жорсткості просторової "плити" висотою до 7,2 м. Завдяки високій статичній невизначеності система має феноменальну сейсмостійкість. Для зменшення ваги замість скла використано ETFE-мембрани.

1.2.2. Центр водних видів спорту (London Aquatics Centre, Великобританія)

Рік побудови: 2011. Архітектор: Заха Хадід. Дах споруди довжиною 160 м і шириною до 90 м нагадує хвилю. Унікальність конструктивної схеми полягає в тому, що вся покрівля площею 11 000 м² спирається лише на три точки. Основа несучої системи — сталеві ферми змінної висоти та поперечні в'язеві ферми. Вага сталі — понад 3200 тонн. Висновок для даного проекту: Для прольоту 32 м принцип використання ферм змінної будівельної висоти є вкрай ефективним. Збільшення висоти ферми на опорі або в середині прольоту (залежно від епюри моментів) дозволяє економити метал.

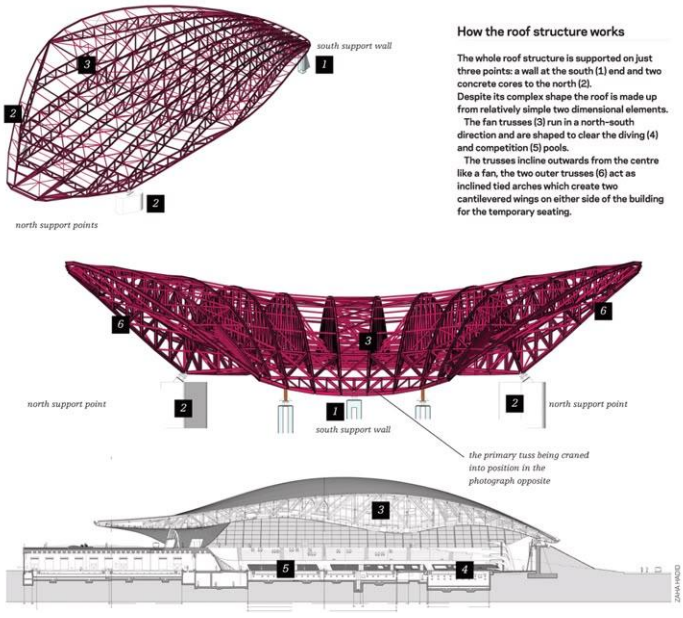


Рисунок 1.8 — Конструктивна схема покриття London Aquatics Centre на трьох опорах.[25]

1.2.3. Європейський досвід: Олімпійський водний центр (Париж, 2024) та технології Альп

Як альтернативу сталевим конструкціям слід розглянути досвід будівництва Олімпійського водного центру в Сен-Дені (Париж, 2024).

Головною особливістю є увігнутий дерев'яний дах прольотом 90 метрів. Несуча система виконана з клеєного бруса (GLT) у вигляді ланцюгової лінії (catenary shape), що дозволяє мінімізувати об'єм приміщення, який потрібно опалювати. Використання сертифікованої європейської деревини. Дерево є хімічно інертним до хлору, що знімає питання корозії. Хоча це рішення є екологічним, його вартість та складність виготовлення гнутоклеєних елементів в умовах України є значно вищою за сталеві каркаси.

Також у Німеччині та Австрії для прольотів 25–35 м популярна технологія Cellular Beams. Двотавр розрізають, зміщують і зварюють, отримуючи вищу балку з отворами для комунікацій. Це рішення є естетичним, але має обмежену несучу здатність при високих снігових навантаженнях.

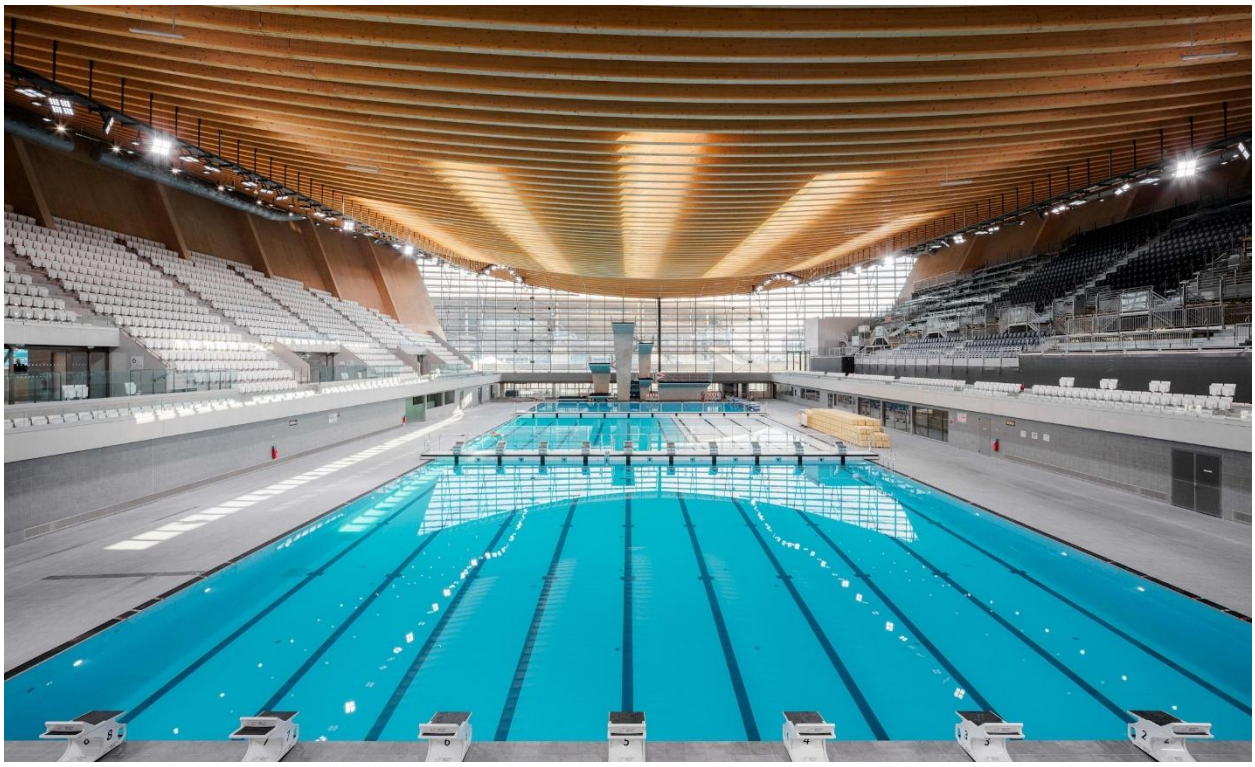


Рисунок 1.9 - Olympic Aquatics Centre (Saint-Denis)

Таблиця 1.1 — Порівняльний аналіз конструктивних рішень світових аналогів басейнів

Назва та локація об'єкта	Проліт, м	Матеріал та тип конструкції	Переваги	Недоліки та обмеження для умов Карпат
National Aquatics Center ("Water Cube") (Пекін, КНР)	177 м (без внутрішніх опор)	Сталь: Просторова жорстка рама (структура Вейра-Федера) з гнутозварних профілів + ETFE-мембрани.	• Висока сейсмостійкість завдяки статичній невизначеності. • Рівномірний розподіл зусиль. • Мінімальна власна вага покриття (ETFE).	• Надзвичайна складність вузлів (22 000 елементів). • Висока вартість виготовлення та монтажу. • ETFE-мембрани не витримають снігового навантаження 320 кг/м².
London Aquatics Centre (Лондон, Великобританія)	160 х 90 м	Сталь: Великопролітні ферми змінної висоти, що спираються на 3 точки.	• Відсутність колон у залі (ідеальний огляд). • Економія металу за рахунок адаптації висоти ферми до епюри моментів. • Естетична виразність.	• Складність монтажу (метод насуву). • Необхідність влаштування масивних опорних фундаментів, що сприймають величезні зосереджені зусилля.
Olympic Aquatics Centre (Париж, Франція, 2024)	90 м	Деревина (GLT): Клеєні дерев'яні балки увігнутої форми (ланцюгова	• Хімічна інертність деревини до хлору (немає корозії).	• Висока вартість імпорту великогабаритних клеєних конструкцій в Україну.

Назва та локація об'єкта	Проліт, м	Матеріал та тип конструкції	Переваги	Недоліки та обмеження для умов Карпат
		лінія).	• Зменшення опалювального об'єму залу завдяки увігнутому даху. • Екологічність.	• Складність захисту дерев'яних торців та вузлів в умовах вологого клімату Карпат.
Типові басейни ЄС (Німеччина, Австрія)	25 – 35 м	Сталь: Перфоровані балки (Cellular Beams) з прокатних двотаврів.	• Можливість прокладання комунікацій крізь стінку балки. • Естетичний вигляд в інтер'єрі. • Зменшення ваги порівняно з суцільним перерізом.	• Недостатня несуча здатність стінки балки при аномальних снігових навантаженнях (3200 Па). • Ризик втрати місцевої стійкості перемичок при великих поперечних силах.
Проектований басейн (Буковель, Україна)	32 м	Сталь: Трапецієподібні ферми з гнутозварних замкнутих профілів (ГЗП).	• Оптимальне співвідношення "ціна/якість/надійність". • Герметичність труб (захист від внутрішньої корозії). • Висока жорсткість та стійкість стиснутих елементів.	• Необхідність якісного антикорозійного захисту зовнішніх поверхонь. • Ретельний контроль якості зварних швів.

1.3. Класифікація, об'ємно-планувальні вимоги та специфіка експлуатації басейнів в Україні

1.3.1. Типологія та геометричні параметри згідно з нормативною базою

Проектування плавальних басейнів в Україні здійснюється відповідно до вимог ДБН В.2.2-13:2003 «Спортивні та фізкультурно-оздоровчі споруди»[26]. Класифікація об'єктів базується на їхньому функціональному призначенні, пропускній здатності та параметрах ванни.

1. Функціональна класифікація/

Спортивні (демонстраційні). Призначені для проведення змагань національного та міжнародного рівнів. Обов'язкова наявність трибун, системи хронометражу та спеціального освітлення. Розміри ванн суворо регламентовані (50×25 м або 25×16 м).

Фізкультурно-оздоровчі. Призначені для навчання плаванню, загального оздоровлення та аматорських занять. Геометрія ванн може бути довільною, проте частіше уніфікується під типові будівельні сітки колон.

Аквапарки та розважальні комплекси. Характеризуються складною конфігурацією плану та змінною висотою приміщень.

2. Об'ємно-планувальні вимоги до залів басейнів.

Головною особливістю, що впливає на вибір несучих конструкцій, є необхідність перекриття значних прольотів без внутрішніх опор. Ширина залу ($L_{залу}$) визначається як сума ширини дзеркала води та обхідних доріжок.

$$L_{залу}=L_{ванни}+b_{обхід1}+b_{обхід2}$$

Згідно з нормами:

▪Мінімальна ширина обхідної доріжки — 1,5–2,0 м (бічні) та 3,0 м (торцеві зі стартовими тумбами).

▪Висота залу (від поверхні води до низу виступаючих конструкцій) — не менше 5,4 м для ванн без стрибків і до 10–12 м для стрибкових ванн.

Для типового спортивного басейну 25×16 м (як у даному проекті) мінімальний проліт залу складає: 16,0+2,0+2,0=20,0м.

Враховуючи необхідність розміщення трибун або зон відпочинку, реальні прольоти зазвичай становлять 24, 30 або 36 метрів, що автоматично відносить такі будівлі до категорії великопролітних споруд (клас наслідків CC2 або CC3).

1.3.2. Агресивність внутрішнього середовища та фізика корозійних процесів

Експлуатаційне середовище залів басейнів є одним із найскладніших для будівельних конструкцій. Його специфіка формується взаємодією трьох факторів: вологості, температури та хімічних реагентів.

1. Температурно-вологісний режим:

- Температура води (t_w): +26...+29°C.
- Температура повітря (t_α): Згідно з санітарними нормами, має бути на 1–2°C вищою за температуру води (для запобігання інтенсивному випаровуванню та протягам), тобто +28...+30 °C.
- Відносна вологість (φ): Нормативне значення 60–65%, проте в реальних умовах (пікове навантаження, нічний час) може досягати 75–80%.

2. Проблема точки роси та конденсації. При параметрах повітря t_α=30°C і φ=65%, температура точки роси становить близько +23 °C. У зимовий період в умовах Карпат (зовнішня температура до -25 °C) будь-яка ділянка конструкції покриття (прогін, вузол ферми, кріплення фахверка), що має недостатнє утеплення ("місток холоду"), миттєво охолоджується нижче +23°C. Це призводить до рясного випадіння конденсату безпосередньо на металеві елементи.

3. Хімічна агресія. Для дезінфекції води традиційно використовують

хлорування. Продукти взаємодії хлору з органічними речовинами утворюють леткі сполуки — хлораміни.

Хлораміни підіймаються вгору разом із теплим повітрям до підпокрівельного простору. Розчиняючись у конденсаті на поверхні металу, вони утворюють агресивний електроліт зі слідами соляної кислоти (HCl) та гіпохлоритів. Це середовище руйнує не тільки звичайну сталь, але й алюміній та навіть нержавіючу сталь марок AISI 304/316 (через механізм піттингової корозії).

Класифікація середовища за ДСТУ Б В.2.6-193:2013[27]. За сукупністю факторів (група газів А, вологість >60%) середовище в залі басейну класифікується як:

- Середньоагресивне — при якісно працюючій припливно-витяжній вентиляції.
- Сильноагресивне — у застійних зонах (кути, вузли ферм, за підшивною стелею), де відсутній рух повітря.

1.3.3. Вимоги до антикорозійного захисту (АКЗ)

Враховуючи агресивність середовища, до несучих конструкцій покриття висуваються підвищені вимоги щодо довговічності захисних покриттів згідно з ДСТУ ISO 12944-5:2019 «Фарби та лаки. Захист від корозії сталевих конструкцій»[28].

Рекомендовані системи захисту для категорії корозійної активності С4 (висока) або С5 (дуже висока):

1. Гаряче цинкування + лакофарбове покриття. Це найефективніший метод, де цинк забезпечує катодний захист, а фарба — бар'єрний.
2. Нанесення епоксидного ґрунту (багатого на цинк) та поліуретанової фінішної емалі. Загальна товщина сухого шару (DFT) повинна складати не менше 200–240 мкм.

Важливим конструктивним заходом є використання замкнутих

гнутозварних профілів (ГЗП) замість відкритих перерізів (двотаврів, кутиків). Замкнутий контур зменшує площу поверхні, що контактує з агресивним середовищем, на 30–40% та ліквідує важкодоступні для фарбування зони.

Таблиця 1.2— Характеристики агресивного середовища та вимоги до захисту сталевих конструкцій покриття

Параметр / Характеристика	Значення / Опис	Примітка / Джерело
Температура повітря ($t_{пов}$)	+28⋯+30°C	Згідно з санітарними нормами (на 1-2°C вище температури води)
Відносна вологість (φ)	60…75%	Пікові значення можуть досягати 80% у нічний час
Температура точки роси ($T_р$)	+21⋯+24°C	Критична температура поверхні металу, при якій починається конденсація вологи
Хімічні агресивні агенти	Хлораміни (NH_2Cl), гіпохлорити	Леткі сполуки хлору, що розчиняються у конденсаті, утворюючи електроліт
Категорія корозійної активності	С4 (Висока) або С5 (Дуже висока)	Згідно з ДСТУ ISO 12944-2:2019 (для приміщень басейнів)
Тип корозійного руйнування	Електрохімічна, виразкова (піттингова), щілинна	Найнебезпечніша у щілинах, зварних швах та вузлах з'єднання
Рекомендована система захисту	Епоксидно-поліуретанова (Epoxy/PUR) або Дуплекс-система (Zn + Фарба)	Поліуретан забезпечує стійкість до УФ-випромінювання та хімії, епоксид — адгезію та бар'єр
Мінімальна товщина покриття (NDFT)	200 \ 320 мкм	Для забезпечення довговічності покриття «High» (15–25 років) згідно з ДСТУ ISO 12944-5

1.4 Обґрунтування вибору конструктивної схеми покриття

Площинні ферми з гнутозварних профілів (ГЗП).

Для прольоту 32 м найбільш раціональним рішенням є застосування сталевих ферм із замкнутих гнутозварних профілів (прямокутних труб). Переваги даного рішення:

Аеродинаміка та гігієна. Гладка поверхня труб та відсутність щілин (на відміну від ферм з парних кутиків) запобігає накопиченню пилу та вологи, спрощує нанесення та поновлення АКЗ.

Робота на стійкість. Замкнуті профілі мають високий радіус інерції в обох площинах ($i_x \approx i_y$), що робить їх ефективними при роботі на стиск (верхній пояс ферми, стиснуті розкоси).

Естетика. Такі ферми органічно вписуються в інтер'єр без необхідності влаштування підвісної стелі.

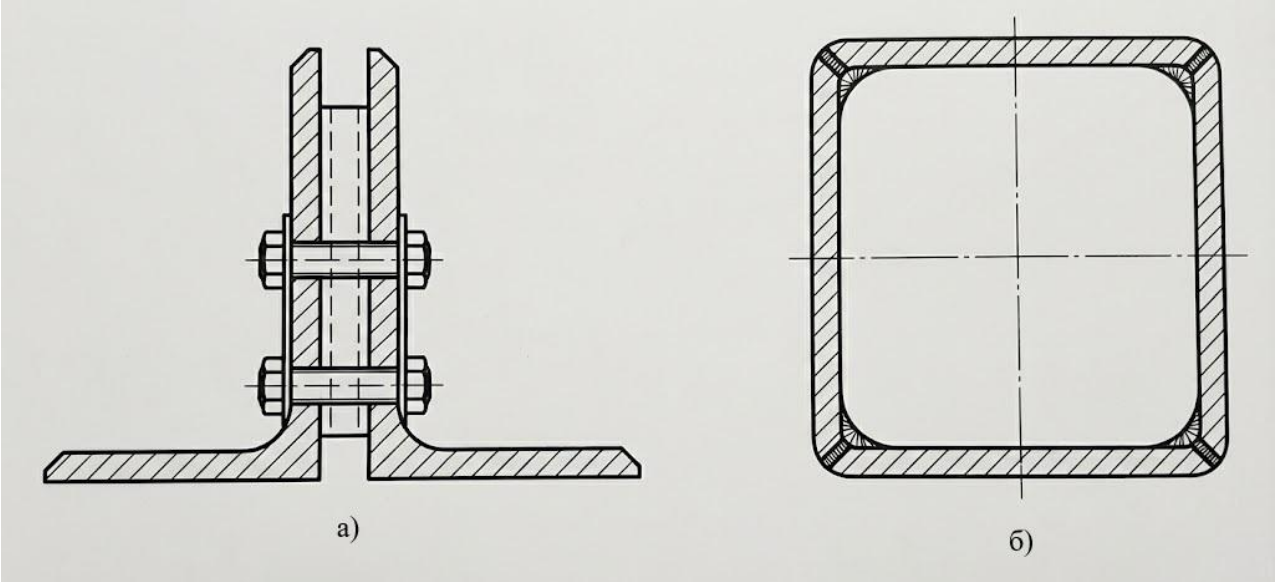


Рисунок 1.10 — Порівняння перерізів елементів кроквяних ферм
а) - парні кутики, б) - гнутозварна труба

Аналіз альтернативних варіантів.

Рамні конструкції: При прольоті 32 м рами зі змінним перерізом (гофробалки) мають значно більшу металоємність порівняно з фермами.

Структурні плити (MERO): Висока вартість антикорозійного захисту

тисяч болтових вузлів робить їх експлуатацію в басейні економічно невигідною.

Деревина: В умовах України використання великопролітних клеєдерев'яних конструкцій є значно дорожчим за сталь через відсутність місцевого виробництва елементів необхідного перерізу та необхідність імпорту.

1.5 Аналіз навантажень та впливів для умов будівництва

Об'єкт дослідження розташований у с. Поляниця (Івано-Франківська обл.), що накладає специфічні вимоги до розрахунку.

Аномальні снігові навантаження. Згідно з ДБН В.1.2-2:2006, район будівництва характеризується сніговим навантаженням S_0 =3200 Па (320 кг/м²). Крім рівномірного розподілу, критично важливим є розрахунок на нерівномірні схеми (снігові мішки). Коефіцієнт μ може досягати значень 2.0–2.5 у місцях перепаду висот (деформаційний шов між блоками) або біля парапетів. Саме цей фактор часто є причиною аварій покриттів.

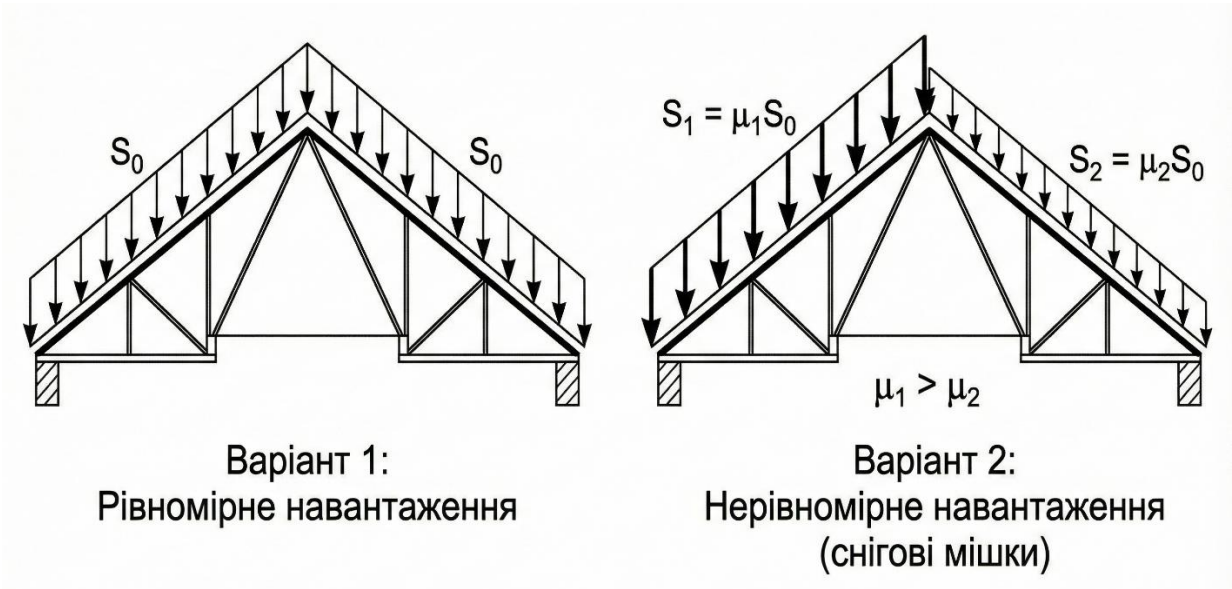


Рисунок 1.11 — Варіанти снігового завантаження для розрахунку ферми

Сейсмічні впливи. Майданчик будівництва входить до сейсмічно

активної зони (6–7 балів). Згідно з ДБН В.1.1-12:2014, при розрахунку на сейсміку маса снігу враховується з коефіцієнтом сполучення ψ=0.5. Для великопролітної ферми з масивним сніговим покривом це створює значні інерційні сили, що викликають появу додаткових поздовжніх зусиль у в'язях та колонах, а також вимагають перевірки на вертикальну складову сейсмічного коливання.

1.6 Огляд наукової літератури та нормативної бази

Для обґрунтування прийнятих проектних рішень та методики розрахунку було проведено аналіз сучасних наукових публікацій, нормативних документів та технічної літератури. Результати огляду систематизовано в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 — Аналітичний огляд джерел за темою дослідження

Автор / Розробник	Назва джерела	Короткий опис та значення для роботи	Джерело / Посилання
Городецький О.С., Євзеров І.Д.	Комп'ютерні моделі конструкцій (Computer models of structures)	Фундаментальна праця від розробників ЛІРА-САПР. Описує теоретичні основи МСЕ, типи скінченних елементів (зокрема тип 10 для просторових стрижнів) та методи вирішення систем рівнянь.	Київ: Факт, 2005. ISBN 966-359-026-0
Барабаш М.С., Лапенко О.І.	Моделювання роботи	Практичний посібник з	Київ: НАУ, 2020.

Автор / Розробник	Назва джерела	Короткий опис та значення для роботи	Джерело / Посилання
	будівельних конструкцій в ПК ЛІРА-САПР	моделювання. Важливий для коректного завдання жорсткості вузлів ферм та аналізу результатів розрахунку.	
Шимановський О.В.	Сталеві конструкції: навч. посібник	Базове джерело з проектування сталевих конструкцій в Україні. Розглядає роботу гнутозварних профілів (ГЗП) та методи їх розрахунку.	Київ: Сталь, 2010.
Euro Inox (Європейська асоціація виробників)	Safe Use of Stainless Steel in Swimming Pool Environments	Науково-технічна публікація, що описує механізми корозійного розтріскування під напругою (SCC) у середовищі басейнів. Обґрунтовує вимоги до АКЗ.	Materials and Applications Series, Vol. 13.Luxembourg.
Мінрегіонбуд України	ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи	Нормативний документ, що регламентує значення снігових навантажень. Особлива увага приділяється	Офіційне видання. Київ, 2006.

Автор / Розробник	Назва джерела	Короткий опис та значення для роботи	Джерело / Посилання
		Додатку Ж (схеми снігових заметів).	
ISO (International Organization for Standardization)	ISO 4355:2013 Bases for design of structures — Determination of snow loads on roofs	Міжнародний стандарт, на основі якого розроблено українські норми. Містить розширені методики розрахунку коефіцієнта μ для складних покрівель.	ISO/TC 98/SC 3
Перельмутер А.В., Слівкер В.І.	Розрахункові моделі споруд і можливість їх аналізу	Аналіз проблем нелінійності та стійкості великопролітних систем. Обґрунтовує необхідність геометрично нелінійного розрахунку для прольотів >30 м.	Київ: Сталь, 2002.
ДП "УкрНДІпроектстальконструкція"	ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування	Основний документ для перевірки перерізів (стійкість, міцність) та розрахунку зварних з'єднань ферм з труб.	Київ: Мінрегіон, 2014.

1.7. Теоретичні основи комп'ютерного моделювання (МСЕ)

В сучасній практиці розрахунок НДС виконується чисельними методами.

Математична модель методу скінченних елементів.

МСЕ базується на дискретизації конструкції. Основне рівняння рівноваги у формі методу переміщень має вигляд:

$$[K]\cdot\{Z\}=\{P\}$$

де [K] — глобальна матриця жорсткості системи.

Типізація скінченних елементів для ферм з ГЗП.

Критично важливим є вибір типу СЕ. Використання універсального просторового стрижневого елемента (Тип 10) дозволяє врахувати реальну жорсткість зварних вузлів та моменти M_y,M_z, що виникають внаслідок розцентрування.

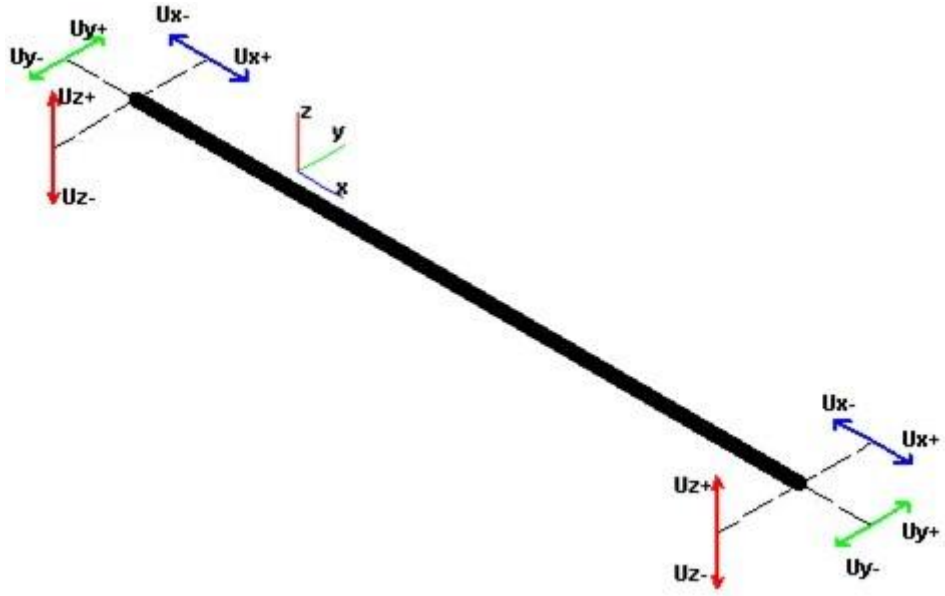


Рисунок 1.12 — Ступені вільності універсального стрижневого елемента

Геометрична нелінійність. Для прольоту 32 м розрахунок необхідно виконувати за деформованою схемою. Це дозволяє виявити ефекти втрати стійкості, які неможливо побачити в лінійній постановці.

1.8. Висновки до розділу 1

Проведений аналіз дозволяє зробити наступні висновки:

Актуальність: Проектування басейну в Карпатах (сніг 320 кг/м², сейсміка 7 балів) вимагає індивідуального підходу, оскільки типові рішення не розраховані на такі навантаження.

Конструктив: Найбільш ефективною є схема з використанням трапецієподібних ферм із гнутозварних профілів (ГЗП), що підтверджується європейським досвідом.

Методологія: Ігнорування жорсткості вузлів у розрахункових моделях може призвести до аварійних ситуацій. Необхідне використання просторових моделей (тип КЕ 10) та врахування геометричної нелінійності.

РОЗДІЛ 2
ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНОЇ СХЕМИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ПАРАМЕТРІВ БУДІВЛІ

2.1. Архітектурно-планувальні та конструктивні рішення

Розміри будівлі: 75,75 х 32,0 м.

Розмір чаші басейну: 50,0 х 26,0 м, глибина: 3,0 м.

Висота блоку басейну: 13,5 м; висота блоку АПК (адміністративно-побутового корпусу): 11,5 м.

Конструктивна схема будівлі- залізобетонний каркас.

Конструктивні особливості по блоках.

В осях 1-5 (АПК): колони, перекриття та покриття з монолітного залізобетону.

В осях 6-16 (басейн): колони та фахверки — збірні залізобетонні; кроквяні ферми — зі сталевих профілів; покриття — зі сталевого профільованого настилу по прогонах зі сталевих прокатних швелерів.

На відмітці +3,600 (навколо чаші басейну) — монолітне залізобетонне перекриття.

Основні конструкції та матеріали:

Фундаменти: монолітні ростверки по палях довжиною 12 м. Загальна кількість паль — 557 шт., тип С120.30-12 (бетон класу С20/25, F100, W6).

Зовнішні стіни: сендвіч-панелі з базальтовим утеплювачем товщиною 200 мм.

Стіни сходових кліток: монолітний залізобетон товщиною 200 мм із системою навісного вентильованого фасаду (утеплювач 130 мм, повітряний прошарок 40 мм та керамограніт).

Внутрішні перегородки: повнотіла керамічна цегла марки КР-р-по 250х120х65/1НФ/100/2,0/25 (згідно з ДСТУ Б В.2.7-61:2008) на розчині М75 з армуванням сіткою з арматури Ø4Вр-І з вічком 50х50 мм через кожні 5 рядів

кладки по висоті.

Покриття басейну: м'яка покрівля по металевому каркасу із системи балок, профнастилу та ферм з організованим внутрішнім водостоком.

Покриття АПК: плоска покрівля з організованим внутрішнім водостоком.

Оздоблення:

Вхідні групи: піддашки входів облицьовані композитними панелями. Ґанки та цоколь облицьовані керамогранітом темно-сірого кольору на клейовій суміші.

Заповнення прорізів:

Вікна — металопластикові (ПВХ), колір білий, з однокамерним енергоощадним склопакетом.

Зовнішні вхідні двері — алюмінієві, частково засклені.

Двері евакуаційних виходів — металеві утеплені.

Внутрішнє оздоблення: зовнішні стіни із сендвіч-панелей у кабінетах обшиваються гіпсокартонними листами (ГКЛ) по металевому каркасу з подальшим фінішним опорядженням.

Таблиця 2.1 - Техніко-економічні показники

Найменування показника	Од. вим.	Показник
Загальна площа	м²	4172,6
Площа забудови	м²	2669,1
Будівельний об'єм	м³	32214,6

Плавальний басейн, Івано-Франківська обл., с. Поляниця (ГК «Буковель»)



Рисунок 2.1 - Загальний вигляд

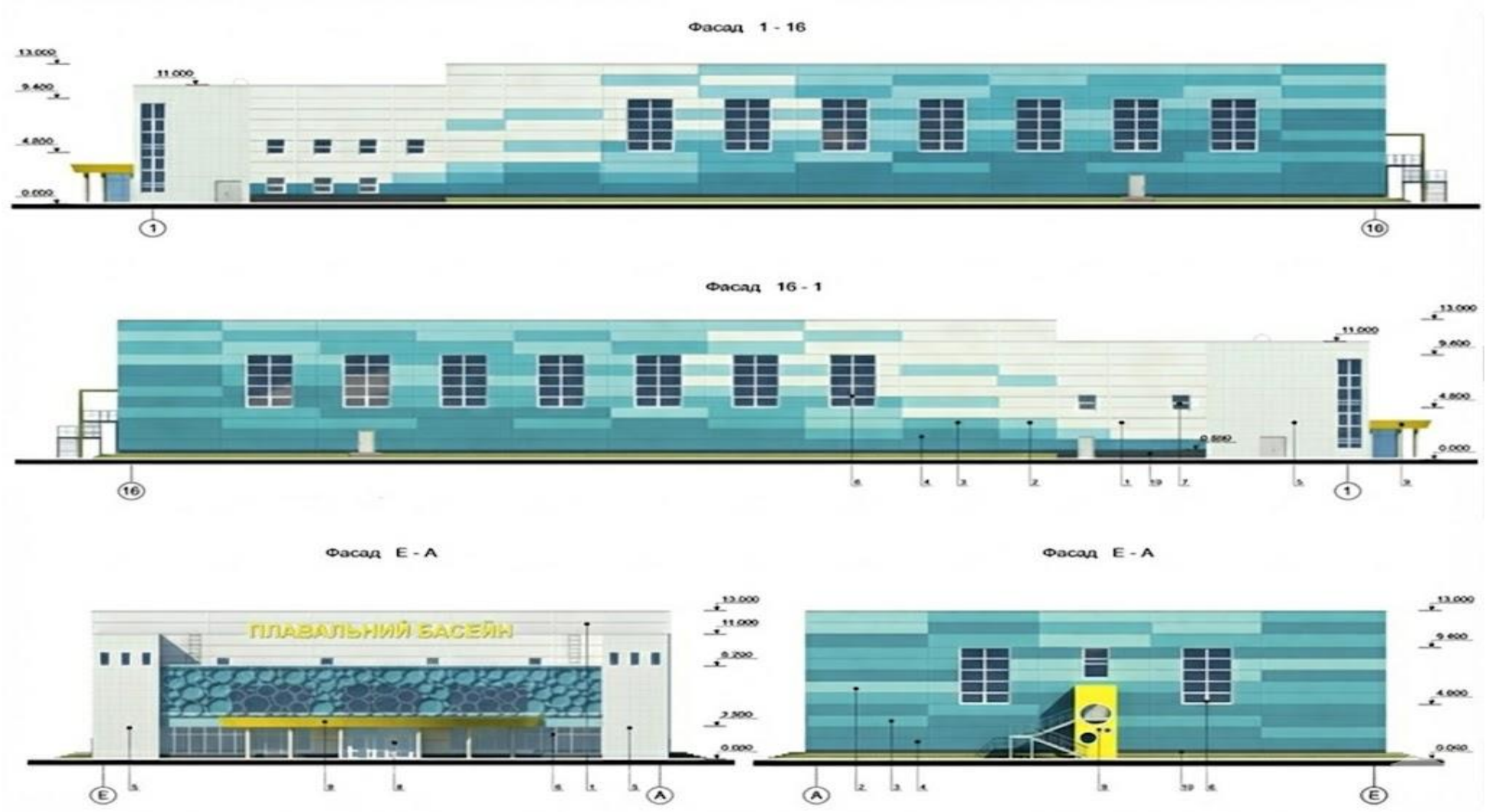


Рисунок 2.2 - Фасади в осях 1-16, 16-1, А-Е, Е-А

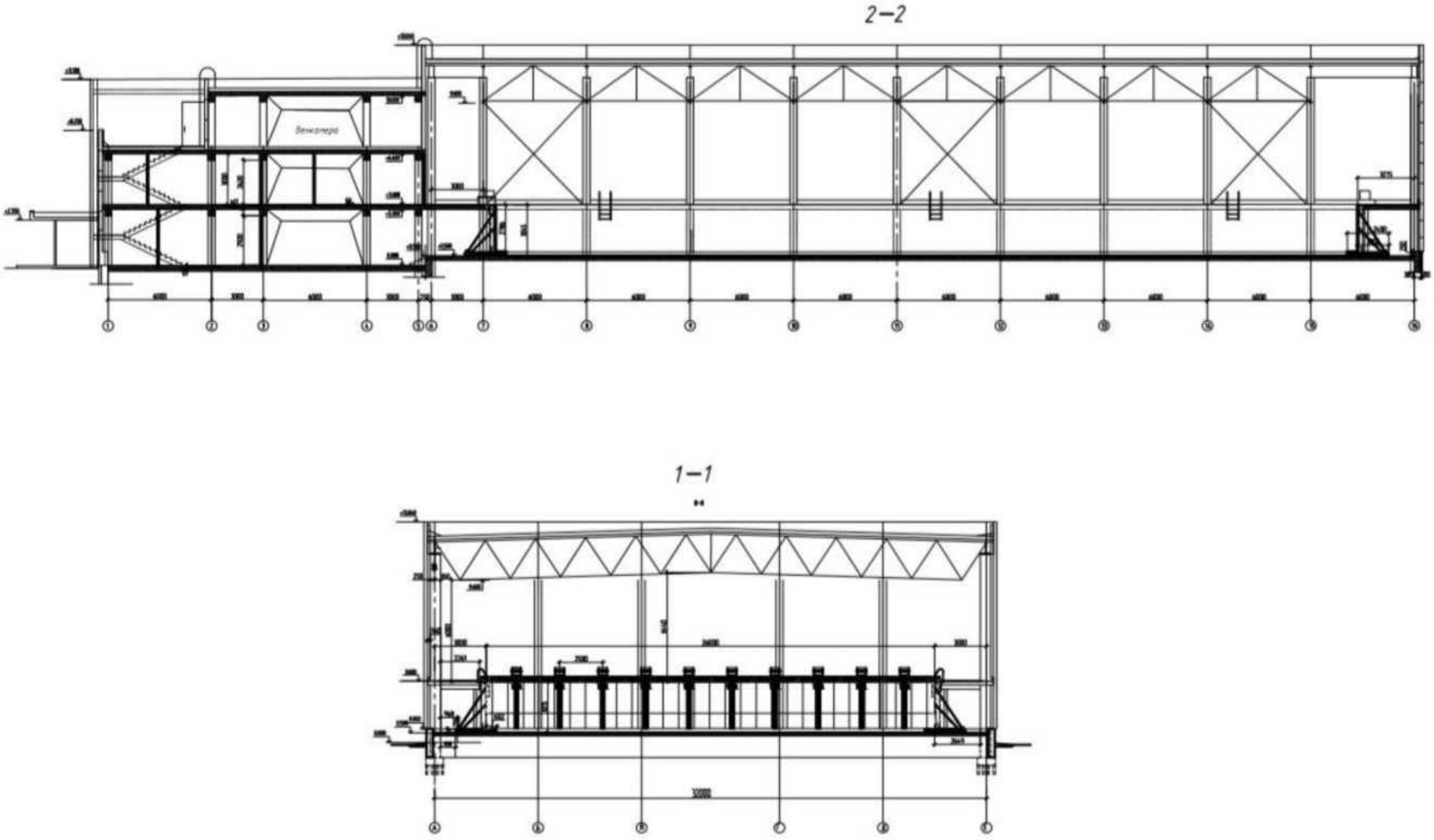


Рисунок 2.3 - Розрізи 1-1, 2-2

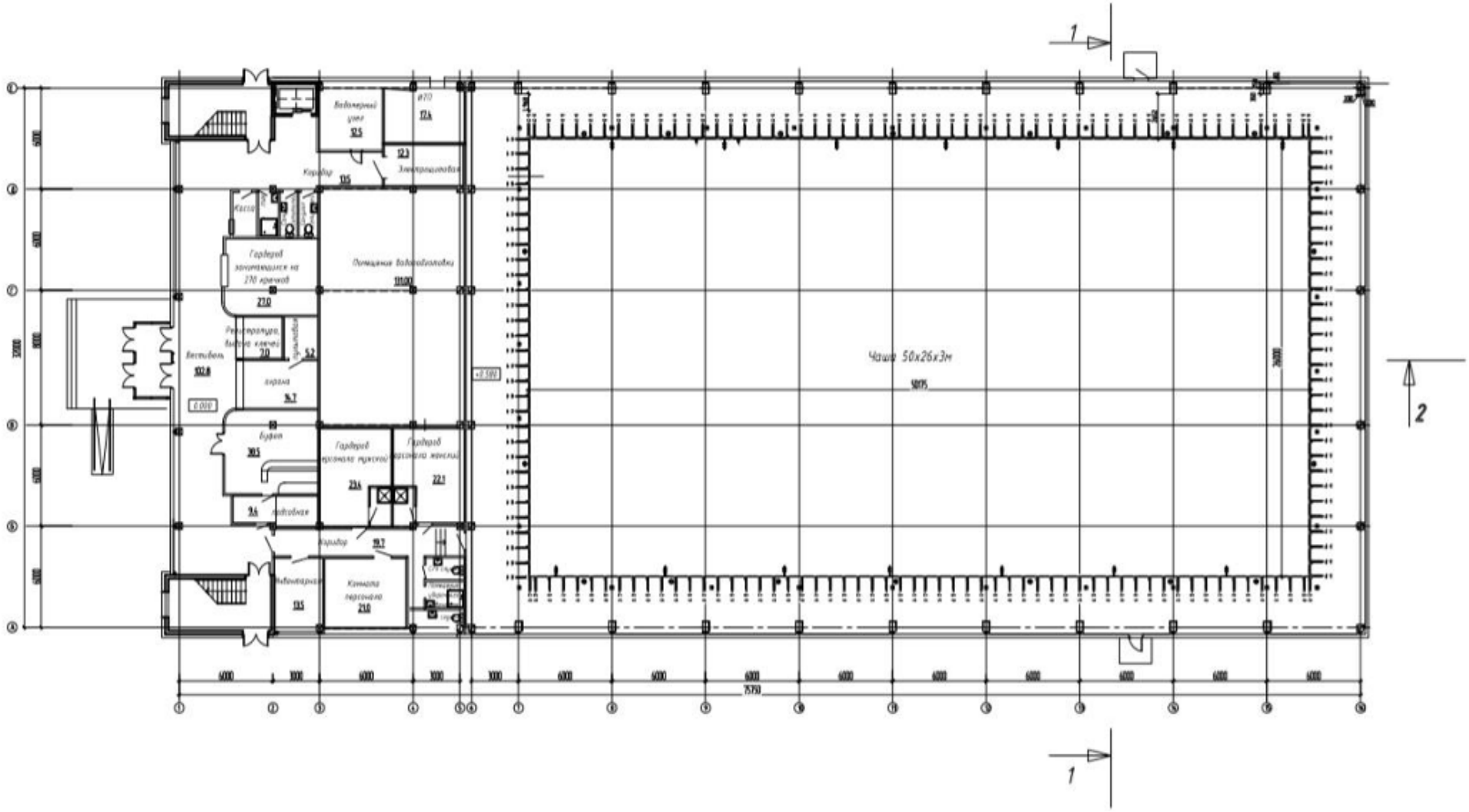


Рисунок 2.4 - План першого поверху

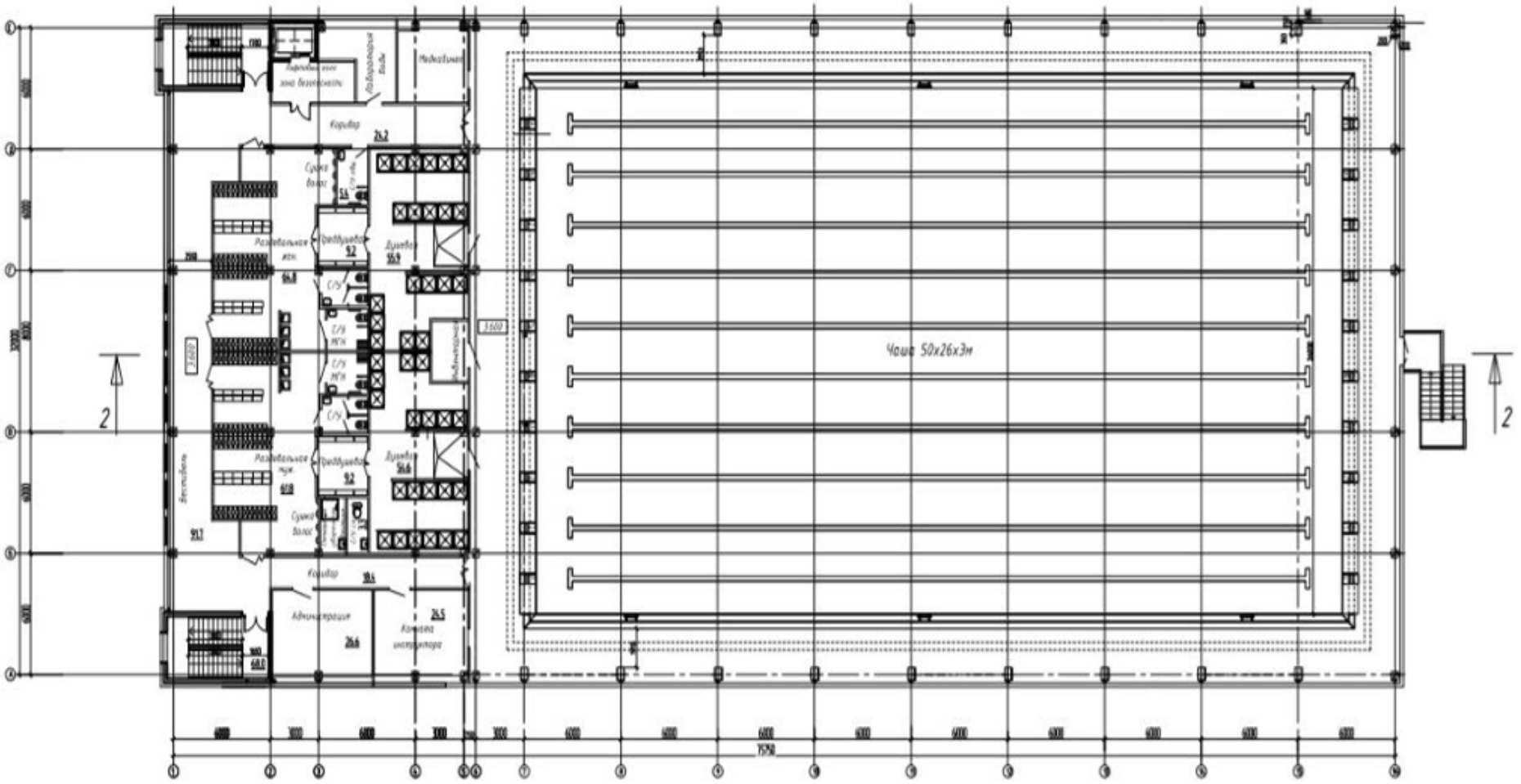


Рисунок 2.5 - План другого поверху

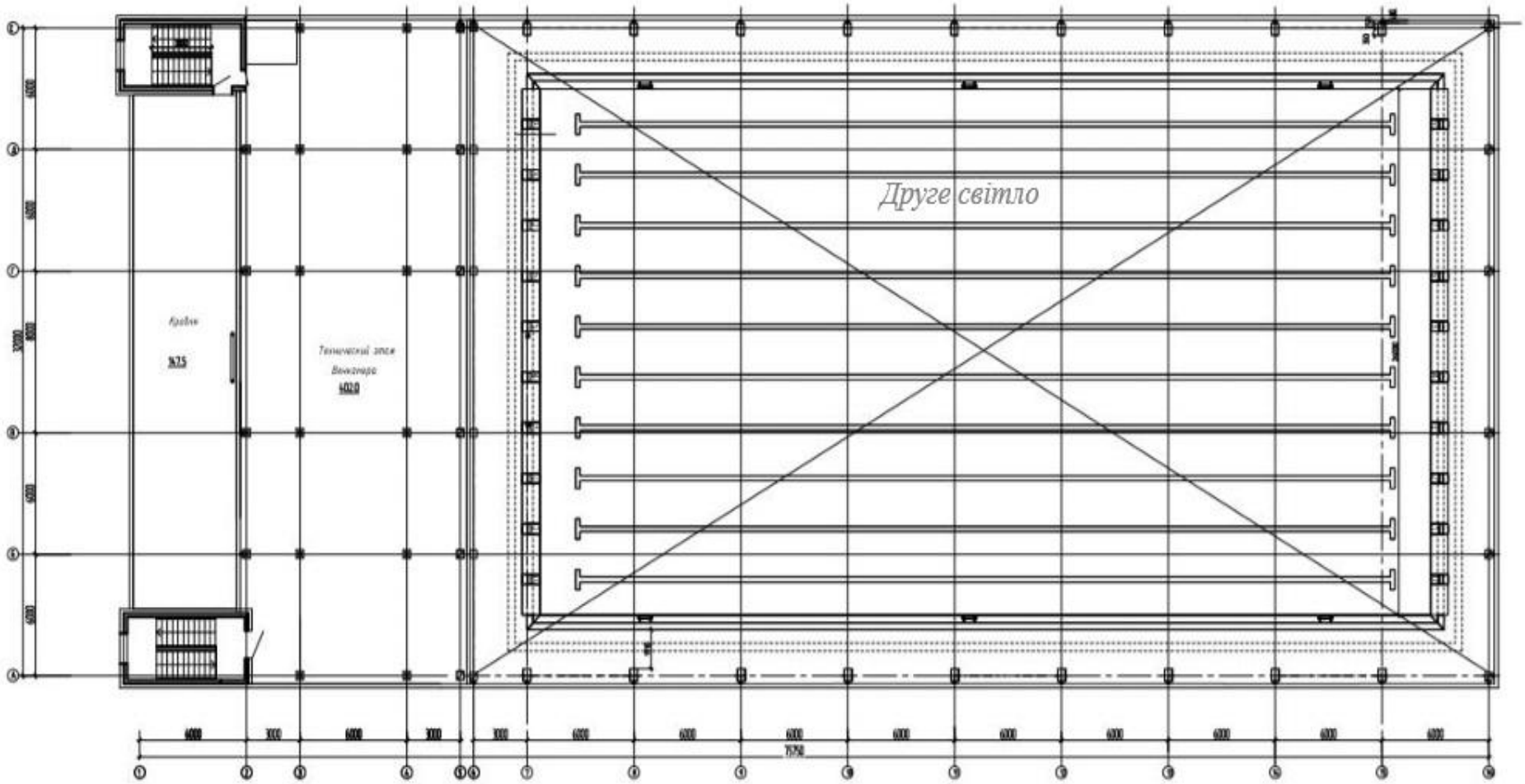


Рисунок 2.6 - План технічного поверху

2.2 Теплотехнічний розрахунок огороджувальних конструкцій (з урахуванням гірських умов будівництва)

Теплотехнічний розрахунок виконано відповідно до вимог ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція будівель» та ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 «Будівельна кліматологія».

Вихідні кліматичні дані.

Майданчик будівництва розташований у с. Поляниця Івано-Франківської області (ГК «Буковель»). Ця територія має специфічні кліматичні умови, характерні для гірських районів Карпат. Температурна зона: Згідно з ДБН В.2.6-31:2021, Івано-Франківська область відноситься до І (першої) температурної зони. Розрахункова температура зовнішнього повітря. Згідно з ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010, для м. Івано-Франківськ температура найхолоднішої п'ятиденки (забезпеченістю 0,92) становить −22℃.

Враховуючи висотне розташування с. Поляниця (~900–920 м над рівнем моря), вводиться поправка на висоту (зниження температури на 0,6∘С на кожні 100 м підйому). Для розрахунку приймаємо уточнену температуру для гірського району:

t_{ext}=−25℃

Вологісний режим: Карпати характеризуються підвищеною вологістю повітря та значною кількістю опадів. Зона вологості — волога.

Умови експлуатації приміщення (Зал басейну).

Розрахункова температура внутрішнього повітря: t_{int}=+26℃.

Відносна вологість повітря: φ_{int}=60%.

Вологісний режим приміщення: мокрий.

Характеристика конструктивного рішення стіни. Проектом передбачено влаштування зовнішніх стін із тришарових сендвіч-панелей заводського виготовлення. Утеплювач: Мінеральна вата на основі базальтового волокна (негорюча).

Товщина панелі: δ=200мм=0,2м.

Коефіцієнт теплопровідності утеплювача: λ=0,044Вт/(м·К) (з урахуванням умов експлуатації А).

Визначення нормативного опору теплопередачі.

Згідно з ДБН В.2.6-31:2021 (Таблиця 1), мінімально допустиме значення опору теплопередачі $R_{q,min}$ для зовнішніх стін громадських будівель у І температурній зоні становить:

$R_{q,min}$=4,00 м^2·К/Вт

Розрахунок приведеного опору теплопередачі (RΣ). Опір теплопередачі конструкції визначається за формулою:

$$R\Sigma=\alpha_{int1}+R_k+\alpha_{ext1}$$

де:

α_{int}=8,7Вт/(м^2·К) — коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні.

α_{ext}=23Вт/(м^2·К) — коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні (для зимових умов).

R_k — термічний опір шару утеплювача:

$R_k=\lambda\delta$=0,0440,2=4,545 м^2·К/Вт

Підставляємо значення у формулу:

$$R\Sigma=8,71+4,545+231=0,115+4,545+0,043=4,703 \text{ м}^2\cdot\text{К/Вт}$$

Перевірка виконання вимог теплоізоляції.

Порівнюємо розрахункове значення з нормативним:

$$R\Sigma=4,70\text{м}^2\cdot\text{К/Вт}>R_{q,min}=4,00\text{м}^2\cdot\text{К/Вт}$$

Запас теплозахисту становить:

$$\Delta R=4,004,70−4,00\cdot100\%=17,5\%$$

Запроектована конструкція зовнішньої стіни з сендвіч-панелей товщиною 200 мм має приведений опір теплопередачі 4,70 м²·К/Вт, що задовольняє вимогам ДБН В.2.6-31:2021 для І температурної зони України, навіть з урахуванням суворих кліматичних умов Карпатського регіону (с. Поляниця). Обрана товщина утеплювача також забезпечує знащення "точки роси" в товщі утеплювача, ближче до зовнішньої грані, що запобігає утворенню конденсату на внутрішній поверхні стін у приміщенні басейну.

2.3 Визначення навантажень та впливів на несучі конструкції

Розрахунок будівельних конструкцій розпочинається зі збору навантажень, який виконується відповідно до вимог ДБН В.1.2-2:2006 «Навантаження і впливи».

Основні характеристики навантажень:

▪Характеристичне значення — основна характеристика навантаження, встановлена нормами, що відповідає нормальним умовам експлуатації.

▪Граничне розрахункове значення — визначається множенням характеристичного значення на коефіцієнт надійності за навантаженням γ_{fm}.

Класифікація навантажень за тривалістю дії:

1. Постійні навантаження: вага несучих та огороджувальних конструкцій, тиск ґрунтів. Характеристичні значення приймаються за проектними даними (геометричні розміри, густина матеріалів) або паспортними даними заводів-виробників.
2. Тимчасові навантаження:
   - Дієві (тривалі): вага тимчасових перегородок, стаціонарного обладнання, навантаження на перекриття складів, тиск рідин і газів у ємностях, снігове навантаження зі зниженим значенням тощо.
   - Короткочасні: вага людей, інструментів, снігове навантаження (повне значення), вітрові, ожеледиці, температурні кліматичні впливи.
   - Особливі: сейсмічні та вибухові впливи, деформації просадних

ґрунтів.

У даному проекті визначальними є постійні навантаження від власної ваги конструкцій, снігове навантаження (для гірського району) та сейсмічний вплив.

Збір навантажень на покриття.

Розрахунок навантажень на 1 м² покриття наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 — Збір навантажень на покриття басейну

№ з/п	Вид навантаження	Характеристичне значення, кг/м²	Коефіцієнт надійності γ_{fm}	Розрахункове значення, кг/м²
I	Постійні навантаження (Покрівля)			
1	Шар покрівельного килима (ПВХ-мембрана або бітумний килим)	3,0	1,2	3,6
2	Шар мінераловатного утеплювача (верхній жорсткий шар), ρ=190 кг/м^3, δ=40 мм	7,6	1,2	9,12
3	Шар мінераловатного утеплювача (основний шар), ρ=120 кг/м^3, δ=200 мм	24,0	1,2	28,8
4	Пароізоляційна плівка	0,1	1,2	0,12
5	Сталевий профільований настил (Н75-Н114)	12,5	1,05	13,13
	Разом по покрівлі:	47,2		54,77
II	Навантаження від конструкцій покриття			
6	Власна вага сталевих в'язей, прогонів, деталей кріплення (без ваги ферм)	15,0	1,05	15,75
7	Технологічне навантаження (світильники, повітроводи, підвісні системи)	30,0	1,2	36,0
	Разом постійні:	92,2		106,52

№ з/п	Вид навантаження	Характеристичне значення, кг/м²	Коефіцієнт надійності γ_{fm}	Розрахункове значення, кг/м²
III	Тимчасові навантаження			
8	Снігове навантаження (Карпати, S0=3200 Па)	320,0	1,14 (див. розрахунок)	364,8
	ВСЬОГО (повне розрахункове навантаження):	412,2		471,32

Розрахунок вузлового навантаження на кроквяну ферму: Крок ферм B=6м. Крок вузлів верхнього поясу (спирання прогонів) a=3,0м. Вантажна площа вузла: A_{load} =6×3=18 м^2.

Вузлове навантаження P (без власної ваги ферми, яка враховується програмою автоматично):

$$P=471{,}32 \text{ кг/м}^2 \times 18\text{м}^2 \approx 8484\text{кг}=84{,}8\text{кН}$$

Снігове навантаження

Розрахунок виконується згідно з ДБН В.1.2-2:2006 (розділ 8 та Додаток Е).

- Район будівництва: гірський (Карпати).
- Характеристичне значення снігового навантаження S_0=3200Па=320кг/м^2.

Граничне розрахункове значення снігового навантаження визначається за формулою:

$$S_m=\gamma f_m \times S_0 \times C$$

де:

- γ_{fm} — коефіцієнт надійності за граничним значенням снігового навантаження. Для періоду повторюваності 50 років γ_{fm}=1,14.
- $C=\mu \times C_e \times C_{alt}$ — коефіцієнт, що визначається за додатком Е.
- μ — коефіцієнт форми покрівлі. Для двосхилої покрівлі з кутом

нахилу $\alpha<30\circ$, $\mu=1$ (варіант 1). Також розглядається варіант знесення снігу (варіант 2, Додаток Ж, схема 2).

- $C_e=1.0$ (режим експлуатації — нормальний).
- C_{alt} — коефіцієнт висоти (враховано у значенні S_0).

Розрахункове снігове навантаження (рівномірне):

$$S=1,14\times320\times1=364,8кг/м^2$$

Вітрове навантаження.

Розрахунок виконується згідно з ДБН В.1.2-2:2006 (розділ 9).

Вітровий район: 3-й (для гірських районів Івано-Франківської обл.).

Характеристичне значення вітрового тиску $W_0=500Па=50кг/м^2$ (значення підвищено для гірських умов порівняно з рівнинним 370 Па).

Граничне розрахункове значення вітрового навантаження:

$$W_m=\gamma_{fm}\times W_0\times C$$

де:

- $\gamma_{fm}=1,14$ (для періоду повторюваності 50 років).
- C — коефіцієнт, що враховує аеродинаміку та висоту: $C=C_{aer}\times C_h\times C_{alt}\times C_{rel}\times C_{dir}\times C_d$.

Для спрощеного розрахунку на висоті $z=10$ м (тип місцевості II — сільська місцевість з перешкодами):

- Аеродинамічні коефіцієнти (схема 1 Додатку І):
  - Навітряна сторона (активний тиск): $C_e=+0,8$.
  - Підвітряна сторона (відсмоктування): $C_e=-0,5$.
- Коефіцієнт висоти C_h (для $z=10$ м, тип II): 1,0

Розрахункове навантаження на навітряну стіну:

$$W+=1,14\times50\times0,8\times1,0=45,6кг/м^2$$

Розрахункове навантаження на підвітряну стіну:

$$W-=1,14\times50\times(-0,5)\times1,0=-28,5кг/м^2$$

При розрахунку в програмному комплексі вітрове навантаження прикладається до колон каркаса у вигляді розподіленого навантаження, зібраного з вантажної ширини кроку колон В=6м.

2.4 Конструктивні рішення об'єкта

Найменування об'єкта: Плавальний басейн. Місце розташування (адреса) об'єкта: Україна, Івано-Франківська обл., с. Поляниця (ГК «Буковель»).

Рівень відповідальності (клас наслідків) будівлі — СС2 (середні наслідки, коефіцієнт надійності за відповідальністю — 1.0). Будівля розділена деформаційним швом в осях 5-6 на 2 блоки.

За конструктивною схемою проектована будівля — каркасна, з вертикальними та горизонтальними сталевими в'язями, монолітними залізобетонними стінами сходових кліток.

Конструкції приміщення басейну виконані зі збірних залізобетонних колон зі сталевими в'язями та сталевих кроквяних ферм із системою в'язей(рисунок 2.7).

Перекриття — монолітні плити з важкого бетону класу С20/25, товщиною 230 мм та монолітних балок.

Конструктивна система блоку в осях 1-5/А-Е — змішана (колонно-стінова). Каркас — монолітний залізобетонний, несуча каркасна система складається з колон, стін (діафрагм) та плит перекриття і покриття, що їх об'єднують. Сітка колон — від 3 х 6 м до 6 х 8 м. Просторова незмінюваність каркаса забезпечується жорсткими вузлами з'єднання дисків перекриття та покриття з колонами і стінами.

Конструктивна система блоку в осях 6-16/А-Е — рамний каркас. Каркас — змішаний (збірні залізобетонні колони та металеві несучі конструкції покриття). Проліт рам — 32 м, крок — 6 м. Просторова жорсткість каркаса будівлі в осях 6-16 забезпечується за рахунок власної жорсткості перерізів несучих елементів кроквяних ферм і колон, що утворюють поперечну раму, та системи вертикальних в'язей по колонах у поздовжньому напрямку. Жорсткість покриття каркаса забезпечена жорсткістю кроквяної ферми та системою горизонтальних і вертикальних в'язей в об'ємі покриття.

Блок в осях 1-5/А-Е Фундаменти — пальові з монолітним залізобетонним ростверком. Палі — залізобетонні буронабивні з бетону класу С20/25, F150, W6 з армуванням на всю довжину стрижнями класу А400С, об'єднаними у просторовий каркас. Прийняті типи паль:

- палі марки БС 2 — Ø800 мм, з поширенням п’яти Ø2000 мм, довжиною 15,3 м (до низу поширення) з випусками в оголовку палі арматурних стрижнів каркаса палі довжиною 450 мм;
- палі марки БС 4, БС 5 — Ø600 мм, з поширенням п’яти Ø1500 мм, довжиною 14,8 та 14,4 м (до низу поширення) відповідно, з випусками в оголовку палі арматурних стрижнів каркаса палі довжиною 450 мм.

Розбивка пальового поля виконана з умови неперевищення несучої здатності паль. Розташування паль у фундаментах — у вигляді одиночних паль та однорядне (ділянки стрічкових ростверків). Опорний горизонт паль — ІГЕ-3А. Сполучення паль з ростверками вирішено заведенням у плиту оголовків паль на 50 мм та випусків арматурних стрижнів каркаса паль. Фундаментами колон по осі 5 слугують фундаменти блоку в осях 6-16.

Ростверки — монолітні залізобетонні, стовпчасті, стрічкові та плитні (під ліфтовою шахтою), з бетону С20/25, F150, W6. Стовпчасті ростверки — висотою 350 та 600 мм, стрічкові та плитні — висотою 600 мм. Армування ростверків:

- стовпчастих ростверків висотою 350 мм — у нижньому рівні арматурними стрижнями класу А400С у 2 напрямках;

- стовпчастих ростверків висотою 600 мм — у 2 рівнях арматурними стрижнями класу А400С у 2 напрямках;
- стрічкових та плитного ростверків — у 2 рівнях горизонтальними арматурними стрижнями класу А400С у 2 напрямках, вертикальне армування — арматурними стрижнями класу А400С.

У ростверках передбачено влаштування випусків арматурних стрижнів класу А400С для зв'язку з вищерозташованими несучими елементами каркаса будівлі. Фундаментні балки в осях 3-5/В-Г — монолітні залізобетонні висотою 600 мм (з урахуванням товщини плити основи підлоги), з бетону С20/25 (В25), F200, W8, що армується у 2 рівнях стрижнями класу А400С, об'єднаними у просторовий каркас.

Цоколь — стіна-балка товщиною 300 мм, запроектована зі спиранням на ростверки. Відмітка верху цоколя в основному — +0,800, по осі 1 — +0,600. Цоколь — монолітний залізобетонний, з бетону С20/25, F100, W4, з армуванням з 2 сторін арматурними стрижнями класу А400С у 2 напрямках. Цоколь монолітно об'єднаний із залізобетонними плитами основи підлоги на відм. мінус 0,100 та з монолітними залізобетонними колонами. Передбачено утеплення зовнішньої сторони стін цоколя плитами з екструдованого пінополістиролу товщиною 100 мм.

Основа підлоги 1 поверху — монолітна залізобетонна плоска плита товщиною 250 мм (в осях 3-5/В-Г — ребриста плита), з бетону С20/25, F200, W8, що армується у 2 рівнях стрижнями класу А400С у 2 напрямках. На ділянках підвищених напружень у верхній та нижній зонах плит передбачено додаткове армування. Під фундаментами обладнання та ділянками спирання плити на ростверки передбачено потовщення плити. Балки ребристої плити — висотою 600 мм (з урахуванням товщини плити), з бетону С20/25, F200, W8, з армуванням каркасами з арматурних стрижнів класу А400С, що об'єднуються у просторовий каркас. Спирання балок — на ростверки каркаса будівлі. Підготовка — товщиною 100 мм з бетону С8/10. Поверх підготовки — посилена обклеювальна гідроізоляція.

Стінки приямків у плиті підлоги — товщиною 300 мм, днище — товщиною 400 мм, з бетону С20/25, F200, W4 з армуванням з 2 сторін та у 2 рівнях відповідно стрижнями класу А500С у 2 напрямках. Підготовка — товщиною 100 мм з бетону С8/10. Решітки приямків — сталеві.

Сходи на перепаді висот підлог блоків в осях 1-5 та 6-16 — монолітні залізобетонні. Фундаменти під обладнання — монолітні залізобетонні. Передбачена вертикальна та горизонтальна гідроізоляція конструкцій, заглиблених у ґрунт. Передбачена гідроізоляція верху бетонної підготовки, верху плити підлоги та поверхонь фундаментів, що стикаються з ґрунтом.

Колони — монолітні залізобетонні, перерізом 400х400 мм, з бетону С20/25, F100, W4 з армуванням в'язаними каркасами з робочою арматурою класу А400С. Перекриття, покриття — плоскі (в осях А-В, Г-Е) та балкові плити (в осях В-Г) з бетону С20/25, F100, W4. Товщина плит — 230 мм, висота балок — 500 мм (з урахуванням товщини плит перекриття). Армування бетону в плитній частині — у 2 рівнях арматурними стрижнями класу А500С у 2 напрямках, на ділянках з максимальними зусиллями у верхній та нижній зонах передбачено встановлення додаткової арматури у 2 напрямках. У місцях спирання колон — поперечне армування сітками зі стрижнів класу А400С. Кінцеві ділянки плит додатково армовані П-подібними стрижнями. Армування бетону балок — у 2 рівнях арматурними стрижнями класу А400С, що об'єднуються у просторовий каркас. Теплоізоляція плит перекриття на відм. +6,600 — екструзійні пінополістирольні плити товщиною 50 мм, покриття — мінераловатні плити товщиною 200 мм (на відм. +6,600) та 170 мм (на відм. +10,000).

Стіни сходових кліток та ліфтової шахти — монолітні залізобетонні, товщиною 200 мм, з бетону С20/25, з армуванням з 2 сторін арматурними стрижнями класу А500С у 2 напрямках. Утеплення зовнішніх стін сходових кліток — мінераловатні плити товщиною 130 мм по сертифікованій вентильованій фасадній системі з облицюванням керамогранітними плитами. Сходові майданчики та марші — товщиною 200 мм, монолітні залізобетонні,

з бетону С20/25, з армуванням арматурними стрижнями класу А500С у 2 напрямках. Покриття сходів — плоскі плити товщиною 200 мм з бетону С20/25, F150, W4 з армуванням у 2 рівнях арматурними стрижнями класу А500С у 2 напрямках. Утеплення покриття сходів — мінераловатні плити товщиною 170 мм.

Блок в осях 6-16/А-Е Фундаменти — пальові з монолітним залізобетонним ростверком. Палі — залізобетонні буронабивні з бетону класу С20/25, F150, W6, з армуванням на всю довжину стрижнями класу А400С, об'єднаними у просторовий каркас. Прийняті типи паль:

- палі марки БС 1 — Ø600 мм, з поширенням п’яти Ø1500 мм довжиною 14,0 м (до низу поширення), з випусками в оголовку палі арматурних стрижнів каркаса палі довжиною 450 мм;
- палі марки БС 3 — Ø600 мм з поширенням п’яти Ø1500 мм довжиною 15,93 м (до низу поширення), з випусками в оголовку палі арматурних стрижнів каркаса палі довжиною 630 мм;

Розбивка пальового поля виконана з умови неперевищення несучої здатності паль. Розташування паль у фундаментах — у вигляді одиночних паль, кущів з 2 паль. Опорний горизонт — ІГЕ-3А. Сполучення паль з ростверками вирішено заведенням оголовків паль на 50 мм та випусків арматурних стрижнів каркаса паль.

Ростверки — монолітні залізобетонні, стовпчасті, стрічкові та плитні (під ліфтовою шахтою), з бетону С20/25, F150, W6. Ростверки під збірними залізобетонними колонами в осях 6-16 — склянкового типу (глибина склянки — 950 мм). Армування ростверків:

- стовпчастих ростверків висотою 350 мм — у нижньому рівні арматурними стрижнями класу А400С у 2 напрямках;
- стовпчастих склянкового типу висотою 1500 мм (під фахверк) — арматурними стрижнями класу А400С у нижньому рівні у 2 напрямках, стінок склянки — горизонтальними арматурними стрижнями класу А400С, по зовнішньому периметру ростверку — арматурними стрижнями класу А400С у

2 напрямках;

▪ стовпчастих склянкового типу висотою 1500 мм (під збірною залізобетонною та монолітною залізобетонними колонами): горизонтальне армування — у нижньому рівні сітками з арматурних стрижнів класу А400С, вище, по всій висоті ростверку, сітками з арматурних стрижнів класу А240С, вертикальне армування (за місцем розташування склянки та зовнішнім контуром ростверку) — каркасами з арматурних стрижнів класу А500С, передбачено додаткове армування горизонтальними сітками верхньої та підсклянкової частини ростверку;

▪ стовпчастих ростверків, монолітно об'єднаних з ростверками склянкового типу змінної висоти (під збірними залізобетонними колонами — 1500 мм, монолітними залізобетонними стійками перекриття — 2280 мм): горизонтальне армування у нижньому рівні 2 рядами сіток і вище рівня підсклянкової частини ростверку сітками класу А500С, у рівні підсклянкової частини ростверку — сітками з арматурних стрижнів класу А400С, вертикальне армування (за місцем розташування склянки та зовнішнім контуром ростверку) — сітками з арматурних стрижнів класу А500С, передбачено додаткове армування горизонтальними сітками верхньої частини ростверку;

▪ стрічкових ростверків, монолітно об'єднаних з ростверками склянкового типу, змінної висоти: горизонтальне армування — у верхньому та нижньому рівні ростверку сітками з арматурних стрижнів класу А400С, вертикальне армування за місцем розташування склянки з 2 сторін сітками з арматурних стрижнів класу А400С, по зовнішньому контуру ростверку — сітками з арматурних стрижнів класу А400С.

У ростверках передбачено влаштування випусків з арматурних стрижнів класу А400С для зв'язку з вищерозташованими несучими елементами каркаса будівлі. Підготовка — товщиною 100 мм з бетону С8/10.

Цоколь — стіна-балка товщиною 300 мм, зі спиранням на ростверки. Відмітка верху цоколя — +0,800. Цоколь — монолітний залізобетонний, з

бетону С20/25, F100, W4, що армується з 2 сторін арматурними стрижнями класу А400С у 2 напрямках. Цоколь монолітно об'єднаний із залізобетонною плитами основи підлоги на відм. +0,530. Передбачено утеплення зовнішньої сторони стін цоколя плитами з екструдованого пінополістиролу товщиною 100 мм.

Основа підлоги 1 поверху — монолітна залізобетонна ребриста плита товщиною 200 мм, з бетону С20/25, F100, W8, з армуванням у 2 рівнях стрижнями класу А400С у 2 напрямках. Арматурні стрижні (А400С) верхнього та нижнього армування ребер плити об'єднані у просторові каркаси. На ділянках підвищених напружень у верхній та нижній зонах плит передбачено додаткове армування. Підготовка — товщиною 100 мм з бетону С8/10. Передбачена гідроізоляція верху бетонної підготовки, верху плит підлоги та поверхонь фундаментів, що стикаються з ґрунтом.

По зовнішньому контуру всієї будівлі передбачено влаштування вимощення шириною 1,5 м з бетону С12/15, F75, по внутрішньому контуру зовнішніх стін під плитою підлоги передбачено утеплення основи на ширину 0,8 м плитами екструдованого пінополістиролу товщиною 100 мм. Проектними рішеннями передбачено вилучення товщі шару насипного ґрунту (ІГЕ-1) в основі ростверків та залізобетонної плити основи підлог будівлі. Засипка пазух котловану та підсипка під монолітну залізобетонну плиту підлоги передбачена якісним глинистим ґрунтом з пошаровим ущільненням до щільності 1,65 г/см³ (коефіцієнт ущільнення 0,95) та контролем щільності кожного шару.

Конструктивна схема будівлі в осях 6-16 — просторовий змішаний каркас розмірами у плані 32 х 57м. Рама утворена залізобетонними колонами та кроквяними фермами шарнірного кріплення в рівні верхнього поясу на сталеві надколонники. Крок рам у поздовжньому напрямку — 6 м, в осях 6-7 — 3 м. Крок фахверкових колон по осях 6-16 — 6,4 м. Колони каркаса будівлі — збірні залізобетонні, прямокутного перерізу 400 х 700 мм, фахверкові колони — квадратного перерізу 400 х 400 мм, з бетону С25/30.

Покриття — прогінне, зі спиранням на верхні пояси кроквяних ферм через опорну пластину. По торцях блоку покриття в рівні верхніх поясів організована горизонтальна в'язева система. В рівні нижніх поясів ферми розв'язані розпірками із замиканням на вертикальні в'язі в об'ємі ферм. Основні несучі елементи покриття:

- надколонники основного каркаса — прокатний двотавр;
- кроквяні ферми — трапецієподібні прольотами 32 м (пояси з гнутозварного профілю прямокутного та квадратного перерізу верхній та нижній пояс відповідно, решітка — з гнутозварного профілю квадратного перерізу (клас сталі для поясів та опорних розкосів — С355 (аналог С345), для центральних розкосів — С255);
- кроквяні балки — прокатний двотавр (сталь класу С245);
- прогони покриття — швелер гарячекатаний, з шарнірним кріпленням до ферм;
- прогони в зоні коника — спарені гарячекатані швелери;
- настил — профілі сталеві листові гнуті з трапецієподібними гофрами для покриття марки Н;
- в'язі вертикальні в об'ємі покриття — з гнутозварного профілю квадратного перерізу, що розв'язують верхні та нижні пояси ферм із площини (сталь класу С255);
- розпірки по нижньому поясу ферм — з гнутозварного профілю квадратного перерізу (сталь класу С255);
- в'язі горизонтальні по покриттю — з гарячекатаного прокатного кутника (сталь класу С255).

Покриття — сталевий профільований настил по сталевих прогонах, з утепленням мінеральними плитами товщиною 230 мм. Перекриття по периметру стін на відм. +3,280 — монолітна залізобетонна плоска плита товщиною 200 мм, з бетону С20/25, F150, W4, з армуванням у 2 рівнях стрижнями класу А500С у 2 напрямках. На ділянках підвищених напружень у верхній та нижній зонах плит передбачено додаткове армування, у зонах

продавлювання колон — вертикальне армування сітками з арматурних стрижнів А400С. Кінцеві ділянки плит армовані П-подібними стрижнями з арматури класу А400С. Стійки перекриття на відм. +3,280 — монолітні залізобетонні, з бетону С20/25, F100, W4, з армуванням в'язаними каркасами з робочою арматурою класу А500С. Крок стійок — 6 м. Стійки запроектовані у створі з колонами основного каркаса будівлі.

Зовнішні стіни будівлі вище цоколя — стінові сендвіч-панелі з базальтовим утеплювачем товщиною 200 мм. Кріплення панелей — до системи фахверкових стійок та ригелів з гнутозварних труб квадратного перерізу та швелера (в рівні цоколя). Насадки для кріплення панелей в рівні парапету — з прокатного тавра. Кріплення елементів фахверка передбачено до закладних деталей залізобетонних колон, стін та цоколя будівлі. Перегородки — кладка з керамічної цегли. Передбачено кріплення стін та перегородок до елементів каркаса будівлі. Перемички — збірні залізобетонні.

Покрівля блоку в осях 1-5 — плоска, з наплавлюваного покрівельного гідроізоляційного матеріалу, водостік основної будівлі — внутрішній, організований, сходових кліток — зовнішній, неорганізований, на понижені ділянки покрівлі основної будівлі. Покрівля блоку в осях 6-16 — двосхила, з наплавлюваного покрівельного гідроізоляційного матеріалу, водостік основної будівлі — внутрішній, організований.

Вікна — з ПВХ-профілів з однокамерним склопакетом та одинарним склінням (внутрішні) згідно з ДСТУ. Вітражі — в алюмінієвих плетіннях з однокамерним склопакетом та одинарним склінням (внутрішні) згідно з ДСТУ. Двері зовнішні — сталеві утеплені, протипожежні, алюмінієві утеплені. Внутрішні двері — алюмінієві, дерев'яні, з ПВХ-профілів, протипожежні.

Каркас вхідної групи в осях 1/В-Г — система сталевих стійок та балок. Фундаменти — пальові, об'єднані монолітними залізобетонними ростверками. Палі вхідної групи — залізобетонні буронабивні Ø400 мм довжиною 10,3 м, з випусками в оголовку палі арматурних стрижнів каркаса палі довжиною 300

мм. Палі — з бетону класу С12/15, F150, W6 з армуванням на глибину 10 м стрижнями класу А400С, об'єднаними у просторовий каркас. Розташування паль — однорядне та у вигляді одиночної палі. Розбивка пальового поля вхідної групи виконана з умови забезпечення величини розрахункового навантаження, що допускається на палю, 25т. Опорний горизонт паль — ІГЕ-3А. Ростверки — монолітні залізобетонні, стовпчасті (над одиночними палями) та стрічкові висотою 600 мм, з бетону С20/25, F150, W6, що армується у 2 рівнях горизонтальними арматурними стрижнями класу А400С у 2 напрямках, вертикальне армування — класу А400С. У ростверках передбачено влаштування фундаментних болтів для кріплення сталевих стійок каркаса. Підготовка — товщиною 100 мм з бетону С8/10. Майданчик входу — монолітна залізобетонна плита товщиною 200 мм, з бетону С20/25, F150, W6, що армується у 2 рівнях стрижнями класу А400С у 2 напрямках. Підготовка — товщиною 100 мм з бетону С8/10 (В7,5). Стійки — з гнутозварних труб квадратного перерізу. Балки — з прокатних двотаврів та швелерів. Покриття — сталевий профільований настил по сталевих балках. Парапет — система з гнутозварних труб квадратного та прямокутного перерізу та прокатних кутників. Покрівля — плоска, з наплавлюваного покрівельного гідроізоляційного матеріалу, водостік — зовнішній, організований.

Зовнішні сходи в осях 16/В-Г — двомаршеві, сталеві. Фундаменти — монолітна залізобетонна плита товщиною 300 мм з підколонниками, з бетону С12/15, з армуванням у рівні плитної частини у 2 рівнях горизонтальними арматурними стрижнями класу А400С у 2 напрямках, підколонників — вертикальними стрижнями класу А400С, об'єднаними у просторовий каркас. У підколонниках передбачено влаштування закладних деталей для кріплення сталевих стійок каркаса. Підготовка — товщиною 100 мм з бетону С8/10. Стійки — з гнутозварних труб квадратного перерізу. Балки — з гнутозварних труб квадратного перерізу та прокатних швелерів. Косоурні балки — з прокатних швелерів. Сходинки — з рифленої сталі та прокатних кутників.

Підпірні стіни — кутикового типу, висотою 1,9 м, монолітні

залізобетонні, з бетону С20/25, W2, F150, що армується арматурними стрижнями класу А400С, А240С. Товщина фундаментної плити — 300 мм, лицьової плити — 250 мм. Низ підошви фундаментної плити — на абс. відм. 114,20 м БС. Підготовка товщиною 100 мм, з бетону С8/10. Під підошвою передбачено влаштування піщаної подушки товщиною 600 мм. Передбачена гідроізоляція поверхонь, що стикаються з ґрунтом.

2.5 Висновки до розділу 2

1. На основі аналізу архітектурно-планувальних вимог для проектованого басейну в ГК «Буковель» прийнято змішану конструктивну схему каркаса. Для перекриття великопролітного залу басейну (32 м) застосовано сталеві трапецієподібні ферми з гнутозварних профілів, що спираються на збірні залізобетонні колони. Адміністративно-побутовий блок вирішено у монолітному залізобетонному каркасі. Таке поєднання забезпечує необхідну просторову жорсткість, технологічність монтажу та відповідність будівлі рівню відповідальності СС2.

2. Виконаний теплотехнічний розрахунок підтвердив, що обрана конструкція зовнішніх стін із сендвіч-панелей товщиною 200 мм (базальтовий утеплювач) повністю відповідає кліматичним умовам гірської місцевості Карпат (I температурна зона). Розрахунковий опір теплопередачі становить $R\Sigma=4{,}70 м^2 \cdot К/Вт$, що на 17,5% перевищує нормативний мінімум ($4{,}00 м^2 \cdot К/Вт$), забезпечуючи надійний теплозахист та відсутність конденсату на внутрішніх поверхнях.

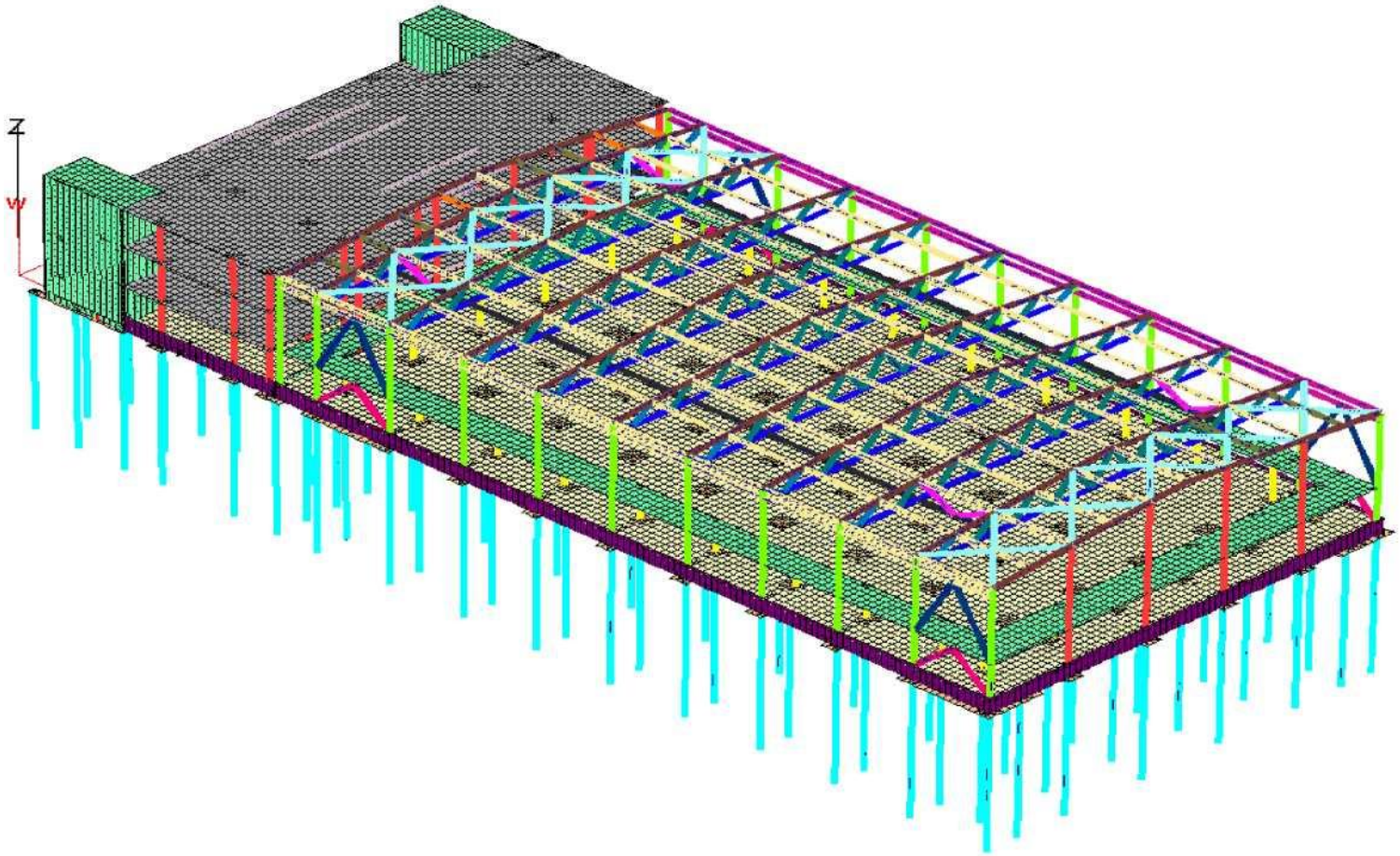


Рисунок 2.7 - Розрахункова схема будівлі

РОЗДІЛ 3
РОЗРАХУНОК НЕСУЧИХ КОНСТРУКЦІЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ SCAD OFFICE

3.1 Програмний комплекс SCAD Office

SCAD Office — це сучасна, високотехнологічна інтегрована система міцнісного аналізу та проектування будівельних конструкцій. В основі комплексу лежить метод скінченних елементів (МСЕ), що дозволяє з високою точністю моделювати поведінку споруд будь-якої геометричної форми та складності під впливом зовнішніх факторів.

Головне призначення системи — це визначення напружено-деформованого стану (НДС) конструкцій, а також вирішення широкого спектра задач статики, динаміки та стійкості, як у лінійній, так і в нелінійній постановках.

3.1.1 Склад та структура комплексу.

Програмний комплекс побудований за модульним принципом і включає чотири основні групи програмних засобів, які охоплюють усі етапи проектування:

1. Ядро системи — Обчислювальний комплекс Structure CAD (ВК SCAD).

Це центральний елемент пакету, універсальна програма для просторового моделювання. Вона дозволяє розраховувати:

- Висотні будівлі та житлові комплекси.
- Промислові споруди та цехи.
- Великопролітні покриття, щогли, вежі та мостові переходи.
- Складні інженерні системи з комбінацією різних матеріалів (сталь, залізобетон, деревина).

2. Допоміжні програми (Сателіти) — Підготовка даних.

Ця група програм призначена для попередньої обробки інформації та розрахунку специфічних параметрів, необхідних для створення коректної розрахункової схеми:

Формування геометрії перерізів:

Конструктор перерізів: Універсальний інструмент для створення та розрахунку геометричних характеристик складених перерізів будь-якої конфігурації (наприклад, зварних або гнутих профілів).

КОНСУЛ: Програма для побудови довільних перерізів і обчислення їхніх геометричних, крутильних та зсувних характеристик.

ТОНУС: Спеціалізований модуль для розрахунку тонкостінних перерізів відкритого та замкнутого профілю (важливо для ЛСТК).

СЕЗАМ: Інструмент для пошуку еквівалентного перерізу (наприклад, підбір коробчастого перерізу, що еквівалентний за жорсткістю заданому складному профілю).

Визначення навантажень:

ВЕСТ (Вітер, Сніг, Температура): Автоматизований довідник-калькулятор, що визначає величини кліматичних та технологічних навантажень згідно з нормами проектування (ДБН, СНіП) залежно від регіону будівництва.

Взаємодія з ґрунтом:

КРОС (Коефіцієнти реакції опору споруди): Призначена для визначення коефіцієнтів постелі (C_1,C_2) ґрунтової основи. Вона дозволяє врахувати геологічну будову майданчика та реалізувати розрахунок конструкції на пружній основі.

Моделювання (Препроцесори):

ФОРУМ: Потужний препроцесор для створення укрупнених моделей. Він служить "мостом" між архітектурою та розрахунком, дозволяючи імпортувати дані з архітектурних BIM-систем (ArchiCAD, Revit) і

перетворювати їх на скінченно-елементну сітку.

3. Проектно-аналітичні програми — Експертиза елементів.

Ці програми працюють як незалежні інструменти для швидкої перевірки окремих елементів каркаса згідно з чинними нормами:

КРИСТАЛ (Сталеві конструкції): Виконує перевірку перерізів металевих балок, колон, ферм на міцність, стійкість та гнучкість.

АРБАТ (Залізобетонні конструкції): Здійснює експертизу залізобетонних елементів (балок, колон, плит), перевіряє тріщиностійкість, прогини та підбирає необхідну арматуру.

4. Проектно-конструкторські програми — Деталізація

Програми, що допомагають розробити робочу документацію на стадії КМ (конструкції металеві) та КЗ (конструкції залізобетонні):

КОМЕТА: Розраховує та проектує вузли з’єднання сталевих конструкцій (бази колон, стики балок, вузли ферм) з автоматичною генерацією креслень.

МОНОЛІТ: Використовується для проектування монолітних ребристих перекриттів з формуванням схем армування та специфікацій.

3.1.2 Види розрахунків та аналітичні можливості

ВК SCAD дозволяє виконувати глибокий інженерний аналіз за багатьма напрямками:

Статичний розрахунок:

Базовий розрахунок у лінійній постановці.

Геометрично нелінійний розрахунок (для вантових конструкцій, мембран, гнучких ниток).

Динамічний аналіз:

Розрахунок на сейсмічні впливи (відповідно до норм різних країн).

Аналіз вітрових пульсацій.

Розрахунок на імпульсні та ударні навантаження.

Гармонічні коливання (від роботи машин та обладнання).

Спеціальні інженерні обчислення:

Комбінаторика: Автоматичне формування невигідних комбінацій завантажень та визначення розрахункових сполучень зусиль (РСЗ).

Стійкість: Аналіз загальної стійкості системи, пошук коефіцієнта запасу та визначення форми втрати стійкості.

Спектральний аналіз: Обчислення спектрів відповіді будівель на динамічні впливи.

Амплітудно-частотні характеристики (АЧХ): Аналіз реакції системи на різні частоти збудження.

Варіація моделей: Можливість спільного аналізу декількох варіантів розрахункової схеми в одному проекті (наприклад, різні етапи зведення або різні властивості ґрунту).

Фрагментація: Розрахунок навантажень від окремого фрагмента схеми на решту споруди.

3.1.3 Конструювання матеріалів

Комплекс завершує цикл проектування вбудованими модулями конструювання:

Для сталі: Аналіз міцності, загальної та місцевої стійкості елементів прокатного та зварного профілю.

Для залізобетону: Підбір поздовжньої та поперечної арматури для стержневих (колони, балки) та пластинчастих (стіни, перекриття) елементів, а також розрахунок на продавлювання.

3.2 Вихідні дані для будівлі плавального басейну

1. Район будівництва: с. Поляниця, Івано-Франківська обл., Україна.

2. Кліматичні умови:

- Кліматичне районування згідно з ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010: ІІІ-й кліматичний район (підрайон ІІІ-а, гірський).

3. Рівень відповідальності (Клас наслідків) будівлі:

- Згідно з ДБН В.1.2-14:2018: СС2 (середні наслідки).
- Коефіцієнт надійності за відповідальністю: γ_n=1.0 (для категорії відповідальності конструкцій А).

4. Снігове навантаження:

- Згідно з ДБН В.1.2-2:2006 «Навантаження і впливи» (Додаток Е).
- Район будівництва: Гірський (Карпати).
- Характеристичне значення снігового навантаження S_0: прийнято 3200 Па (320 кгс/м²) (відповідає висотним відміткам ~900-1000 м над рівнем моря або спеціальним умовам для с. Поляниця).

5. Вітрове навантаження:

- Згідно з ДБН В.1.2-2:2006. Вітровий район: 3-й.
- Характеристичне значення вітрового тиску W0: В Україні мінімальне значення для рівнини становить 500 Па.

6. Конструктивна схема будівлі: Каркасна.

- Габаритні розміри в плані (у розбивних осях 1-16/А-Е): 75,75 х 32 м.
- Загальна висота каркаса: +13.800 м.
- Висота поверхів: 3600 мм.
- Будівля без підвалу.

7. Матеріали несучих конструкцій:

- Бетон важкий: Класи міцності С20/25 та С16/20 (відповідає В20) згідно з ДБН В.2.6-98:2009.
- Арматура: Класу А400С та А240С згідно з ДСТУ 3760:2019.
- Покриття: Сталеві кроквяні ферми з прямокутних труб (гнутозварних профілів).

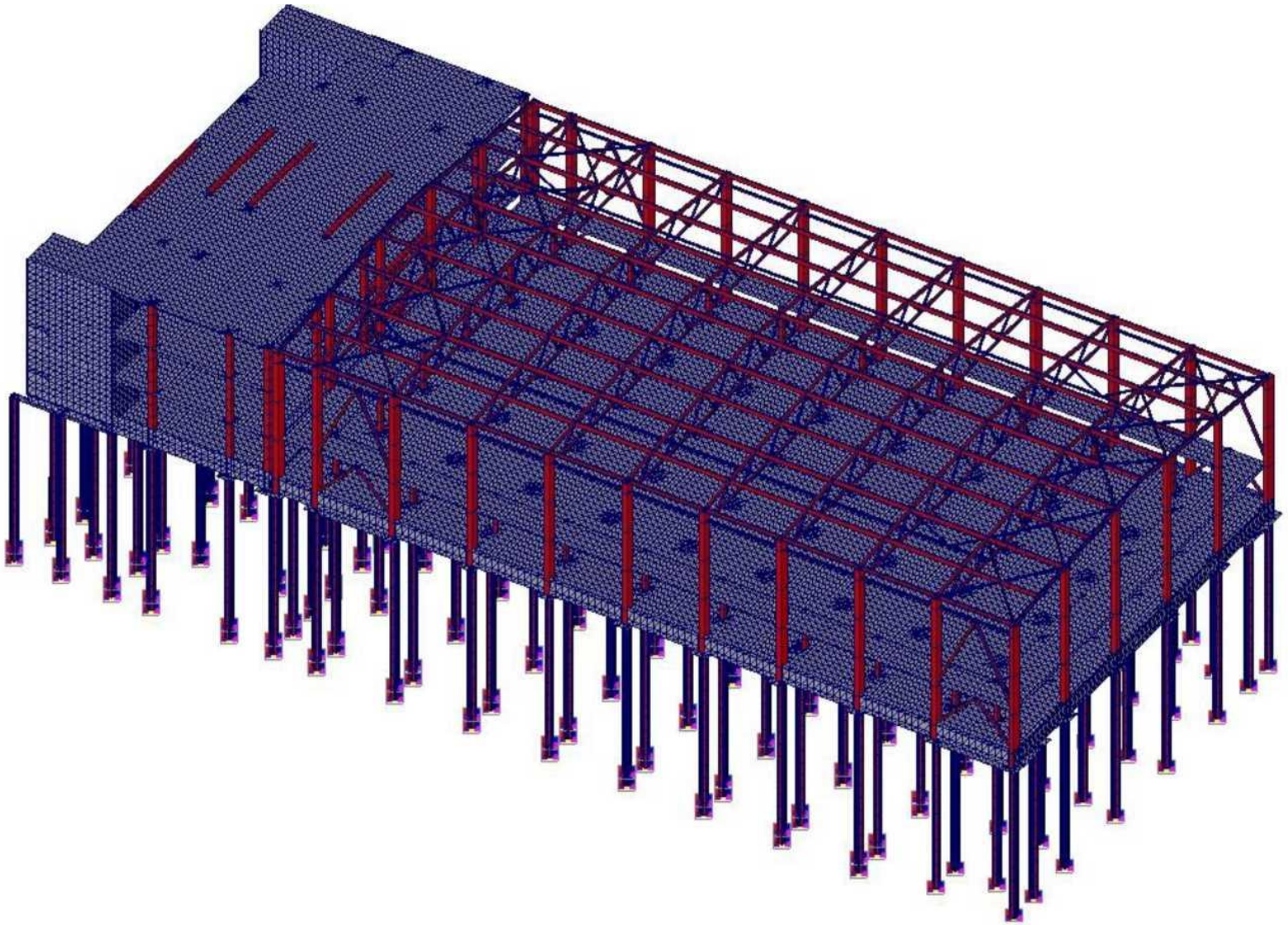
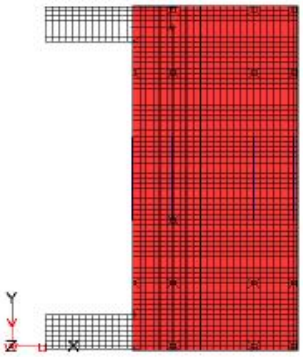


Рисунок 3.1 - Геометрична схема в розрахунковому комплексі SCAD

3.3 Схеми навантажень

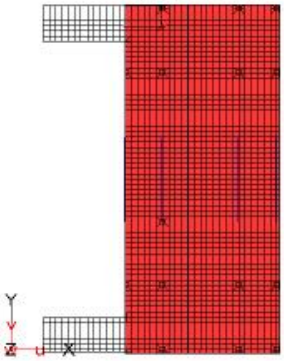
Рівномірно-розподілене навантаження (Q_z/t) для плит від:

Сніг



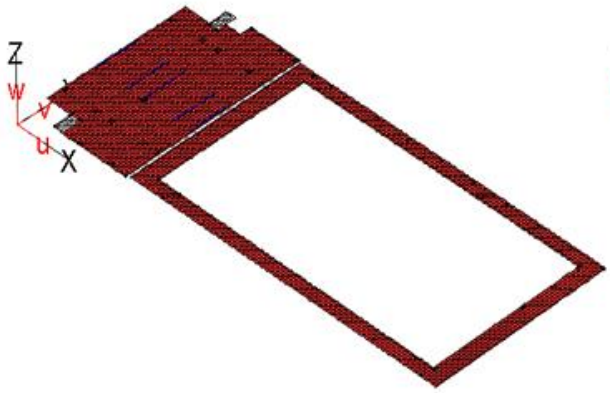
0,76

Покрівля



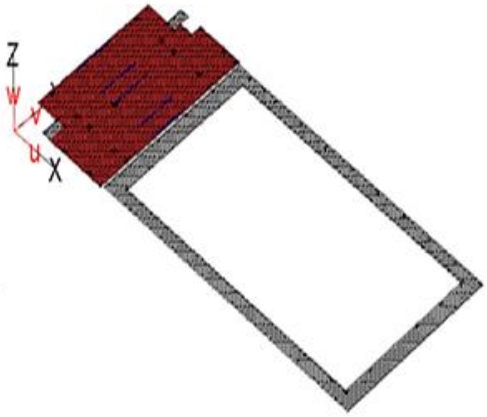
0,26

Підлоги



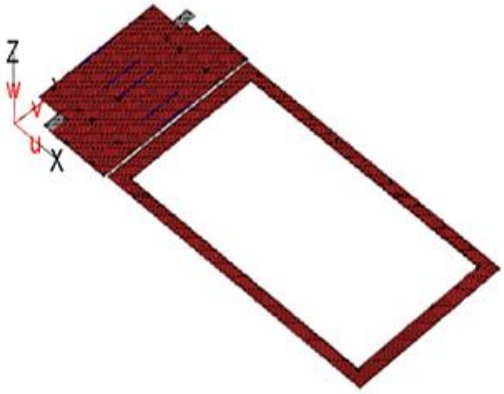
0,25

Перегородки



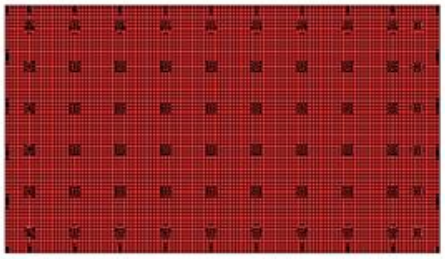
0,39

Корисне навантаження



0,48

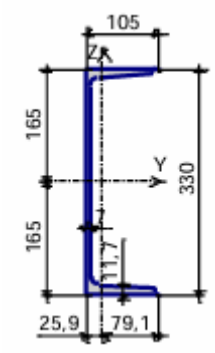
Вода басейну

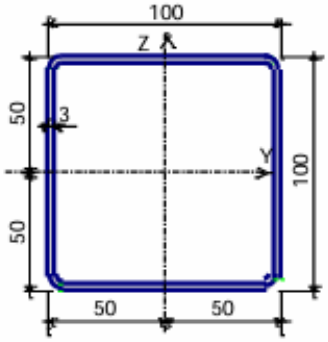


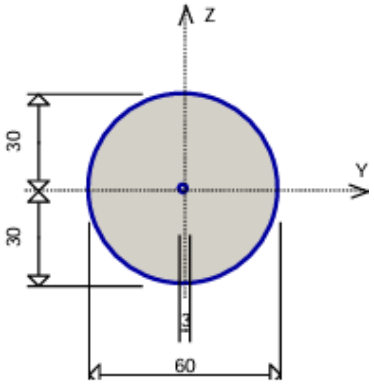
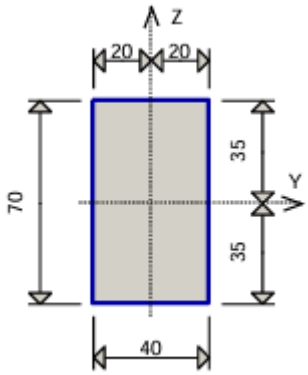
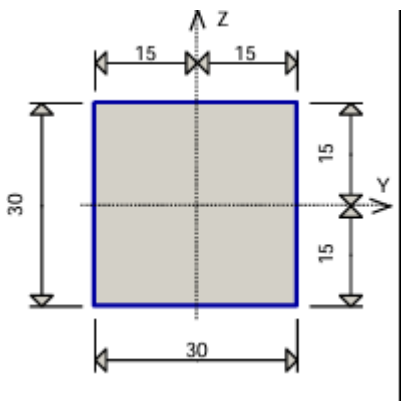
3,3

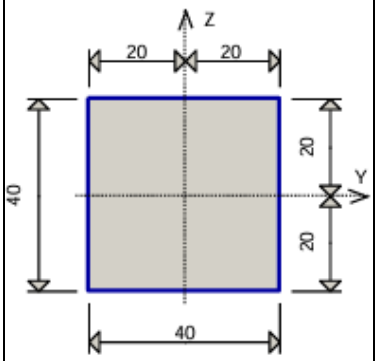
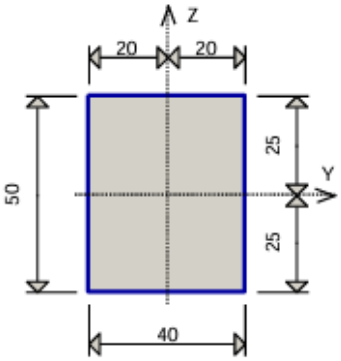
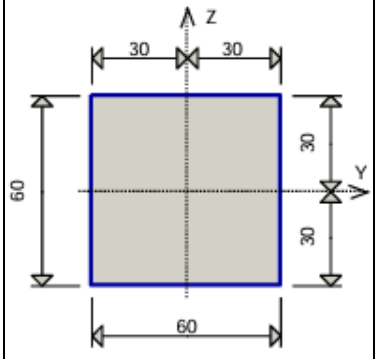
3.4 Жорсткості елементів

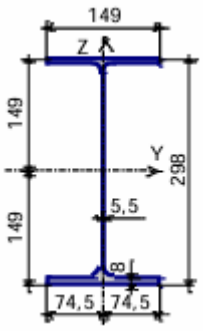
Табліця 3.1 - Жорсткості елементів

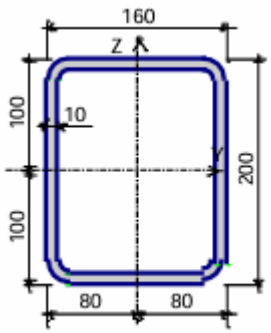
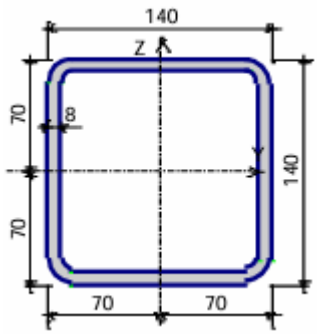
Тип	Жорсткості	Зображення
1	Задані жорсткісні характ.: 2880000. 38399.94 38399.94 64819.26 0.0. Коефіцієнт Пуассона : nu=-0.28 Питома вага : ro=2.75	
2	Жорсткісні характеристики пластини: E=9000000. NU=0.2 DELTA=0.2 Питома вага : ro=2.75	
3	Жорсткісні характеристики пластини: E=18000000. NU=0.2 DELTA=0.3 Питома вага : ro=2.75	
4	Жорсткісні характеристики пластини: E=9000000. NU=0.2 DELTA=0.23 Питома вага : ro=2.75	
5	1. 30000000.	
6	2. 30000000.	
7	3. 30000000.	
8	4. 30000000.	
9	5. 30000000.	
10	6. 30000000.	
11	Жорсткісні характеристики пластини: E=3060000. NU=0.2 DELTA=0.4 Питома вага : ro=2.5	
12	Жорсткості сортаменту: EF=97650.00036 EIY=1675.79992 EIZ=86.0999966 GKR=0.49797099 GFY=23193.521 GFZ=23824.246 Розміри ядра перерізу : y1=.011146 y2=034043 z1=0.104 z2=0.104	

Тип	Жорсткості	Зображення
	Коефіцієнт Пуассона : nu=0.3 Питома вага : ro=7.85 СОРТАМЕНТ : “C:\Program Files\SCAD Soft\SCAD Office 20\Data\Profiles\Steel_DSTU.xml” Шифр: "Швелер з ухилом полиць за ДСТУ 3436-96 (ГОСТ 8240-97)", номер рядка 16 Назва розділу: "Швелер з ухилом полиць за ДСТУ 3436-96 (ГОСТ 8240-97)" Назва профілю: "33"	
13	ЖОРСТКОСТІ СОРТАМЕНТУ: EF=24444.00033 EIY=38.3670001 EIZ=38.3670001 GKR=21.2301789 GFY=5886.18055 GFZ=5886.18055 Розміри ядра перерізу : y1=.031391 y2= 031391 z1=.031391 z2= 031391 Коефіцієнт Пуассона : nu=0.3 Питома вага : ro=7.85 СОРТАМЕНТ : “C:\Program Files\SCAD Soft\SCAD Office 20\Data\Profiles\Steel_DSTU.xml” Шифр: "Квадратні труби за ДСТУ 8940:2019", номер рядка 5 Назва розділу: "Квадратні труби за ДСТУ 8940:2019" Назва профілю: "100x3"	

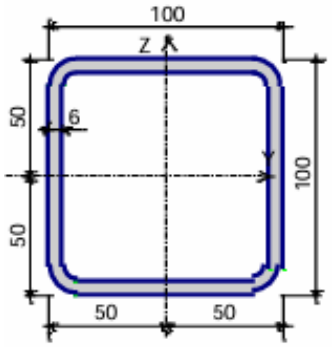
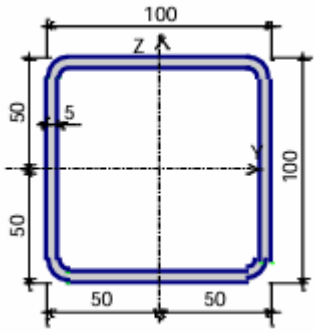
Тип	Жорсткості	Зображення
14	ЖОРСТКІСНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАСТИНИ : E=3060000. NU=0.2 DELTA=0.23 Питома вага :	
15	Тип кінцевого елемента: 5 Задан. жорсткості. характер.: 864954.214 19466.875 19466.87 9733.437 310297.4 310297.4 Питома вага : ro=2.5 Кільцевий переріз: D=59.99999 d=2.999999	
16	Обчисл. жорсткості. характ. : EF=856800.003 EIY=34985.9994 EIZ=11424. GKR=12168.19 GFY=285600.008 GFZ=285600.008Розміри ядра перерізу : y1=066666 y2=066666 z1=0.11666 z2=0.11666 Питома вага : ro=2.5 Прямокутник : b=39.99999 h=69.99999	
17	Обчисл. жорсткості. характ. : EF=275399.988 EIY=2065.49987 EIZ=2065.499 GKR=1388.015 GFY=91799.996 GFZ=91799.996 Розміри ядра перерізу : y1=.05 y2=05 z1=.05 z2=05 Питома вага :	

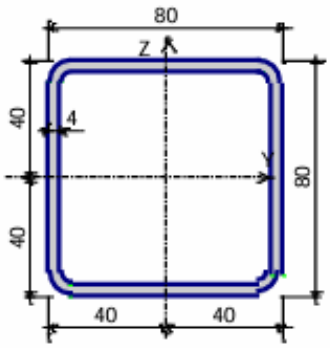
Тип	Жорсткості	Зображення
	ro=2.5 Прямоугольник : b=29.99999 h=29.99999	
18	Обчисл. жорсткості. характ. : EF=489599.989 EIY=6527.99936 EIZ=6527.999 GKR=4386.815 GFY=163199.988 GFZ=163199.988 Розміри ядра перерізу : y1=066666 y2=066666 z1=.066666 z2=.066666 Питома вага : ro=2.5 Прямокутник : b=39.99999 h=39.99999	
19	Обчисл. жорсткості. характ. : EF=611999.963 EIY=12749.9992 EIZ=8159.999 GKR=6980.607 GFY=203999.995 GFZ=203999.995 Розміри ядра перерізу : y1=066666 y2=066666 z1= 083333 z2= 083333 Питома вага : ro=2.5 Прямокутник : b=39.99999 h=49.99999	
20	Обчисл. жорсткості. характ. : EF=1101599.95 EIY=33047.998 EIZ=33047.99 GKR=22208.25 GFY=367199.984 GFZ=367199.984 Розміри ядра перерізу : y1=099999 y2=099999 z1=099999 z2=099999 Питома вага :ro=2.5	

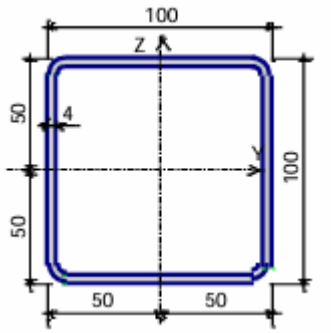
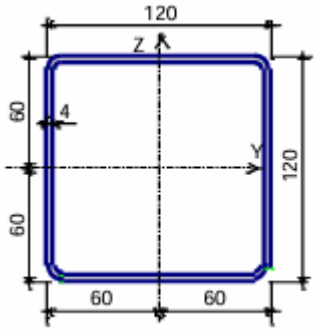
Тип	Жорсткості	Зображення
	Прямокутник : b=59.99999 h=59.99999	
21	ЖОРСТКІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАСТИНИ: E=3060000. NU=0.2 DELTA=0.25 Питома вага : ro=2.5	
22	ЖОРСТКІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАСТИНИ: E=3060000. NU=0.2 DELTA=0.2 Питома вага : ro=2.5	
23	ЖОРСТКІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАСТИНИ: E=3060000. NU=0.2 DELTA=0.6 Питома вага : ro=2.5	
24	ЖОРСТКОСТІ СОРТАМЕНТУ :: EF=85259.99402 EIY=1326.98992 EIZ=92.7990022 GKR=0.71014287 GFY=18684.5363 GFZ=26233.8446 Розміри ядра перерізу : y1=014609 y2=014609 z1=0.10445 z2=0.10445 Коефіцієнт Пуассона: nu=0.3 Питома вага : ro=7.85 СОРТАМЕНТ : “C:\Program Files\SCAD Soft\SCAD Office 20\Data\Profiles\Steel_DSTU.xml” Шифр: "Двотавр нормальний (Б) з	

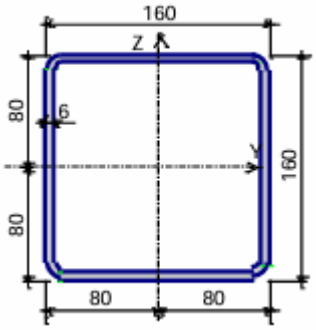
Тип	Жорсткості	Зображення
	з паралельними гранями полиць за ДСТУ 8768:2018, номер рядка 13 Назва розділу : "Двотавр нормальний (Б) за ДСТУ 8768:2018" Назва профілю : "30Б1"	
25	Жорсткості сортаменту : EF=142169.9971 EIY=782.607003 EIZ=464.456987 GKR=368.839755 GFY=35791.0462 GFZ=32470.2302 Розміри ядра перерізу : y1=040836 y2=040836 z1= 055047 z2=055047 Коефіцієнт Пуассона: nu=0.3 Питома вага : ro=7.85 СОРТАМЕНТ : “C:\Program Files\SCAD Soft\SCAD Office 20\Data\Profiles\Steel_DSTU.xml” Шифр — "Прямокутні труби за ДСТУ 30245:2006", номер рядка 49 Назва розділу : "Прямокутні труби за ДСТУ 30245:2006" Назва профілю : "200x160x10"	
26	Жорсткості сортаменту : EF=83159.99759 EIY=230.790004 EIZ=230.790004 GKR=133.751976 GFY=20025.1484 GFZ=20025.1484 Розміри ядра перерізу :y1=039646 y2=039646 z1=039646 z2=039646 Коефіцієнт Пуассона : nu=0.3	

Тип	Жорсткості	Зображення
	Питома вага : ro=7.85 СОРТАМЕНТ : “C:\Program Files\SCAD Soft\SCAD Office 20\Data\Profiles\Steel_DSTU.xml” Шифр: "Квадратні труби за ДСТУ 8940:2019", номер рядка 36 Назва розділу : "Квадратні труби за ДСТУ 8940:2019" Назва профілю : "140x8"	
27	Жорсткості сортаменту : EF=67767.00262 EIY=131.0442 EIZ=131.0442 GKR=78.4679286 GFY=16318.4763 GFZ=16318.4763 Розміри ядра перерізу :y1=032229 y2=032229 z1=032229 z2=032229 Коефіцієнт Пуассона : nu=0.3 Питома вага : ro=7.85 СОРТАМЕНТ : “C:\Program Files\SCAD Soft\SCAD Office 20\Data\Profiles\Steel_DSTU.xml” Шифр: "Квадратні труби за ДСТУ 30245:2006", номер рядка 10 Назва розділу : "Квадратні труби за ДСТУ 30245:2006" Назва профілю : "120x8"	

Тип	Жорсткості	Зображення
28	Жорсткості сортаменту : EF=47375.99892 EIY=70.0349994 EIZ=70.0349994 GKR=38.641325 GFY=11408.2668 GFZ=11408.2668 Розміри ядра перерізу : y1=029565 y2=029565 z1=029565 z2=029565 Коефіцієнт Пуассона : nu=0.3 Питома вага : ro=7.85 СОРТАМЕНТ : “C:\Program Files\SCAD Soft\SCAD Office 20\Data\Profiles\Steel_DSTU.xml” Шифр: "Квадратні труби за ДСТУ 8940:2019", номер рядка 8 Назва розділу : "Квадратні труби за ДСТУ 8940:2019" Назва профілю : "100x6"	
29	Жорсткості сортаменту : EF=39900.00067 EIY=60.1649987 EIZ=60.1649987 GKR=33.2397717 GFY=9608.02731 GFZ=9608.02731 Розміри ядра перерізу :y1= 030157 y2= 030157 z1= 030157 z2= 030157 Коефіцієнт Пуассона : nu=0.3 Питома вага : ro=7.85 СОРТАМЕНТ : “C:\Program Files\SCAD Soft\SCAD Office 20\Data\Profiles\Steel_DSTU.xml”	

Тип	Жорсткості	Зображення
	Шифр: "Квадратні труби за ДСТУ 8940:2019", номер рядка 7 Назва розділу : "Квадратні труби за ДСТУ 8940:2019" Назва профілю : "100x5"	
30	Жорсткості сортаменту : EF=25535.99886 EIY=24.6329997 EIZ=24.6329997 GKR=13.6150075 GFY=6149.13623 GFZ=6149.13623 Розміри ядра перерізу : y1=.024115 y2=024115 z1=.024115 z2=024115 Коефіцієнт Пуассона : nu=0.3 Питома вага : ro=7.85 СОРТАМЕНТ : “C:\Program Files\SCAD Soft\SCAD Office 20\Data\Profiles\Steel_DSTU.xml” Шифр: "Квадратні труби за ДСТУ 8940:2019", номер рядка 2 Назва розділу : "Квадратні труби за ДСТУ 8940:2019" Назва профілю : "80x4"	

Тип	Жорсткості	Зображення
31	Жорсткості сортаменту : EF=30870.00036 EIY=45.9900006 EIZ=45.9900006 GKR=26.2613491 GFY=7433.57894 GFZ=7433.57894 Розміри ядра перерізу : y1=029795 y2=029795 z1=029795 z2=029795 Коефіцієнт Пуассона : nu=0.3 Питома вага : ro=7.85 СОРТАМЕНТ : “C:\Program Files\SCAD Soft\SCAD Office 20\Data\Profiles\Steel_DSTU.xml” Шифр: "Квадратні труби за ДСТУ 8940:2019", номер рядка 16 Назва розділу : "Квадратні труби за ДСТУ 8940:2019" Назва профілю : "100x4"	
32	Жорсткості сортаменту : EF=38975.99852 EIY=87.5070009 EIZ=87.5070009 GKR=48.4117862 GFY=9385.52378 GFZ=9385.52378 Розміри ядра перерізу : y1=037419 y2=037419 z1=037419 z2=037419 Коефіцієнт Пуассона : nu=0.3 Питома вага : ro=7.85 СОРТАМЕНТ : “C:\Program Files\SCAD Soft\SCAD Office 20\Data\Profiles\Steel_DSTU.xml”	

Тип	Жорсткості	Зображення
	Шифр: "Квадратні труби за ДСТУ 8940:2019", номер рядка 10 Назва розділу : "Квадратні труби за ДСТУ 8940:2019" Назва профілю : "120x4"	
33	Жорсткості сортаменту : EF=77615.99938 EIY=307.250988 EIZ=307.250988 GKR=169.914553 GFY=18690.1404 GFZ=18690.1404 Розміри ядра перерізу : y1=049482 y2=049482 z1=049482 z2=049482 Коефіцієнт Пуассона : nu=0.3 Питома вага : ro=7.85 СОРТАМЕНТ : “C:\Program Files\SCAD Soft\SCAD Office 20\Data\Profiles\Steel_DSTU.xml” Шифр: "Квадратні труби за ДСТУ 8940:2019", номер рядка 20 Назва розділу : "Квадратні труби за ДСТУ 8940:2019" Назва профілю : "160x6"	
34	ЖОРСТКІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАСТИНИ: E=3060000. NU=0.2 DELTA=0.25 Питома вага : ro=2.5	

3.5 Розрахунок каркаса будівлі

Розрахунок напружено-деформованого стану каркаса та визначення зусиль від розрахункових навантажень виконано у програмному комплексі «SCAD» методом скінченних елементів. Розрахункова схема являє собою просторову модель, де колони та ригелі апроксимовано стрижневими скінченними елементами, а плита покриття — оболонковими (універсальними скінченними елементами).

Розбиття на скінченні елементи виконано з кроком, що забезпечує необхідну точність результатів та враховує геометричні особливості конструкції. Розрахунок здійснено для розрахункових сполучень зусиль (РСЗ) згідно з діючими нормами ДБН.

За результатами розрахунку отримано розподіл зусиль за першою та другою групами граничних станів, на основі яких здійснено підбір необхідної площі перерізу арматури: для плит і стін — за результатами розрахунку пластинчастих елементів, для колон і балок — за результатами розрахунку стрижнів.

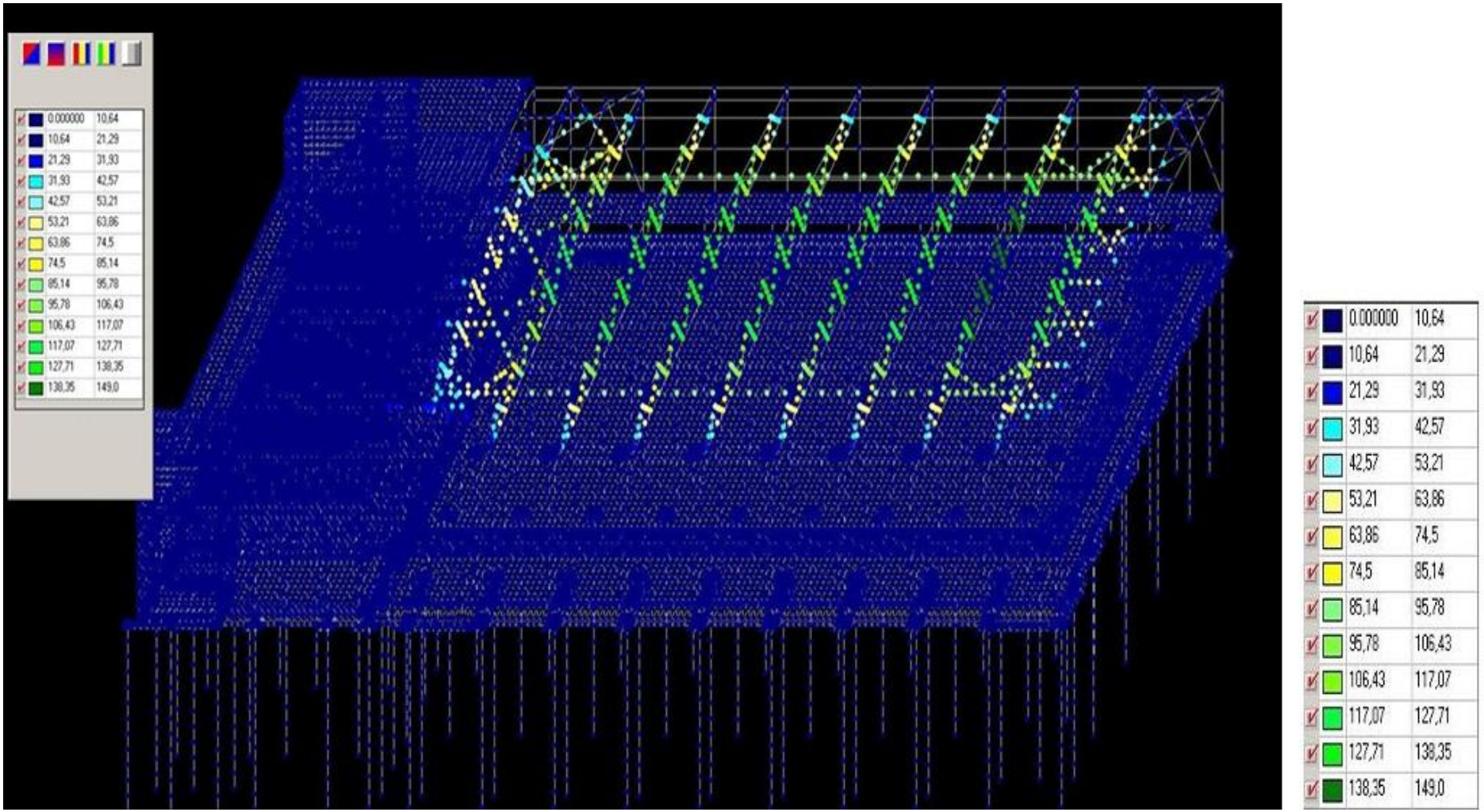


Рисунок 3.2 -Загальні деформації схеми будівлі

3.6 Розрахунок та конструювання залізобетонних елементів

Розрахунок армування в елементах залізобетонних конструкцій виконано з урахуванням граничних станів першої та другої груп відповідно до вимог чинних національних норм — ДБН В.2.6-98:2009 «Бетонні та залізобетонні конструкції» (або, за необхідності, ДСТУ EN 1992-1-1 «Єврокод 2»).

Метою розрахунку є забезпечення:

1. Міцності елементів (перша група граничних станів).
2. Тріщиностійкості та жорсткості (обмеження прогинів) (друга група граничних станів).

Розрахунок базується на деформаційній моделі та виконується для конструкцій, що виготовляються з важкого, дрібнозернистого або легкого бетону із застосуванням розрахункових характеристик арматурної сталі класів А240С, А400С, А500С (згідно з ДСТУ 3760) та арматурного дроту класу Вр-І.

Постпроцесор розрахункового комплексу SCAD інтегровано з нормативними вимогами та дозволяє працювати у двох основних режимах:

- Підбір арматури: автоматичне визначення необхідної площі перерізу арматури, що забезпечує несучу здатність при діючих РСЗ.
- Перевірка армування (експертиза): оцінка несучої здатності та відповідності граничним станам для конструктивно заданого армування.

Бібліотека постпроцесора містить спеціалізовані модулі для детального розрахунку різних типів елементів:

- Модулі стрижневих елементів (1 і 2): призначені для розрахунку поздовжньої та поперечної арматури лінійних елементів (колон, балок, ригелів), враховуючи складні схеми навантажень, включаючи позацентровий стиск/розтяг для різних форм перерізу (прямокутний, тавровий, двотавровий, кільцевий).
- Модулі площинних елементів (11 і 21): забезпечують розрахунок армування на одиницю ширини/висоти для плит, стін, оболонок та балок-

стінок.

Вихідні дані для роботи постпроцесора включають:

- Точну геометрію армованого перерізу та величину захисного шару бетону.
- Комплексні розрахункові сполучення зусиль (РСЗ), отримані в результаті статичного та динамічного аналізу.
- Фізико-механічні параметри матеріалів: клас міцності бетону та клас арматурної сталі.

Результатом роботи постпроцесора є площі розподіленої (теоретичної) арматури (наприклад, см²/м), необхідні для сприйняття діючих зусиль. Ці дані слугують основою для конструктивного конструювання — переведення теоретичних площ у фактичні діаметри та крок арматурних стрижнів з урахуванням конструктивних вимог ДБН. Результати візуалізуються у вигляді графічних матеріалів (ізополів армування) та детальних таблиць.

.



Рисунок 3.3- As1 Нижня арматура вздовж осі X (Днище басейну)

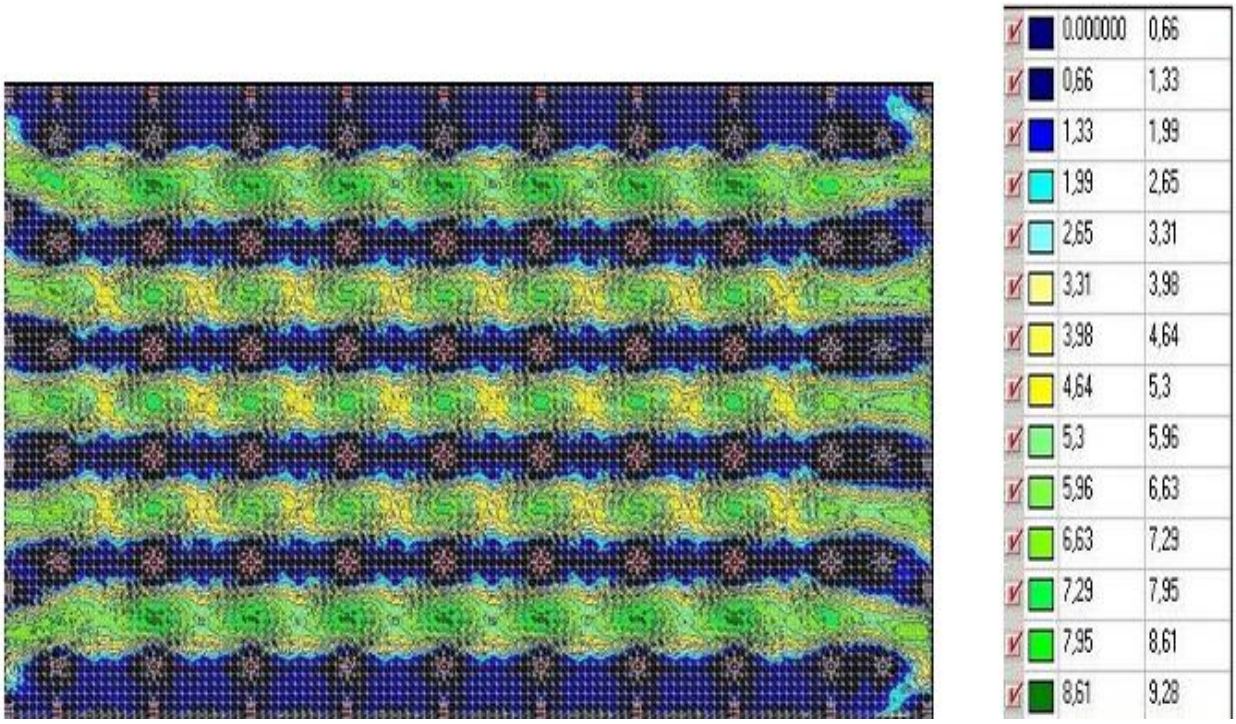


Рисунок 3.4 - As3 Нижня арматура вздовж осі Y (Днище басейну)

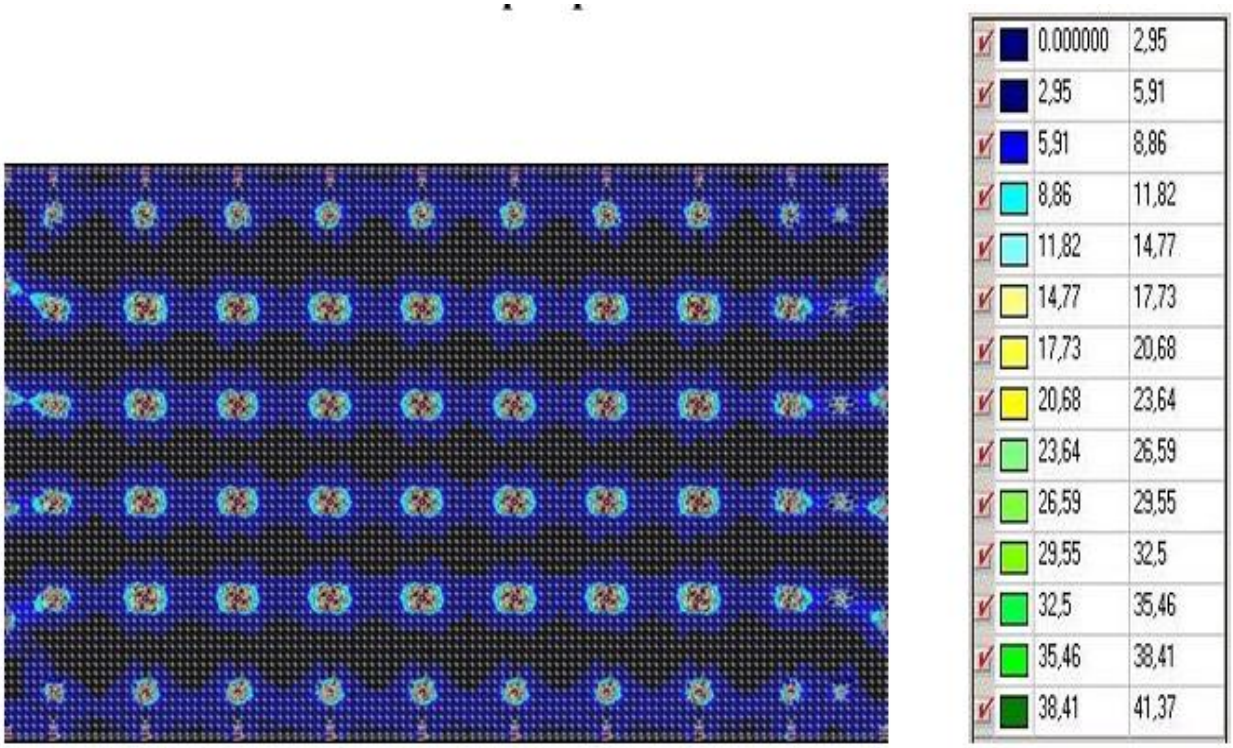


Рисунок 3.5 - As4 Верхня арматура вздовж осі Y (Днище басейну)

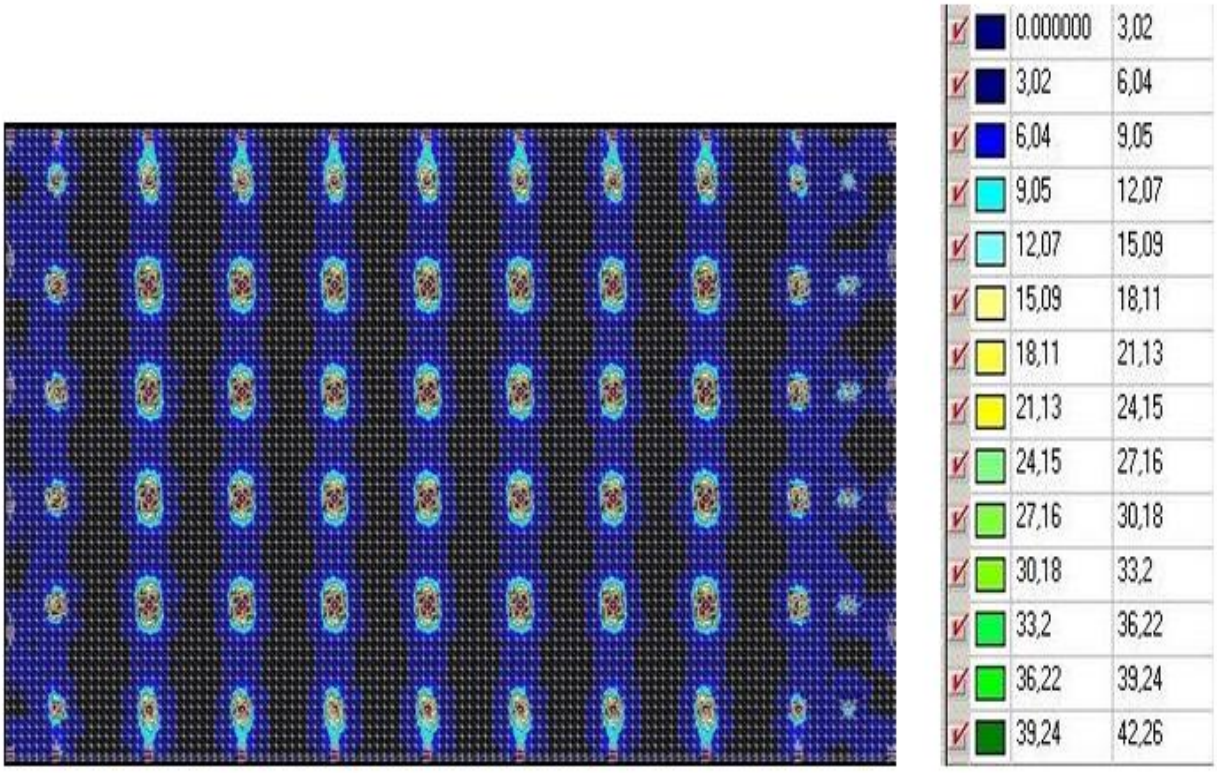


Рисунок 3.6 – As2 Верхня арматура вздовж осі X (Днище басейну)

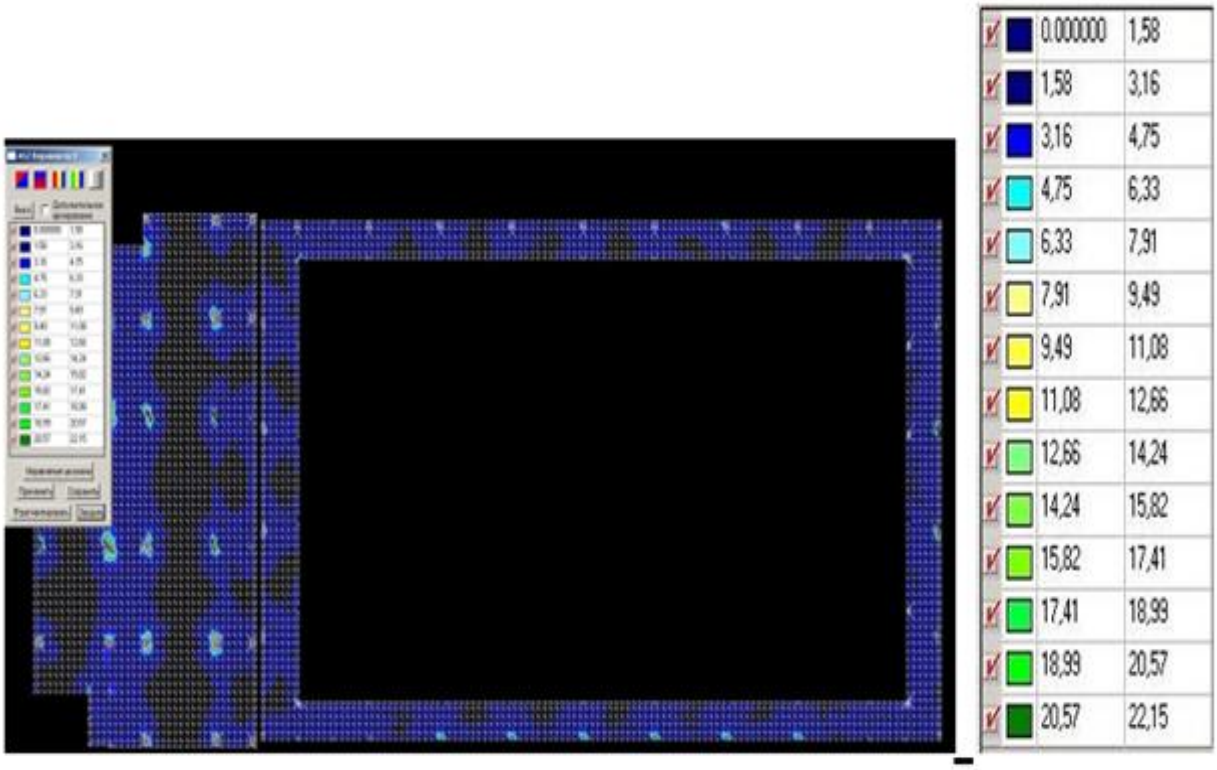


Рисунок 3.7 - As2 Верхня арматура вздовж осі X (Перекриття 1-го поверху)

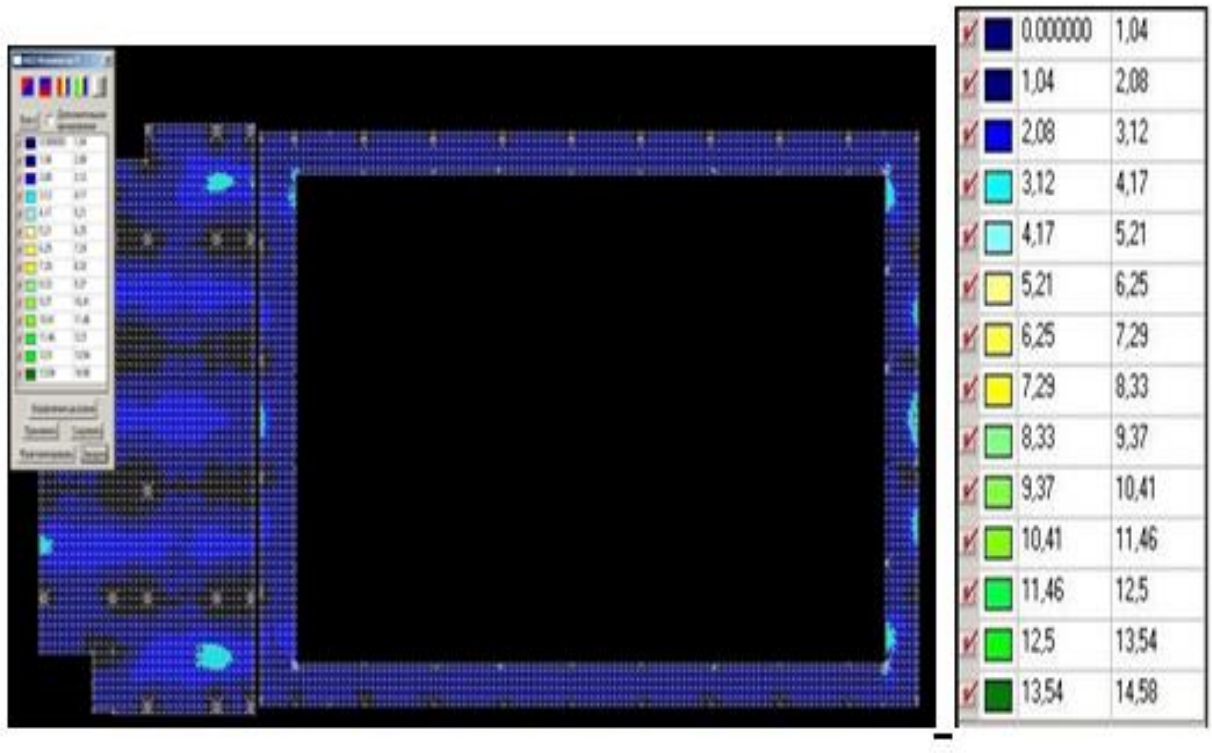


Рисунок 3.8 - As3 Нижня арматура вздовж осі Y (Перекриття 1-го поверху)

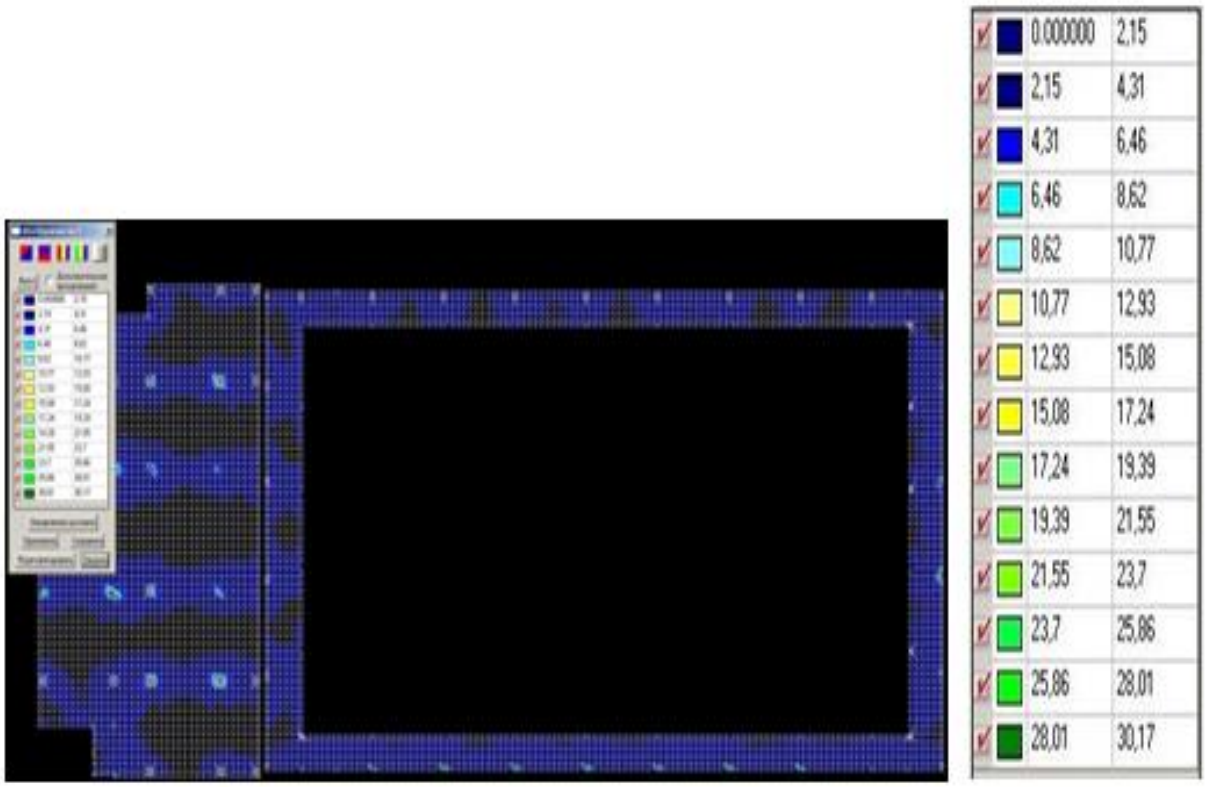


Рисунок 3.9 - As4 Верхня арматура вздовж осі Y (Перекриття 1-го поверху)

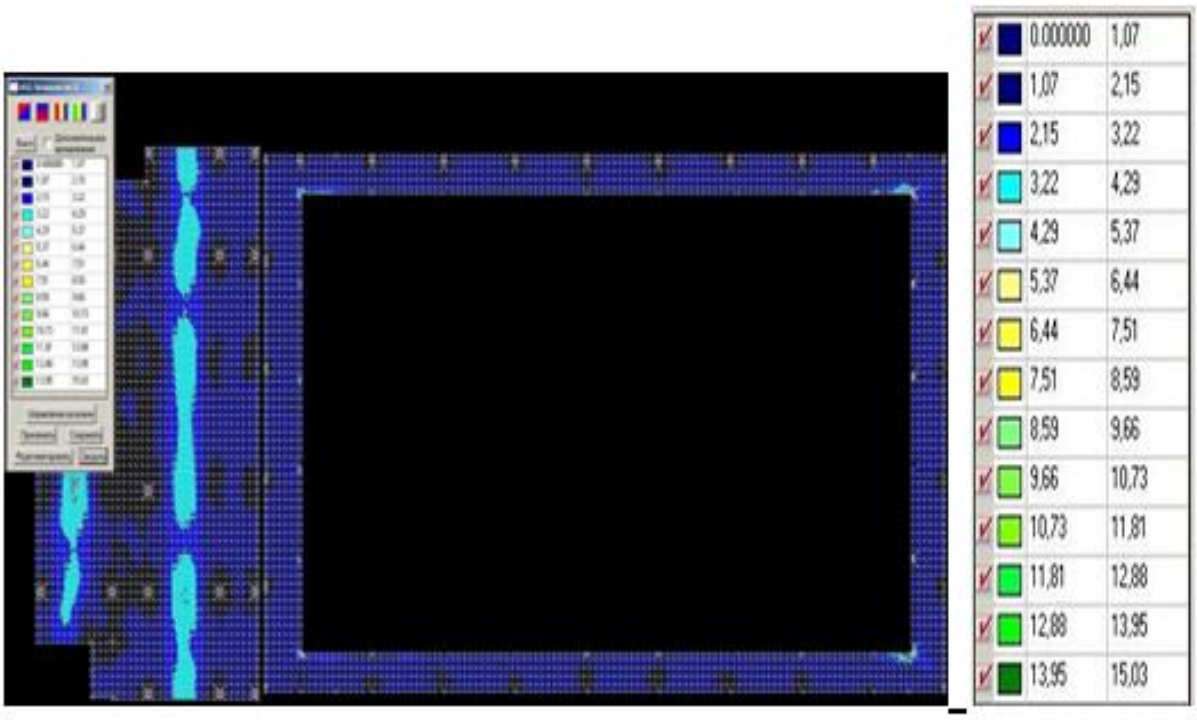


Рисунок 3.10 – As1 Нижня арматура вздовж осі X (Перекриття 1-го поверху)

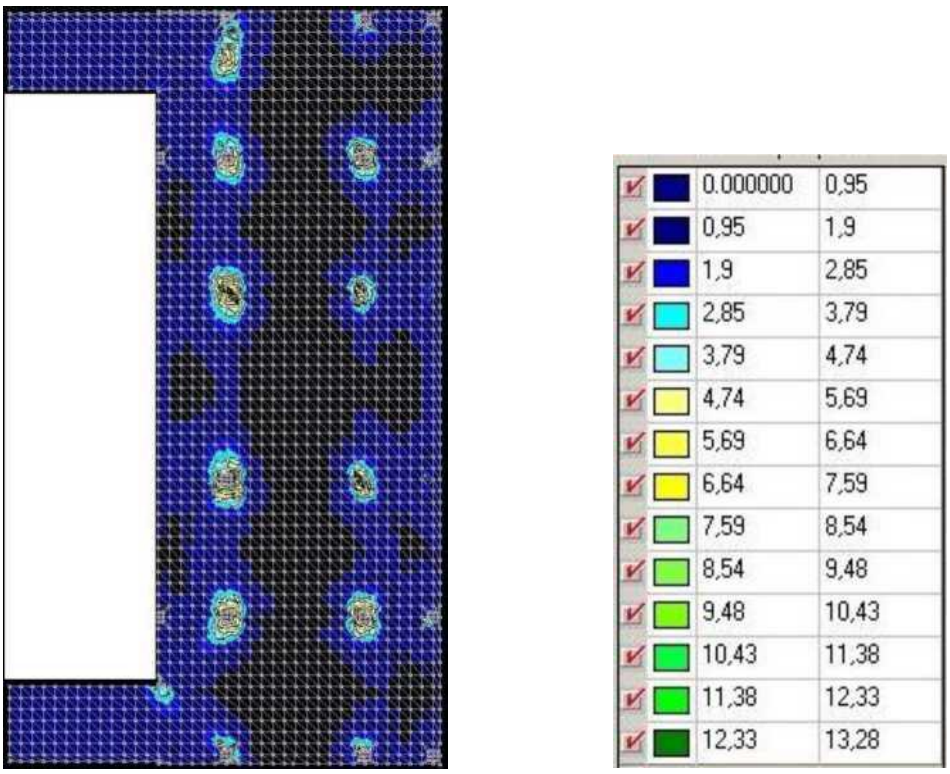


Рисунок 3.11 - As2 Верхня арматура вздовж осі X (Плита покриття)

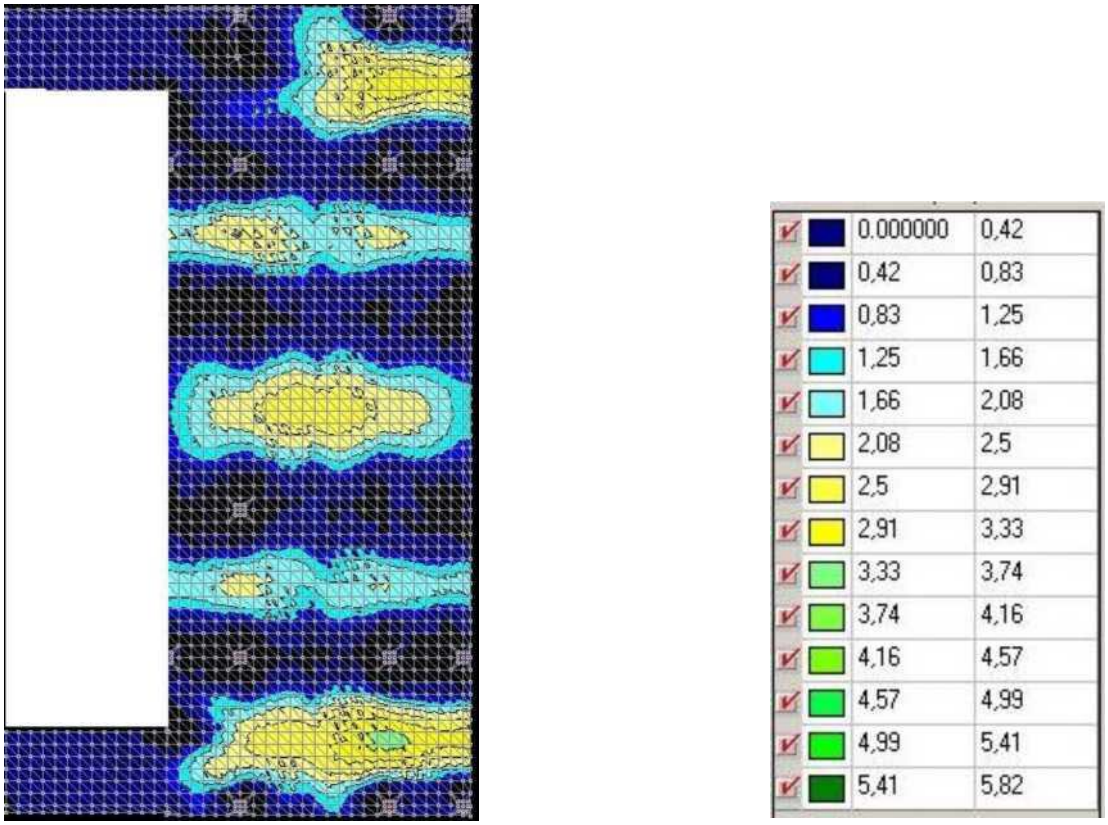


Рисунок 3.12 – As3 Нижня арматура вздовж осі Y (Плита покриття)

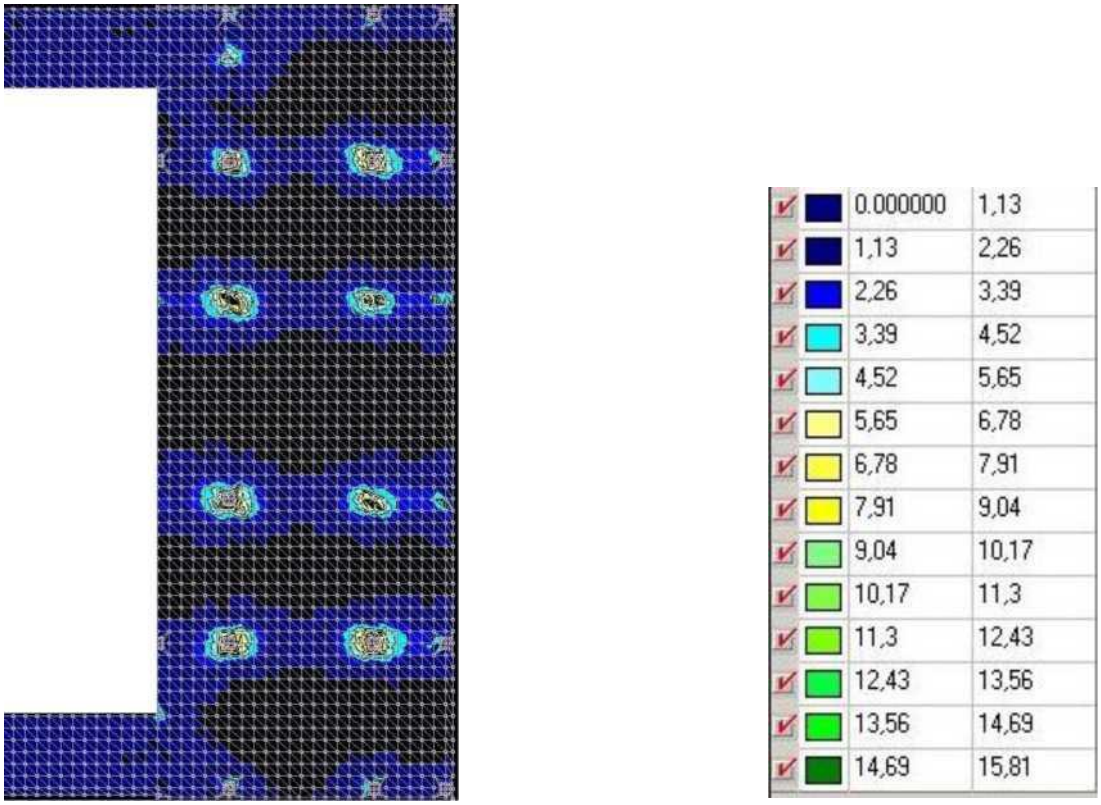


Рисунок 3.13 - As4 Верхня арматура вздовж осі Y (Плита покриття)

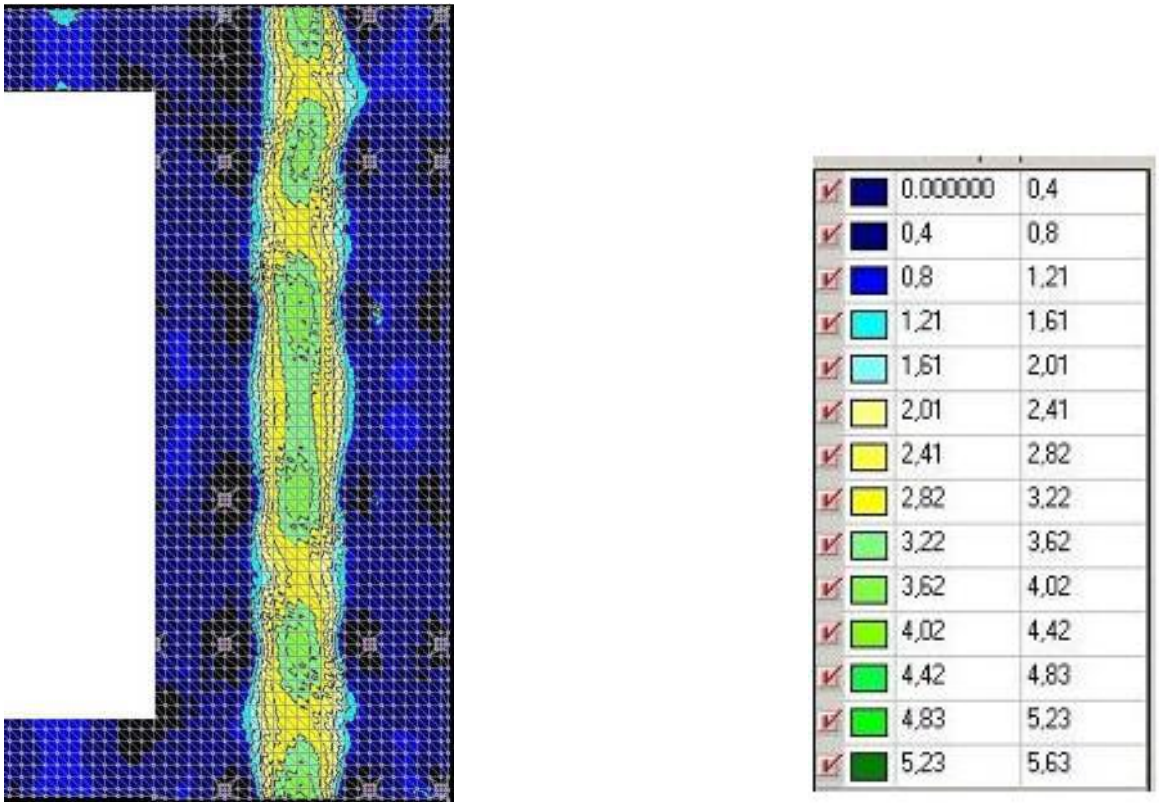


Рисунок 3.14 - As1 Нижня арматура вздовж осі X (Плита покриття)

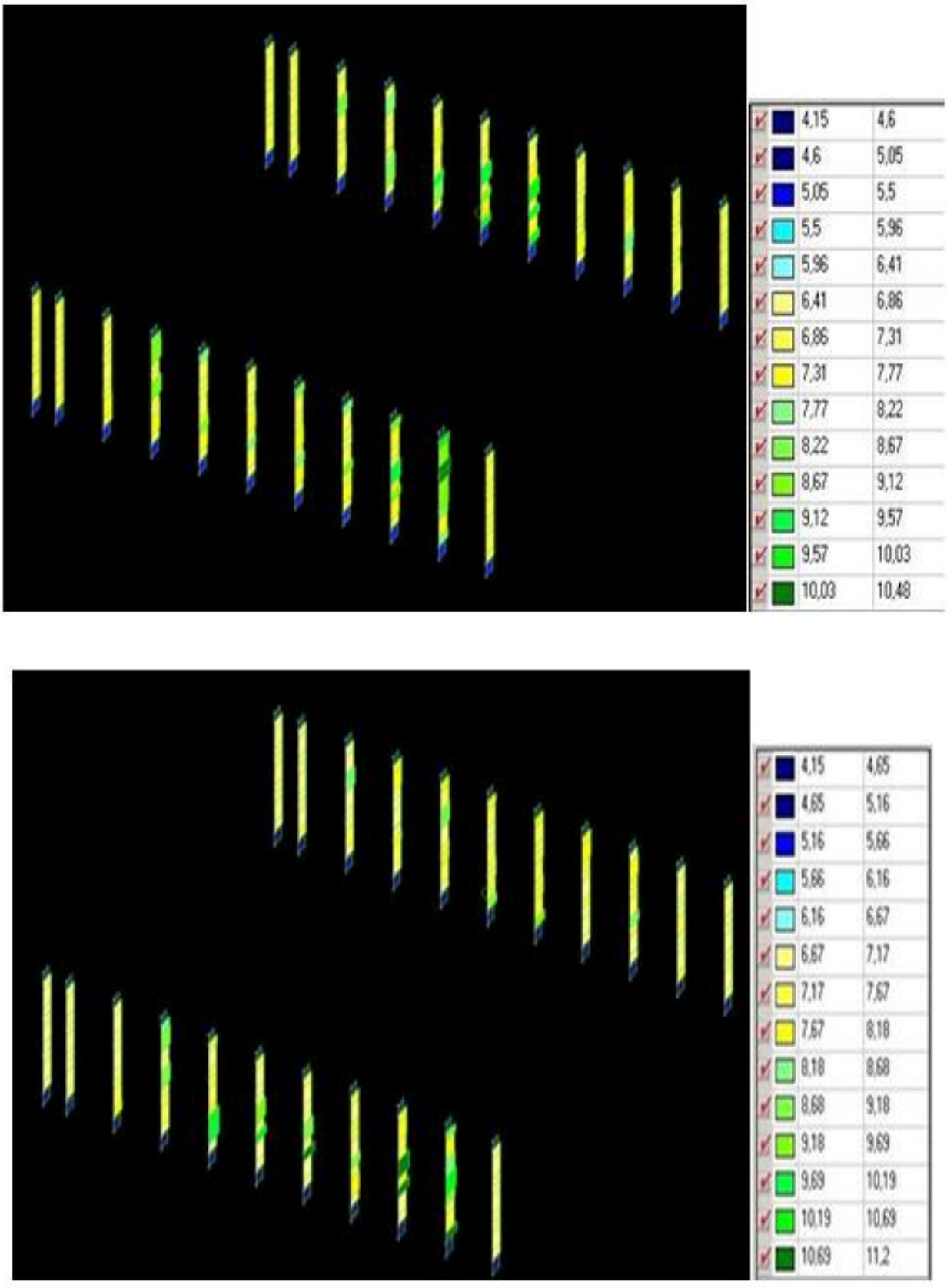
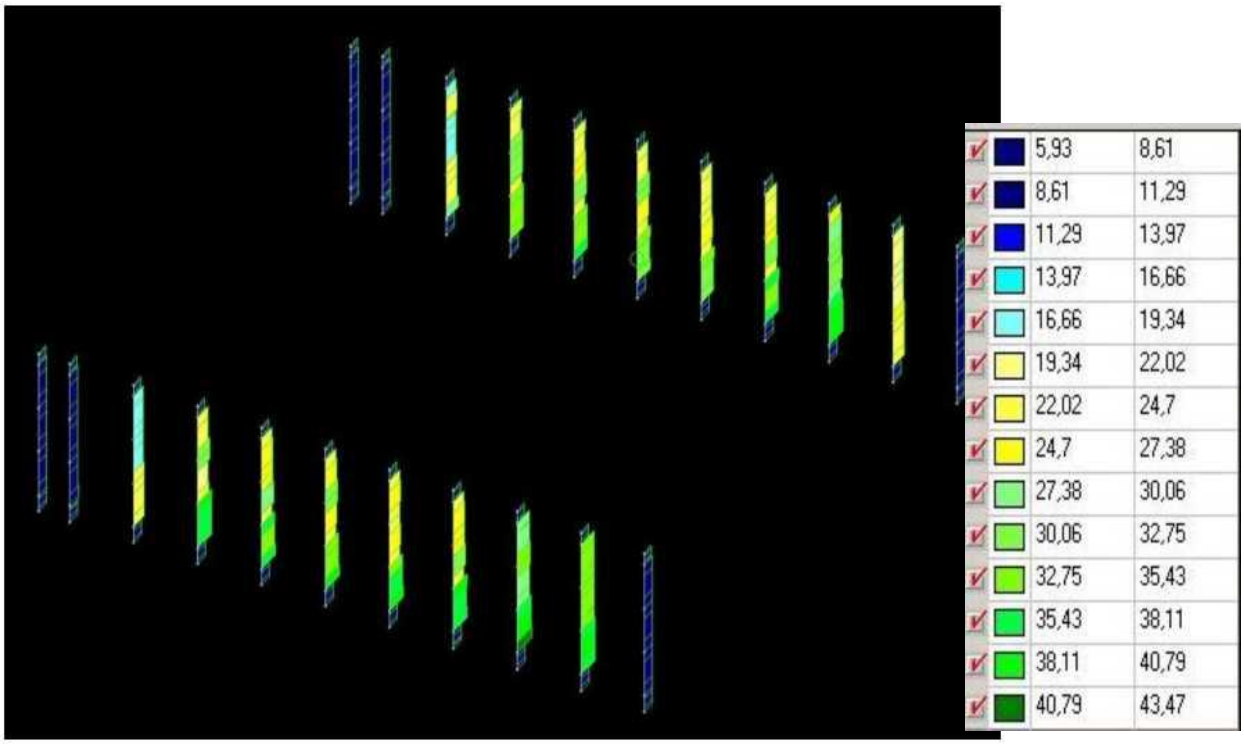


Рисунок 3.15 - Колони басейну



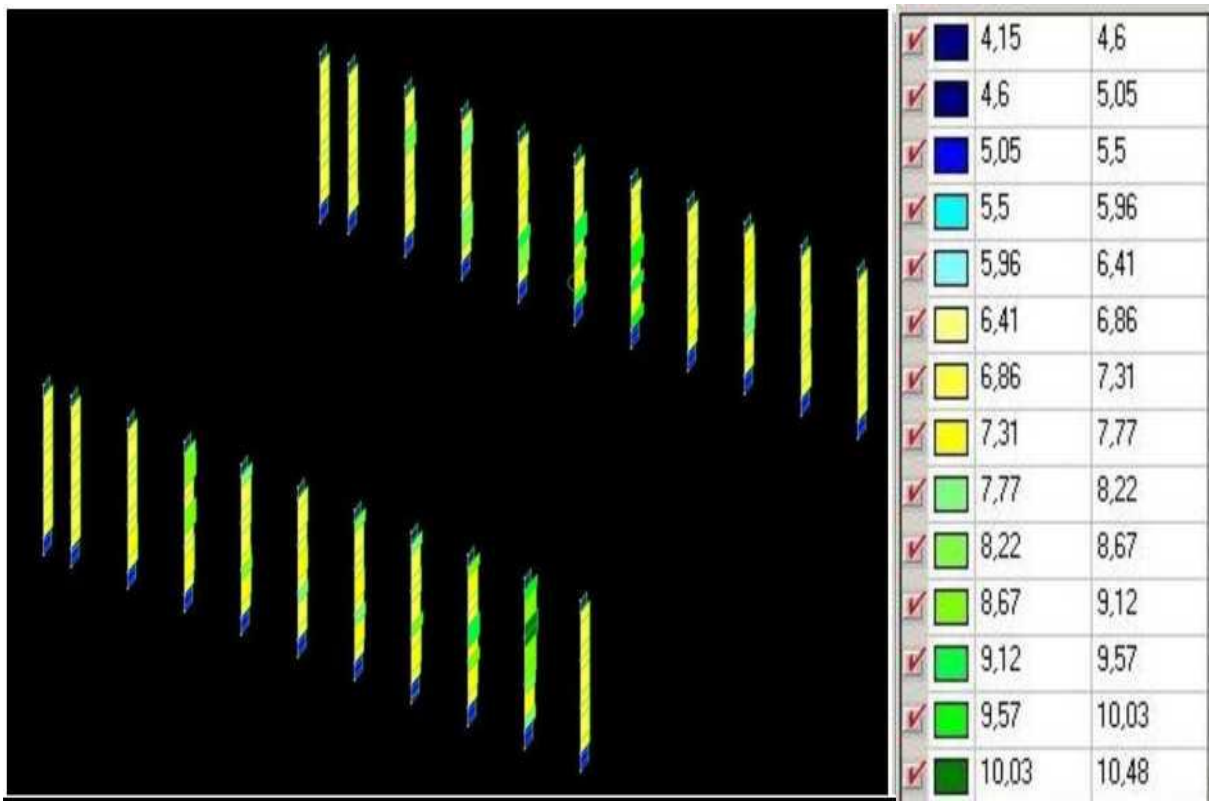


Рисунок 3.16 - Колони басейну

3.8 Висновки до розділу 3

1. У програмному комплексі SCAD Office побудовано адекватну

просторову скінченно-елементну модель будівлі плавального басейну, яка коректно відображає геометрію, жорсткісні характеристики матеріалів (бетон класів С20/25, С16/20; сталь) та умови закріплення несних елементів.

2. Виконано повний збір та прикладання навантажень з урахуванням специфіки гірського району будівництва (с. Поляниця, Карпати), зокрема значного снігового навантаження (3200 Па). Сформовано розрахункові сполучення зусиль (РСЗ) для перевірки конструкцій за найневигіднішими сценаріями завантаження.

3. В результаті розрахунку визначено напружено-деформований стан каркаса будівлі. Отримані значення переміщень та зусиль у елементах підтверджують загальну стійкість системи та знаходяться в межах допустимих норм.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

1. Розроблено повний комплект архітектурних креслень, що включає загальний вигляд будівлі басейну, фасадні рішення, розрізи та плани поверхів (1-го, 2-го і технічного).

2. Розрахунком підтверджено, що огороджувальні конструкції зі стінових сендвіч-панелей (утеплювач — базальтова вата, δ=200 мм) відповідають вимогам енергоефективності згідно з ДБН В.2.6-31:2021.

3. Виконано повний збір навантажень на каркас, включаючи постійні (власна вага, покрівля) та змінні (снігове, технологічне). Визначено зусилля для розрахунку кроквяних ферм та несних елементів.

4. Будівля запроектована за комбінованою схемою.

В осях 1-5/А-Е*:* змішаний каркас (колонно-стіновий) у монолітному залізобетоні (колони, стіни, диски перекриттів). В осях 6-16/А-Е: рамно-зв’язковий каркас, що поєднує збірні залізобетонні колони та металеві ферми покриття.

5. Виконано розрахунок за допомогою програмного забезпечення «SCAD», в ході якого було:

- побудовано геометричну схему будівлі;
- складено та обчислено комбінації (сполучення) рівномірно розподіленого навантаження для плит від покрівлі, підлог, перегородок, корисного навантаження, снігу, води басейну;
- підібрано перерізи для кожного елемента конструкцій;
- отримано напружено-деформований стан несучих елементів каркаса та необхідне армування.

6. Аналіз результатів у ПК SCAD Office підтвердив коректність прийнятих перерізів. Усі елементи каркаса задовольняють вимоги за першою та другою групами граничних станів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об’єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. — [Чинний від 2007–01–01]. Київ : Мінбуд України, 2006. 60 с. (зі змінами).

2. ДБН В.2.6-98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. — [Чинний від 2011–07–01]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. 71 с.

3. ДСТУ 3760:2019. Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Загальні технічні умови. — [Чинний від 2019–10–01]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019. 26 с.

4. ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. 118 с.

5. ДБН В.2.1-10:2018. Основи та фундаменти будинків і споруд. Основні положення проектування. — [Чинний від 2019–01–01]. Київ : Мінрегіон України, 2018. 36 с.

6. ДСТУ-Н Б В.2.1-28:2013. Настанова з інженерного захисту територій, будинків і споруд від зсувів та обвалів. Київ : Мінрегіон України, 2014. 54 с.

7. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи (див. п. 1).

8. ДБН В.2.1-10:2018. Основи та фундаменти будинків і споруд (див. п. 5).

9. ДСТУ-Н Б В.2.1-32:2014. Настанова з проектування фундаментів за деформаціями основ. Київ: Мінрегіон України, 2015. 42 с.

10. ДСТУ-Н Б В.2.6-205:2015. Настанова з проектування монолітних бетонних і залізобетонних конструкцій будівель та споруд (відповідно до ДСТУ Б В.2.6-156:2010). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.

11. Барабаш М. С. Розрахунок залізобетонних конструкцій з використанням програмного комплексу ЛІРА-САПР : навч. посіб. / М. С. Барабаш, Д. В. Лазарев. Київ : Ліра-К, 2016. 132 с.

12. ДБН В.1.2-14:2018. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об’єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. — [Чинний від 2019–01–01]. Київ : Мінрегіон України, 2018. 25 с.

13. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. — [Чинний від 2022–09–01]. Київ : Мінрегіон України, 2022. 76 с.

14. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія. Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. 123 с.

15. ДСТУ 9190:2022. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022.

16. ДСТУ EN 16798-1:2022. Енергоефективність будівель. Вентиляція будівель. Частина 1. Вхідні параметри мікроклімату приміщень. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022.

17. Бамбура А. М., Сазонова І. Р., Дорогова О. В., Войцехівський О. В. Проектування залізобетонних конструкцій : навч. посіб. / за ред. А. М. Бамбури. Київ : Майстер книг, 2018. 240 с.

18. Павліков А. М. Залізобетонні конструкції: будівлі, споруди та їх частини : Підручник / А.М. Павліков. Полтава, ПолтНТУ, 2017. 284 с.

19. Клованич С. Ф., Мироненко І. М. Метод кінцевих елементів у механіці залізобетону : монографія. Одеса : ОНМУ, 2007. 110 с

20. Баженов В. А., Вабіщевич М. О., Ворона Ю. В., Перельмутер А. В., Пискунов С. О., Солодей І. І. Комп’ютерні технології розрахунку просторових конструкцій при статичних і динамічних навантаженнях : навч. посіб. Київ : Каравела, 2018. 312 с.

21. Гіренко В., Кріксунов Е. З, Перельмутер А. В., Перельмутер М. А., Фіалко С.Ю. та ін. SCAD Office. Електронні довідники: Київ : СКАД СОФТ, 2008. 108 с.

22. Барабаш М. С. Комп'ютерне моделювання процесів життєвого циклу об'єктів будівництва : монографія / М. С. Барабаш. Київ : Сталь, 2014. 301 с.

23. Павліков А. М., Гарькава О. В. Проектування монолітних ребристих перекриттів : навч. посіб. / за ред. А. М. Павлікова. Полтава : ПолтНТУ, 2015. 84 с.

24. Терми Антоніна (Терми Каракалли) : [електронне зображення] // World History Encyclopedia. URL: https://www.worldhistory.org/image/17538/ (дата звернення: 10.11.2025).

25. London Aquatics Centre Roof Structure : [ілюстрація] // Zaha Hadid Architects : [офіційний сайт]. URL: https://www.zaha-hadid.com/architecture/london-aquatics-centre/ (дата звернення: 10.11.2025).

26. ДБН В.2.2-13:2003. Спортивні та фізкультурно-оздоровчі споруди. – [Чинний від 2004–03–01]. Київ : Держбуд України, 2004. 107с. (Державні будівельні норми України).

27. ДСТУ Б В.2.6-193:2013. Захист будівельних конструкцій від корозії. Загальні вимоги. [Чинний від 2014–01–01]. Київ : Мінрегіон України, 2014. 47 с. (Національний стандарт України).

28. ДСТУ ISO 12944-5:2019 (ISO 12944-5:2018, IDT). Фарби та лаки. Захист від корозії сталевих конструкцій захисними лакофарбовими системами. Частина 5. Захисні лакофарбові системи. [Чинний від 2020–10–01]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2020. 36 с. (Національний стандарт України).

29. 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.

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

31. Ясній, В. П.; Будз, В. І. Пристрої та системи захисту будівель та поруд від дії циклічних навантажень: сучасний стан та перспективи. Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій, 2023, 1.36:С. 105-114.

32. Гудь, Михайло Іванович. "Підбір раціональної схеми розміщення в’язей у днищі плаваючого басейну." Праці конференції Міжнародної науково- технічної конференції присвяченої 70-річчю від дня народження член- кореспондента НАН України, проф. Яснія Петра Володимировича „Міцність і довговічність сучасних матеріалів та конструкцій “ (2022): С. 93-94.

33. Ясній, П. В., Гудь, В. З., Пиндус, Ю. І., Гудь, М. І., & Коневич, М. Р. (2018). Методи моніторингу та розрахунку експлуатаційних впливів і динаміки руху колісних транспортних систем при транспортуванні великогабаритних вантажів: навчальний посібник для студентів усіх форм навчання.

34. Ільїн С.В., Розумович О.І. Сучасний стан проектування багатоповерхових будівель із деревини – тези доповіді на XVIII університетської науково-практичної конференції студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчених «МОЛОДА НАУКА-2025». Запорізький національний університет. Запоріжжя: ЗНУ, 2025. Т.5. С. 58–59.