

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет будівництва та транспорту
Кафедра будівельних конструкцій

До захисту
Допускається
Завідувач кафедри
Будівельних конструкцій
_____ Циганенко Л.А.
підпис
« ___ » _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за другим рівнем вищої освіти

На тему: «Дослідження роботи монолітного каркасу будівлі при дії сейсмічних навантажень»

Виконав	_____	Петренко А.П.
	(підпис)	(Прізвище, ініціали)
Група		БУД 2401-1м
(Науковий) керівник	_____	Циганенко Л.А.
	(підпис)	(Прізвище, ініціали)

Суми – 2025 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра: будівельних конструкцій

Спеціальність: 192 "Будівництво та цивільна інженерія"

ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Петренко Анатолій Петрович

Тема роботи: Дослідження роботи монолітного каркасу будівлі при дії сейсмічних навантажень

Затверджено наказом по університету №34/ос від "07" січня 2025р.

Строк здачі студентом закінченої роботи: "08" грудня 2025 р.

Вихідні дані до роботи:

виконати аналіз діючої нормативної бази та особливостей впливу

сейсмічного навантаження на будівлі, в залежності від різних

факторів. Провести варіативне моделювання поведінки будівлі, з

різними варіантами плоскої рами та з різною поверховістю, у

середовищі спеціалізованих програмних комплексів. Підібрати

раціональну схему будівлі по результатам моделювання. Розробити і

впровадити конструктивні рішення окремих елементів будівлі, що

відповідають загальновідомим принципам протидії сейсмічним

впливам

Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що підлягають розробці)

Основні поняття та загальні положення щодо будівництва

будівель, стійких до землетрусів. Методологічні підходи щодо

розрахунків будівельних конструкцій на сейсмічні навантаження.

Особливості дії землетрусу на споруду: типові риси впливу

коливань ґрунту на конструкцію будівлі. Оцінка взаємозв'язку між

активністю сейсмічною та трансформаціями у конструкції споруд

Порівняльна характеристика системи каркасної і системи

подвійної. Здійснення обґрунтованого вибору оптимальної

конструкції фундаменту для імітаційної моделі споруди

Перелік графічного матеріалу (з точною вказівкою обов'язкових креслень)

Розвиток сейсмостійкого будівництва в Україні. Сучасні підходи до

зведення сейсмостійких будівель. Характерні особливості впливу

сейсмічних навантажень. Армування елементів фундаментів в

сейсмостійких будівлях. Побудова залежностей між сейсмічною

активністю та змінами в структурі будівель. Порівняння каркасної

та подвійної схеми будівлі. Підбір раціональної схеми фундаменту.

Впровадження сучасних принципів протидії сейсмічним впливам у

досліджувану модель будівлі

Керівник :

(підпис)

Циганенко Л.А.

(Прізвище, ініціали)

Консультант

(підпис)

Луцьковський В.М.

(Прізвище, ініціали)

Завдання прийняв до виконання:

Здобувач

(підпис)

Петренко А.П.

(Прізвище, ініціали)

Анотація

Петренко Анатолій Петрович. Дослідження роботи монолітного каркасу будівлі при дії сейсмічних навантажень – Кваліфікаційна робота магістра на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота магістра за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія». – Сумський національний аграрний університет, Суми, 2025.

Робота складається із змісту, вступу з загальною характеристикою роботи та її кваліфікаційних ознак, огляду досліджень за обраною темою, розділів основної частини, висновки за результатами МКР.

Сформульовано мету, задачі, об'єкт та предмет дослідження, методи наукового дослідження.

Результати досліджень дозволяють зробити висновок, про те, що найбільша деформація 15-поверхової каркасної будівлі сягає 160 мм, що майже вдвічі перевищує відповідний показник для конструкції дуальної схеми (75 мм). Отримані дані підкреслюють потребу в подальшому застосуванні розширеного антисейсмічного шва між висотними будинками з каркасною конструктивною схемою. На основі моделювання було встановлено, що в подвійних системах, стіни демонструють ефективну роботу на нижніх рівнях, тоді як колони – на верхніх. Найбільш обґрунтованим варіантом фундаменту для будівлі є фундамент з підвальними стінами, розташованими по всьому периметру споруди.

Аналіз публікацій та досліджень встановив, що пошкодження і вид руйнування будівель і споруд при дії сильних підземних поштовхів показує, що більшість об'єктів або отримують серйозні пошкодження, або повністю руйнуються. Тому для забезпечення життєдіяльності необхідно передбачити низку заходів щодо попередження руйнувань існуючих будівель, першим з яких є моделювання сейсмостійкості об'єктів у сейсмічних районах.

В основній частині детальний аналіз чутливості до сейсмічних впливів показав, що належне врахування конструктивних особливостей фундаментів та підземних споруд є критично важливим. Основна частина сейсмічного навантаження передається через ґрунти, яким часто приділяється недостатня увага

в процесі проектування, що може мати значний вплив на поведінку будівлі. При розробці проектів нових житлових будівель важливо відмовлятися від шаблонних рішень і враховувати варіативність сейсмічних характеристик місцевості.

У **висновках** наведені результати серії імітацій, для дослідження реакцій будівель з плоскою рамою різної висоти (4, 8 і 15 поверхів) на сейсмічний вплив. У ході цих моделювань було проаналізовано динамічну поведінку двох різних типів плоских рам: каркасної (яка складається лише з колон) та комбінованої (яка поєднує колони та стіни, розташовані у центральній частині споруди). На основі моделювання було встановлено, що в подвійних системах, стіни демонструють ефективну роботу на нижніх рівнях, тоді як колони – на верхніх. Найбільш обґрунтованим варіантом фундаменту будівлі є фундамент з підвальними стінами, розташованими по всьому периметру споруди.

Ключові слова: сейсмічні впливи, каркасна конструкція, рама, зусилля, динаміка, колони, стіни, комп'ютерна модель.

Список публікацій та/або виступів на конференціях студента:

1. Циганенко Л.А., Петренко А.П. Дослідження роботи монолітного каркасу будівлі при дії сейсмічних навантажень. Експлуатація та реконструкція будівель і споруд: матеріали VI міжнародної конференції – Одеса: ОДАБА, 2025. – С. 211.

2. Циганенко Л.А., Петренко А.П. Оцінка функціонування монолітного каркасу будівлі в умовах сейсмічної активності. Modern Movement of Science: Proceedings of the 17th International Scientific and Practical Internet Conference, October 16-17, 2025. – FOP Marenichenko V.V., Dnipro, Ukraine, 2025. – Pp. 238-239.

В **додатках** наведено; тези конференції, альбом слайдів мультимедійної презентації.

Структура роботи. Робота складається з основного тексту на 69 сторінках, у тому числі 2 таблиць, 63 рисунків. Текст роботи містить вступ із загальною характеристикою роботи, 3 розділи, висновки і рекомендації за результатами роботи, список з 21 використаного джерела, 3 додатки на 30 сторінках. Графічна частина складається з 19 слайдів мультимедійної презентації.

Зміст

Вступ	3
Розділ 1 Огляд наявних підходів до тематики дослідження	6
1.1 Основні поняття та загальні положення щодо будівництва будівель, стійких до землетрусів	6
1.2 Методологічні підходи щодо розрахунків будівельних конструкцій на сейсмічні навантаження	10
1.3 Огляд існуючих наукових публікацій та вишукувань	12
Висновки по Розділу 1	17
Розділ 2 Теоретичні засади та методологія дослідження	18
2.1 Особливості дії землетрусу на споруду: типові риси впливу коливань ґрунту, викликаних сейсмічною активністю, на конструкцію будівлі	18
2.2 Керівні принципи зменшення наслідків сейсмічних впливів	23
2.3 Посилення арматурою конструктивних елементів каркаса сейсмостійких споруд	25
Висновки по Розділу 2	42
Розділ 3 Експериментально-дослідний розділ	43
3.1 Оцінка взаємозв'язку між активністю сейсмічною та трансформаціями у конструкції споруд	43
3.2 Порівняльна характеристика системи каркасної і системи подвійної	52
3.3 Здійснення обґрунтованого вибору оптимальної конструкції фундаменту для імітаційної моделі споруди	60
3.4 Збереження моделі споруди з RFEM 6 у форматі, сумісному з Tekla Structures	63
Висновки по Розділу 3	68

Загальні висновки	69
Список використаних джерел	70
Додатки:	
Додаток А	72
Додаток Б. Матеріали конференції	75
Додаток В. Графічні матеріали	82

ВСТУП

Актуальність теми.

Землетруси є одними з найруйнівніших природних катаклізмів на Землі. Вивчення наслідків пошкоджень і характеру руйнувань споруд та будівель під час інтенсивних сейсмічних коливань свідчить, що значна частина об'єктів зазнає значних пошкоджень або повністю руйнується. Отже, для підтримки нормального функціонування важливо передбачити комплекс заходів для запобігання руйнуванню наявних будівель, і першим кроком є оцінка сейсмостійкості об'єктів у сейсмонебезпечних зонах.

Відповідно до наукових даних, західні та південні області України належать до сейсмічно активних регіонів світу, де існує значний ризик виникнення сильних землетрусів з інтенсивністю 6 балів і вище. Інститут геофізики імені Суботіна С.В. інформує, що територія України поділяється на зони, серед яких виділяються декілька ключових зон з підвищеною сейсмічною небезпекою. Зокрема, це Карпатський регіон, Південне узбережжя Криму, Закарпатська, Прикарпатська та Буковинська області, практично уся територія Одеської області, і ще окремі частини у Вінницькій, Кіровоградській, Тернопільській та Львівській областях, а також частина Донецького басейну.

Аналіз стану наукової розробки проблеми.

Наразі в Україні, аналогічно багатьом країнам світу, вивчення впливу землетрусів є важливим практичним завданням. Це дозволяє отримати дані для розробки більш стійких до сейсмічних впливів будівель, пошуку ефективних економічних рішень, збільшення їх надійності, а також для розробки заходів щодо посилення існуючих будівель та споруд, незалежно від ступеня їх пошкодження. У 2006 році в Україні вперше було розроблено та введено в дію Державні будівельні норми ДБН В. 1.1-12:2006 щодо проектування споруд у сейсмічно активних зонах, спрямовані на максимальне підвищення їх безпеки, зменшення соціальних та економічних ризиків, а також мінімізацію збитків від сильних землетрусів.

Аналіз інформації про наслідки землетрусів показує, як поводять себе споруди з різними типами каркасів під час сейсмічних подій. Фактичні дані, отримані після багатьох землетрусів, демонструють, що каркасні будівлі, як правило, є більш стійкими до сейсмічних впливів. Зазвичай, жорсткість і вага каркасних будівель значно менші, ніж у цегляних або панельних, що відчутно зменшує сейсмічні навантаження.

Мета дослідження.

Мета даної роботи полягає у створенні моделей поведінки будівель з різними конфігураціями плоских рам та різною кількістю поверхів під впливом сейсмічних сил. Кінцевою метою є визначення оптимальної схеми.

Завдання дослідження.

Для реалізації поставленої мети було визначено такі завдання:

- здійснення глибокого аналізу поточної нормативної документації та специфіки впливу сейсмічного навантаження на споруди, враховуючи різноманітні чинники;

- виконання комплексного моделювання роботи будівлі, використовуючи різні конфігурації плоскої рами та різну кількість поверхів, у спеціалізованому програмному забезпеченні;

- обрання оптимальної конструктивної схеми будівлі на основі результатів моделювання;

- розробка та застосування конструктивних рішень окремих компонентів будівлі, які відповідають загальноприйнятим принципам сейсмостійкості.

Предмет дослідження – реакція та можливі зміни в конструкції будівлі під час землетрусу.

Об'єкт дослідження – конструкція каркасу з монолітного залізобетону гіпотетичної будівлі, що характеризується різними типами плоских рам і кількістю поверхів.

Методологія дослідження.

Процес всебічного дослідження ґрунтувався на іноземних та українських наукових роботах, даних попередніх наукових розвідок, а також на актуальних законодавчих і нормативних документах.

Апробація і публікація результатів дипломної роботи.

Результати роботи опубліковано у збірнику тез доповідей VI міжнародної конференції «Експлуатація та реконструкція будівель і споруд» (25-26 вересня 2025 року, Одеса, ОДАБА) та у збірнику Modern Movement of Science: Proceedings of the 17th International Scientific and Practical Internet Conference, October 16-17, 2025, Dnipro, Ukraine (додаток А).

Структура та обсяг роботи. Робота складається з основного тексту на 69 сторінках, у тому числі 2 таблиць, 63 рисунків. Текст роботи містить вступ із загальною характеристикою роботи, 3 розділи, висновки і рекомендації за результатами роботи, список з 21 використаного джерела, 3 додатки на 30 сторінках. Графічна частина складається з 19 слайдів мультимедійної презентації.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД НАЯВНИХ ПІДХОДІВ ДО ТЕМАТИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Основні поняття та загальні положення щодо будівництва будівель, стійких до землетрусів

Сейсмостійке будівництво – це проектування та зведення будівель, здатних витримувати наслідки землетрусів, зокрема відповідні навантаження та сейсмічні впливи. В Україні впроваджено систему заходів та інструментів для гарантування стійкості будівель до землетрусів. Ця система включає нормативні документи, що враховують сейсмічність регіону, ймовірність повторних поштовхів, характеристики ґрунтів, важливість об'єкта, конструктивні особливості споруди та інші значущі параметри.

Визначення розрахункової сейсмічності для забудови базується на даних детального сейсмічного районування та сейсмічного мікрорайонування з урахуванням локальних та інженерно-геологічних характеристик території, а також близькості до можливих осередків землетрусів. Найбільший вплив на інтенсивність сейсмічних впливів мають геологічні умови ділянки. Скельні ґрунти вважаються більш надійними для будівництва в сейсмічно активних зонах, тоді як піщані, глинисті, насипні ґрунти, а також ділянки з високим заляганням ґрунтових вод, характеризуються більш високою інтенсивністю сейсмічних коливань. Ділянки з крутими схилами (понад 15°), представлені зруйнованими гірськими породами, пухкими ґрунтами, а також території, де фіксуються осипи, зсуви, обвали, пливуні та селеві потоки, є несприятливими, а іноді й непридатними для зведення сейсмостійких будівель. Якщо ж будівництво на таких ділянках є необхідним, то проектом передбачаються додаткові захисні заходи для фундаментів та конструкцій. Забезпечення стійкості будівель та споруд до сейсмічних впливів досягається шляхом вибору оптимальної ділянки для будівництва з урахуванням сейсмічної активності території, а також шляхом проектування найбільш ефективних конструкцій та схем, застосування матеріалів, здатних до пластичних деформацій під великими

навантаженнями у конструктивних елементах та їх з'єднаннях. Обчислення параметрів будівельних конструкцій (визначення розмірів поперечного перерізу елементів, їх довжини та ін.) виконується згідно з чинними нормативними документами.

Згідно з будівельними нормами, існує перелік обов'язкових технічних вимог та обмежень для забезпечення стійкості будівель до землетрусів у сейсмічно активних зонах. До них відносяться, зокрема, габарити споруд у плані та їх висота. У великих за протяжністю будівлях і спорудах, які мають складну конфігурацію передбачається влаштування швів антисейсмічних (які реалізуються як рами, подвійні стіни чи контрфорси, колони здвоєні з суцільним фундаментом та ін.). Для забезпечення додаткової міцності, фундаменти та стіни підвальних приміщень підлягають особливому армуванню. Для кам'яних та цегляних будівель для перекриттів по зовнішньому контуру стін влаштовуються протисейсмічні залізобетонні пояси (збірного чи монолітного типу, що міцно поєднанні поміж собою і які мають неперевне армування). Пояси проти сейсмічних впливів, що належать верхнім поверхам з'єднуються з фундаментом будівель вертикальними арматурними випусками.

Підвищення сейсмічної стійкості об'єкта на один бал збільшує кошторис будівельно-монтажних робіт приблизно на 4%. Зведення споруд і будівель споруд в областях із сейсмічністю, що перевищує 9 балів, є ризикованим та потребує ретельного аналізу спеціалізованою групою інженерів з обов'язковим погодженням з фахівцями-сейсмологами.

Сейсмічна інтенсивність майданчика будівництва в балах визначається згідно з переліком населених пунктів України та набором карт із загальним сейсмічним районуванням (ОСР-2004) для території України, які розробляли Кримська експертна рада з оцінки сейсмічної небезпеки і прогнозу землетрусів і Інститут геофізики НАН України, відповідно до вимог [1].

Дослідження значних землетрусів за останні два десятиліття показують, що їх розташування та руйнівні наслідки, як правило, зростають з часом. Необхідно приділяти особливу увагу спорудам, розташованим у районах із

підвищеною сейсмічною активністю, а також тим, що будуються у важких геологічних умовах.

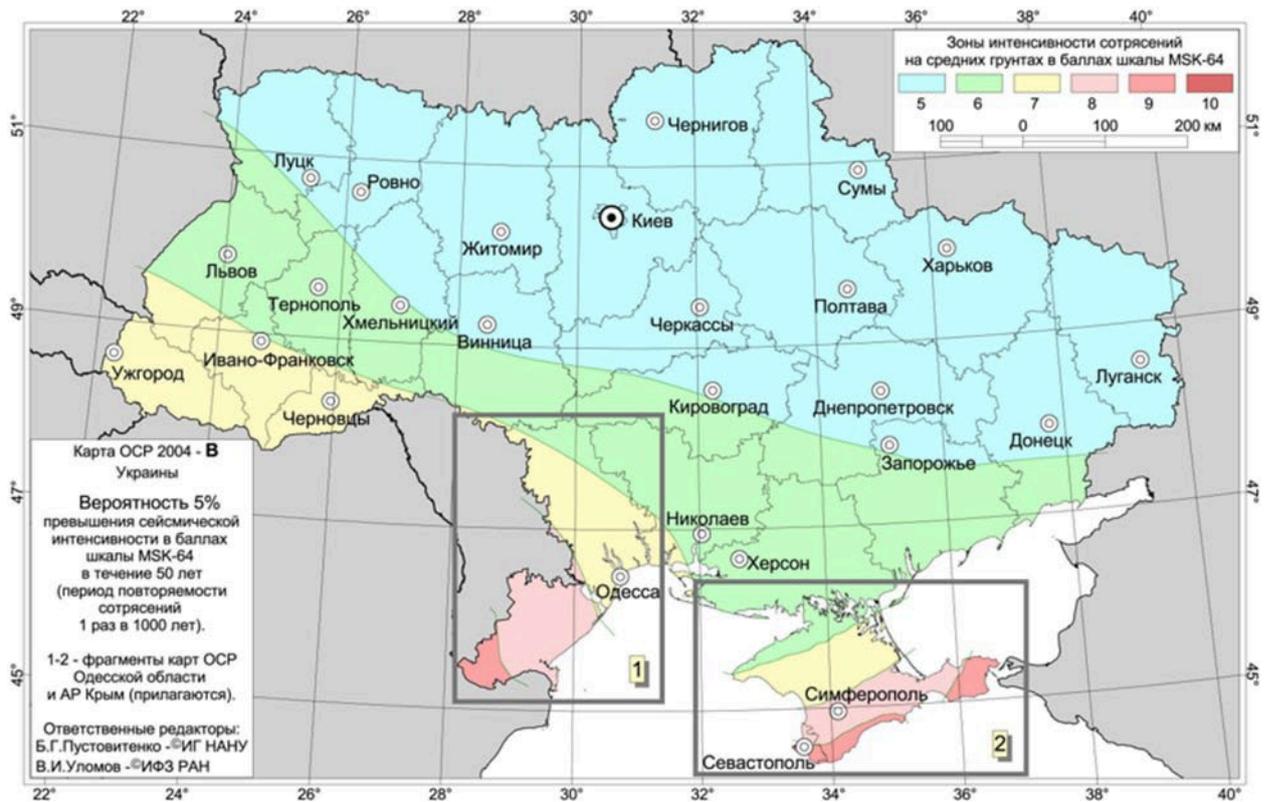


Рис. 1.1. Схема сейсмічного районування території України

Державні будівельні норми ДБН В.1.1-12-2014 містять перелік вимог та обмежень щодо проектування будівель і споруд. Не рекомендується, за відсутності належного обґрунтування, розміщувати об'єкти на сейсмічно небезпечних територіях. До таких ділянок належать:

- зони, де ймовірні тектонічні розломи на земній поверхні;
- території з ризиком зсувів, обвалів, карстових явищ, а також наявністю шахтних виробок;
- схили з кутом нахилу понад 15° ;
- зони, де можливе проходження селевих потоків;
- небезпечні місцевості;
- ділянки, складені ґрунтами IV категорії за сейсмічною класифікацією.

Крім того, не рекомендується будівництво будівель на територіях з 9-бальною сейсмічною активністю та складними геологічними характеристиками.

Зокрема:

- на ґрунтах категорії IV не дозволяється спорудження багатоповерхових житлових будинків, промислових об'єктів і енергетичних установок, що не забезпечують потреби місцевого населення. Також заборонено будівництво об'єктів, де можливе масове перебування людей (наприклад, навчальних закладів, медичних установ, торговельних комплексів, театрів, кінотеатрів). На цих територіях можливо розміщення міських зон відпочинку, зелених насаджень, складських комплексів, автопарків, гаражів, ремонтних майстерень, тимчасових сільськогосподарських, виробничих та інших одноповерхових будівель.

При проектуванні сейсмостійких споруд і будівель, а також при посиленні наявних будівель рекомендується:

- обирати архітектурні та конструктивні рішення, які забезпечують, наскільки це можливо, симетрію та рівномірність розподілу мас, жорсткості та навантажень на перекриття за висотою будівель та по перерізу;

- для мінімізації сейсмічних навантажень слід використовувати матеріали з низькою питомою вагою, а також застосовувати сейсмоізоляцію та інші технології активного або пасивного сейсмічного захисту конструкцій;

- Забезпечувати здатність окремих елементів конструкцій зазнавати припустимих пластичних переміщень;

- здійснювати обчислення сталевих конструкцій будівель та споруд, враховуючи нелінійну поведінку матеріалів;

- передбачати конструктивні рішення, що гарантують стійкість та геометричну стабільність конструкцій при виникненні пластичних деформацій в елементах та їх з'єднаннях, та запобігають їхньому раптовому руйнуванню;

- розміщувати важке обладнання якомога нижче у рівні будинку;

- при використанні сейсмоізоляції і других систем динамічного зниження сейсмічних впливів, вибір конкретної системи, а також розрахунки та проектування слід здійснювати за участі спеціалізованих проектних та наукових організацій.

Окрім цього, запроваджується система динамічної паспортизації споруд і будівель. Її здійснюють акредитовані лабораторії, що володіють відповідним

обладнанням, зокрема сейсмометричною апаратурою. Цей процес включає в себе такі види робіт:

- встановлення відгуку будівель на спеціальні динамічні дії в діапазоні частот хвиль 0.2 Гц-40 Гц;
- встановлення частот, форм природних коливань будівель, показників згасання коливань та їх порівняння з розрахунковими даними;
- створення паспорта динамічного будівлі на підставі регулярних обстежень динамічних, а також в порядку обов'язковому після обстежень після землетрусів із середньою або значною інтенсивністю (6 балів та більше).

1.2. Методологічні підходи щодо розрахунків будівельних конструкцій на сейсмічні навантаження

Визначення характеристик будівель та споруд під час рідкісних комбінацій навантажень, зокрема сейсмічних, необхідно здійснювати, використовуючи:

- метод спектрального аналізу;
- метод безпосереднього динамічного аналізу з використанням зареєстрованих акселерограм коливань ґрунту, отриманих під час сейсмічних подій, або типового комплексу штучно згенерованих акселерограм.

Оцінку сейсмічної стійкості споруд і будівель необхідно здійснювати за допомогою спектрального методу для всіх об'єктів. У випадку, якщо результати спектрального аналізу відрізняються від результатів прямого динамічного аналізу, необхідно застосовувати рішення, яке є більш консервативним, тобто враховує гірший сценарій. Для споруд і будівель, що характеризуються простою геометрією, симетричним розподілом мас та регулярною жорсткістю, розрахункові сейсмічні впливи, як правило, слід розглядати як горизонтальні сили, що діють вздовж головних осей плану споруди або будівлі. Вплив сейсмічних сил у кожному з цих напрямків слід розглядати незалежно. При аналізі споруд зі складною геометрією, асиметричним або нерегулярним розташуванням мас та жорсткості, необхідно враховувати найбільш критичні

напрямки сейсмічних впливів, які можуть спричинити найбільші напруження в конструкції або її окремих елементах.

Обов'язковий облік вертикальної складової сейсмічного впливу є необхідним під час розрахунків наступних елементів:

- горизонтальні і похили і консольні елементи;
- каркаси, склепіння, ферми просторових перекриттів споруд та будівель з прогонами: 24000 мм і більше – у зоні сейсмічності 7 балів; 18000 мм і більше – у зоні сейсмічності 8 балів; 12000 мм та більше – у зоні сейсмічності 9 балів;
- міцність основних стін із мурування;
- будівель та основ під ними на предмет їх стабільності, перекидання та зсуву;
- пальових споруд з підвищеним ростверком;
- несучих елементів сейсмічної ізоляції;
- плит перекриття та фундаментних плит, що досліджуються на пробивання (перекриття в безригельних каркасних системах, плити для фундаментів багатопверхових будівель з відкритими першими поверхами та ін);
- споруд і будівель на обпірність до перекидання або зсуву.

Таблиця 1.1 Використовувані методи обчислення

№	Метод обчислення	Різновиди будівельних об'єктів
1	Використання спектрального методу на основі спрощених обчислювальних схем споруд, з акцентом на поступальні коливання	Споруди і будівлі, що характеризуються простою геометрією, симетричною конфігурацією, регулярним розподілом мас і жорсткості, та обмеженим розміром у плані (до 30 метрів)
2	Використання спектрального методу що ігнорує лінійні та ротаційні сейсмічні ефекти	Будівлі з нерегулярною планувальною або висотною конфігурацією, а також каркасні будівлі висотою понад 50 метрів, розташовані в сейсмічно активних зонах більше 6 балів

3	Визначення сейсмічних навантажень і моментів за допомогою прямого динамічного аналізу, при цьому отримані результати не повинні бути меншими за значення, обчислені спектральним методом (тобто, результати прямого динамічного аналізу приймаються, якщо вони дорівнюють або перевищують показники, отримані за спектральним аналізом)	<ul style="list-style-type: none"> - будівель та інженерних споруд, що характеризуються інноваційними конструктивними рішеннями, які ще не були підтверджені практичними випробуваннями; - об'єктів, що мають значний ступінь впливу та наслідків у разі аварійних ситуацій; - високих будівель, висотою понад 50 метрів, а також споруд з великими прогонами, що перевищують 30 метрів; - будівель та споруд, обладнаних системами сейсмоізоляції або іншими механізмами для контролю сейсмічної активності;
---	---	---

Найбільш використовувані методи наведені в таблиці 1.1, а їх доцільний опис та методики приведено у додатку А.

1.3. Огляд існуючих наукових публікацій та вишукувань

В основу даного огляду покладена наукова стаття [2] авторства професорів Дорофєєва В.С. та Єгупова К.В., доцента Мурашка О.В. та доцента Сороки Н.М. У цій праці дослідники аналізують складнощі, що з'являються в процесі наукового забезпечення проектних робіт. Зокрема, висвітлено питання розробки та валідації моделей будівель, а також врахування сейсмічних навантажень при проектуванні та подальшій експлуатації важливих об'єктів.

За результатами проведеного дослідження було виявлено низку проблем у процесі проектування будівель, зумовлених недотриманням актуальних нормативних вимог. Ключові недоліки, зафіксовані в ході аналізу, полягають у наступному:

1. У деяких випадках не проводиться мікросейсмічне районування ділянки будівництва. Це пояснюється тим, що ґрунти основи класифікуються як такі, що належать до другої категорії за сейсмічними характеристиками. Однак, слід враховувати, що висотні будівлі, що налічують понад 20 поверхів, зазвичай відносяться до класу наслідків (відповідальності) ССЗ, для яких необхідне виконання розрахунків із застосуванням реальних акселерограм землетрусів, специфічних для конкретної ділянки. Отримання таких акселерограм можливе лише за умови проведення мікросейсмічного районування ділянки для будівництва.

2. Під час проведення випробувань ґрунтів з використанням паль часто не дотримуються положення п. 8.5.5.15 [3], яке регламентує обов'язкове проведення досліджень з тривалим зволоженням ґрунтової основи. Зазвичай, інженери-проектувальники зосереджуються на організації дренажної системи для відводу підземних вод та належному утриманні інженерних мереж, щоб запобігти надмірному зволоженню ґрунту під фундаментом. Хоча ці дії є важливими, досвід свідчить, що з часом рівень підземних вод все одно може піднятися, що призводить до непередбачених деформацій споруди. Ідеально, коли такі деформації є рівномірними.

3. Застосування стрічкових ростверків у пальових фундаментах, зумовлене прагненням до зменшення витрат бетону, може призвести до недостатньої міцності та жорсткості конструкції. Це, в свою чергу, значно збільшує ризик виникнення нерівномірних деформацій і осідань будівлі.

Питання забезпечення безпеки та одночасне прагнення до зменшення вартості будівельних робіт є актуальною проблемою, яка набуває особливої значущості у зв'язку з інтенсивним розширенням будівельної галузі. В сучасних містах, де спостерігається значне зростання техногенного впливу на будівельні об'єкти, точні дані про ступінь незахищеності споруд і рівень сейсмічного ризику є критично важливими для забезпечення стабільного розвитку. На рисунку 1.2 продемонстровано, як врахування пальового фундаменту впливає на власні періоди коливань будівлі.

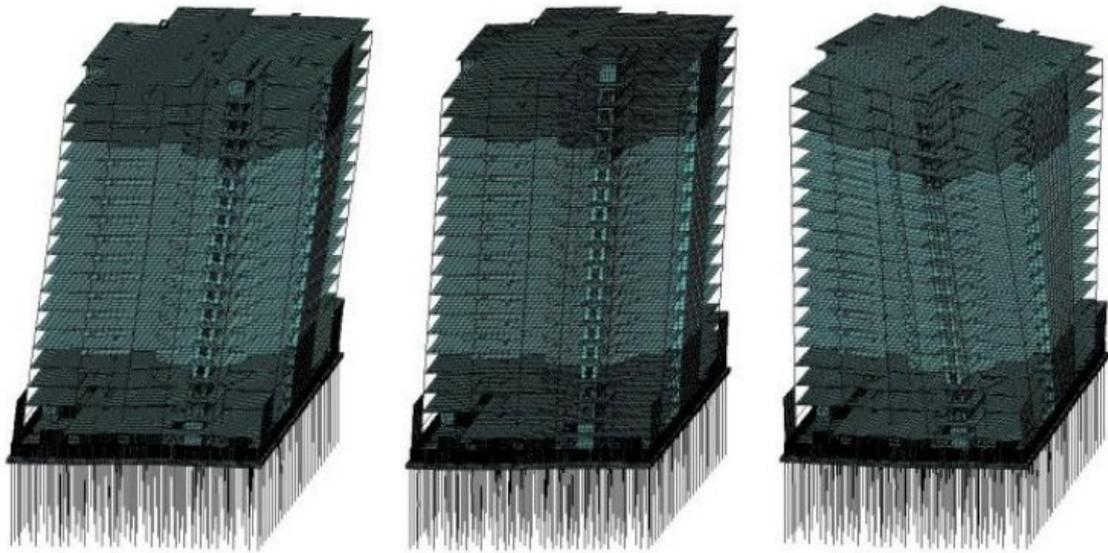


Рис. 1.2. Види власних форм коливань конструкції, що спирається на пальовий фундамент

Ґрунти категорій III–IV, з точки зору сейсмічних характеристик, демонструють виражену нелінійну поведінку, що варіюється залежно від сили та частотного наповнення сейсмічної дії. Ця нелінійність ґрунту спричиняє модифікацію, іноді досить значну, форм та спектрального складу сейсмічних коливань у ґрунтових шарах. Власні частоти коливань ґрунтів стають залежними від потужності впливу, і, за умов сильних землетрусів, можуть відрізнитися від величин, встановлених за допомогою записів сейсмічного мікросейсму або малих поштовхів. Під час інтенсивних сейсмічних збурень змінюються деформаційні властивості ґрунтів, що може бути зумовлено, зокрема, рухом підземних вод, руйнуванням структурних зв'язків між частинками ґрунту та іншими процесами.

На рисунку 1.3 показані графіки залежності амплітуди від частоти для сейсмогеологічних моделей ґрунтових умов, розроблених для декількох будівельних ділянок в Одесі за допомогою програмного забезпечення ProShake. При моделюванні враховувалися нелінійні характеристики ґрунтів на розглянутих ділянках.

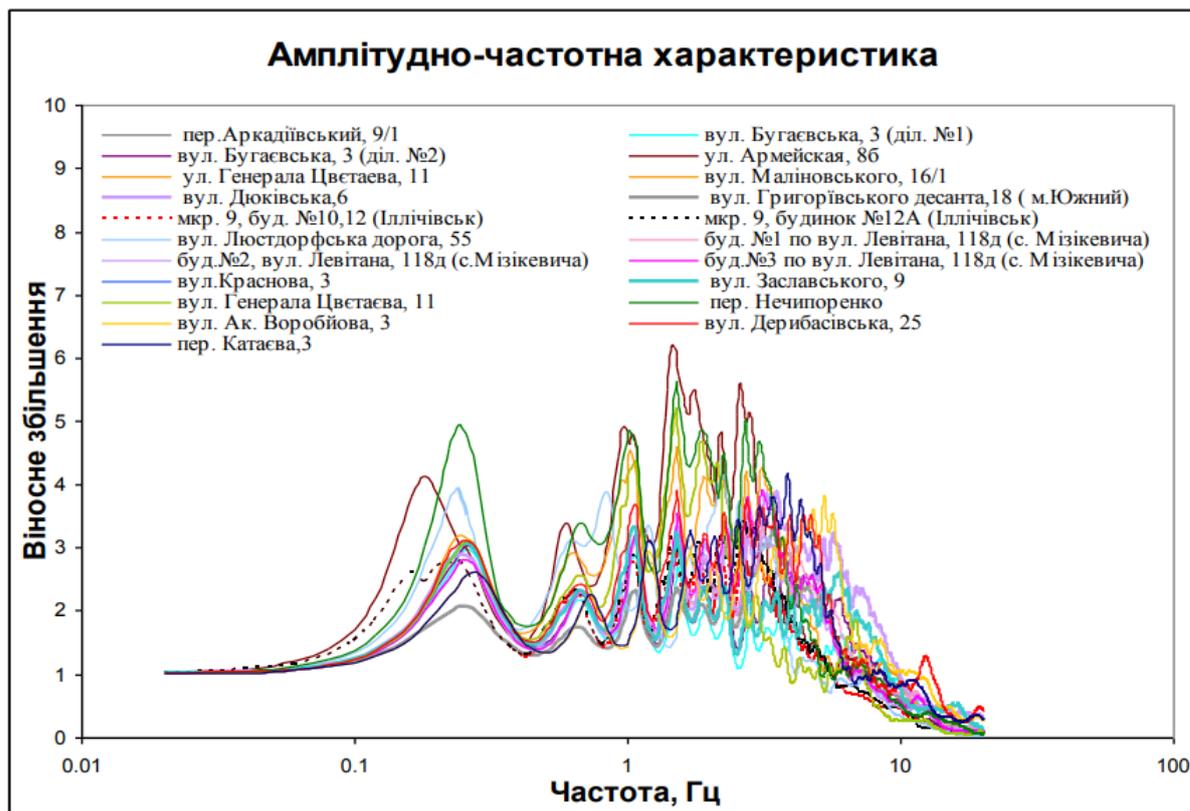


Рис. 1.3. Графіки амплітудно-частотних характеристик ділянок в м. Одесі

Згідно з даними, представленими на рисунку 1.3, ґрунтові умови на багатьох будівельних ділянках в Одесі демонструють значний діапазон частот, при яких можливе резонансне збільшення амплітуди коливань. Відповідно, при розробці сейсмостійких проектів будівель та споруд в Одесі необхідно ретельно вивчати резонансні характеристики ґрунтів. Це є важливим незалежно від висоти споруд та складності їх архітектурних рішень, оскільки характерні частоти коливань як малоповерхових, так і багатоповерхових будівель, як правило, знаходяться в межах частотного інтервалу, де зафіксовано піки посилення коливань ґрунтами.

Автори статті дійшли таких висновків:

1. Огляд національної та іноземної літератури виявив, що наявні практичні моделі та методи розрахунку каркасних будівель і споруд недостатньо адекватно відтворюють специфічні пошкодження, що виникають під час сейсмічних збурень.

2. Стійкість будівель до землетрусів суттєво визначається їхньою геометрією, розташуванням та типом конструктивних компонентів. Наявні в

цій області дані переважно базуються на емпіричних спостереженнях. Врахування просторової поведінки конструкцій та скінченної швидкості поширення сейсмічних хвиль у ґрунті під ними в умовах реальних землетрусів потребує поглибленого вивчення.

3. Здійснене моделювання сейсмічних впливів та проведені обчислювальні експерименти показали значний ефект хвильових явищ у ґрунтах на відгук будівлі (споруди) як інтегрованої просторової системи.

4. Під час класифікації ґрунтів за сейсмічними характеристиками спостерігається тенденція до штучного заниження потужності шару слабких ґрунтів. При недотриманні встановлених правил, вимірювання вертикальної відстані до ґрунтів третьої категорії здійснюється не від початкової відмітки, а від проектного дна котлована.

5. В умовах тривимірних деформацій (як приклад: кручення або деформація в горизонтальній площині) сейсмічні впливи можуть бути значно вищими, ніж при розгляді плоскої рамної конструкції. Величина цього явища залежить від розмірів будівлі та швидкості проходження сейсмічних хвиль. Було визначено критичні розміри споруд, при яких сейсмічні навантаження є мінімальними. Встановлено, що для окремих довжин хвиль сейсмічних коливань виникають явища резонансу, зумовлені специфічними місцевими геологічними умовами.

6. Згідно з результатами досліджень та діючими нормами, необхідно визначати розрахункові параметри природних навантажень, зокрема сейсмічних, що діють на будівлі, які проектуються, враховуючи їх передбачуваний строк експлуатації.

7. Актуальним напрямком для майбутніх досліджень залишається використання сейсмоізоляції для будівництва сейсмостійких споруд.

8. Неуважне ставлення до забезпечення вимог будівельних норм щодо відсутності крутильних деформацій у перших двох формах коливань на етапі проектування може призвести до виникнення кручення в цих формах коливань вже у збудованому об'єкті.

9. Більшість проблем, що виникають в процесі наукового супроводу, пов'язані з ігноруванням чинних будівельних норм проєктувальниками та будівельними організаціями. Вирішенням цієї проблеми є посилення контролю з боку відповідних органів за неухильним дотриманням вимог нормативної документації.

Для з'ясування значущості впливу конструктивної форми каркасу споруди, було вирішено поглиблено вивчити наукове дослідження «Сейсмостійкість багатопверхових будівель в залежності від конструктивних схем», автором якого є Аділ Джаббар Аббас.

У даній роботі ставилося завдання розробити ефективні методи розрахунку висотних будівель з метою оцінки їх здатності протистояти сейсмічним впливам. Для досягнення цієї мети застосовувалися як дискретні моделі, побудовані на основі методу скінченних елементів, так і континуальні моделі динамічного аналізу.

Практична цінність дослідження полягає в його орієнтації на розв'язання актуальної проблеми забезпечення сейсмічної безпеки висотних будівель. Зокрема, розроблено наступні науково-методичні підходи: метод обчислення сейсмостійкості багатопверхових будівель з нетиповою конструктивною схемою; чисельний алгоритм для визначення міцності висотних будівель нерегулярної конфігурації під впливом сейсмічних сил; методика обліку впливу змін сейсмічних характеристик будівельного майданчика на конструктивні особливості та економічну ефективність споруди; підхід до оптимального проєктування заходів з підвищення сейсмостійкості існуючих будівель під час їх модернізації, а також оцінки результативності протисейсмічних заходів для будівель.

Висновки по Розділу 1

У даній магістерській роботі буде здійснено поглиблений аналіз окремих згаданих вище висновків. На підставі цього аналізу, у подальшому будуть ідентифіковані ключові проблеми, що стосуються впливу форми та конструкції будівлі на сейсмічну стійкість.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ТА МЕТОДОЛОГІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Особливості дії землетрусу на споруду: типові риси впливу коливань ґрунту, викликаних сейсмічною активністю, на конструкцію будівлі

Динамічне навантаження у порівнянні з впливом вітру

Сейсмічні дії призводять до виникнення змінних навантажень на ґрунти під фундаментами будівель та споруд, що спричиняє появі додаткових напружень і деформацій в ґрунті. Це, в свою чергу, може призвести до збільшення осідань і нахилів фундаментів, а в деяких випадках – і до втрати стійкості ґрунтової основи. Існують приклади з досвіду, коли тривала робота промислового обладнання викликала значні осідання ґрунтів.

Навантаження динамічної дії розрізняються за рівнем інтенсивності (від незначних до дуже великих) та тривалістю впливу (нетривалі, тривалі, періодичні). Їхня дія по-різному відбивається на деформаційних властивостях масивів ґрунтів, які є основою або середовищем для різних інженерних об'єктів. Впливи динамічні можуть провокувати різноманітні небажані механічні процеси у ґрунтах, зокрема: вібраційну повзучість, втрату міцності водонасичених основ споруд під час інтенсивних сейсмічних подій. Усі ці ефекти досліджуються та моделюються в рамках експериментальної та теоретичної динаміки ґрунтів.

На сьогоднішній день відсутні дієві способи точного визначення коливань масивів ґрунтових основ під впливом сейсмічних подій, особливо з урахуванням їхньої взаємодії з конструкціями надземними і фундаментами. Це зумовлено значною складністю математичного моделювання. Водночас, досвід, набутий під час землетрусів, свідчить, що значна частина руйнувань споруд відбувається через втрату стабільності ґрунтів основи, які не витримують динамічних впливів.

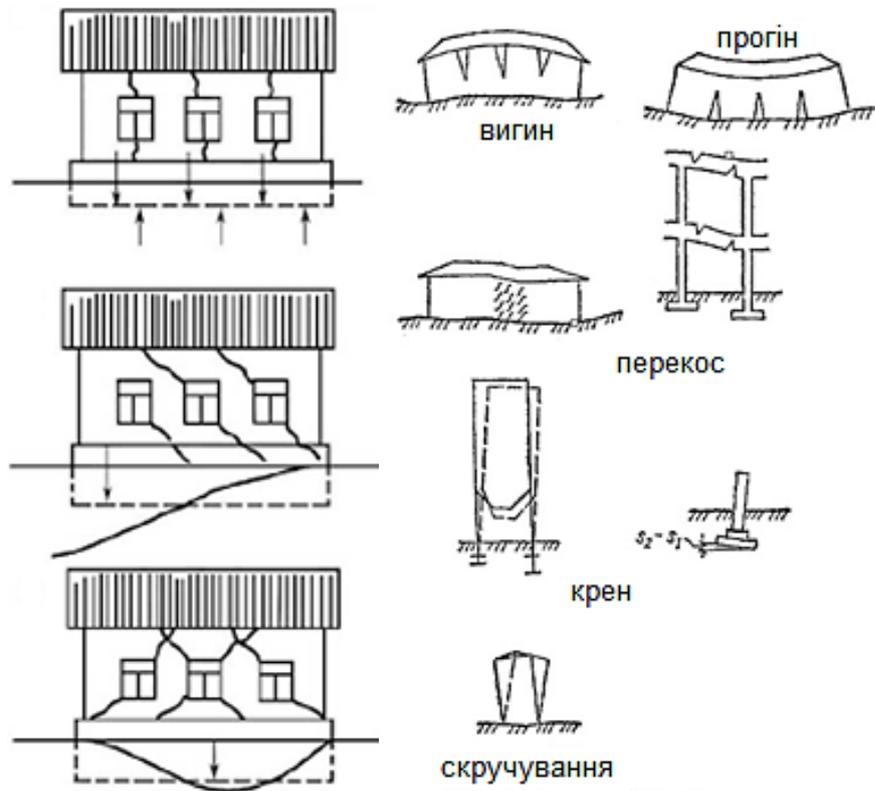


Рис. 2.1. Зміна форми будівлі внаслідок сейсмічних впливів

При відбуванні землетрусу на кожну масу M з вагою W діє горизонтальна сейсмічна сила H . Величина цієї сили H становить певний відсоток від величини W . Значення ε , що відображає цей відсоток, зазвичай змінюється в межах від 0.000 до 0.500, але може бути більшим за 1.000 при особливо сильних поштовхах.

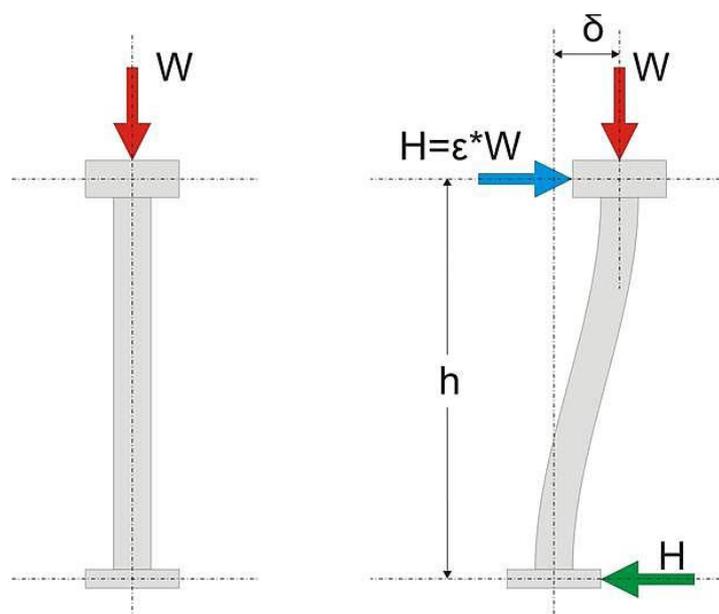


Рис. 2.2. Прикладення силових факторів до елемента будівлі

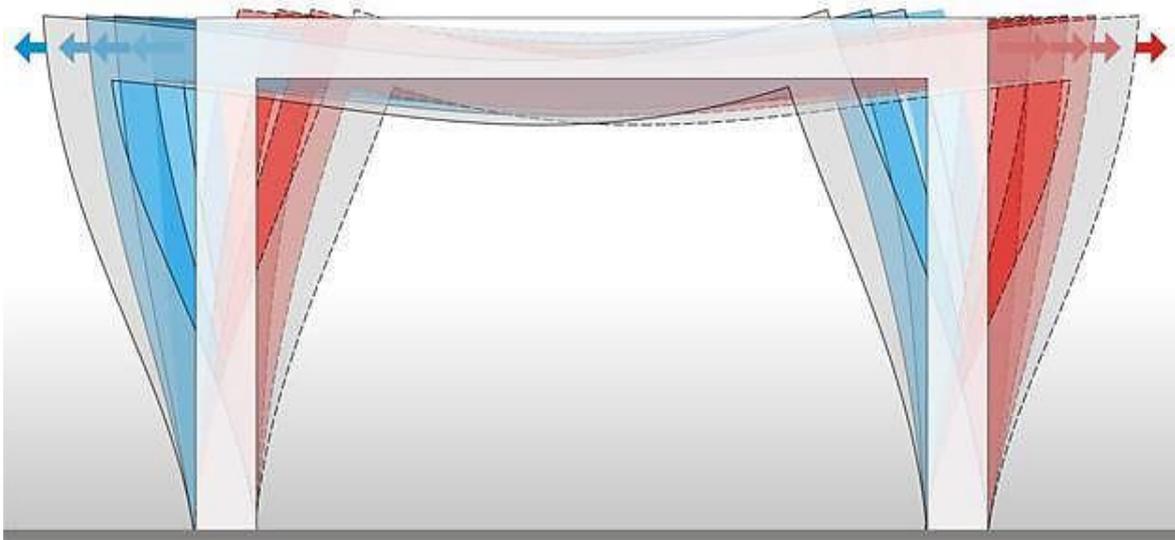


Рис. 2.3. Прикладення силових факторів до елемента будівлі

Сейсмічний вплив на будівлю має ефект, що визначається з огляду на сейсмічну подію з проектним горизонтальним прискоренням коливань ґрунту, що становить $A = \alpha \cdot g$.

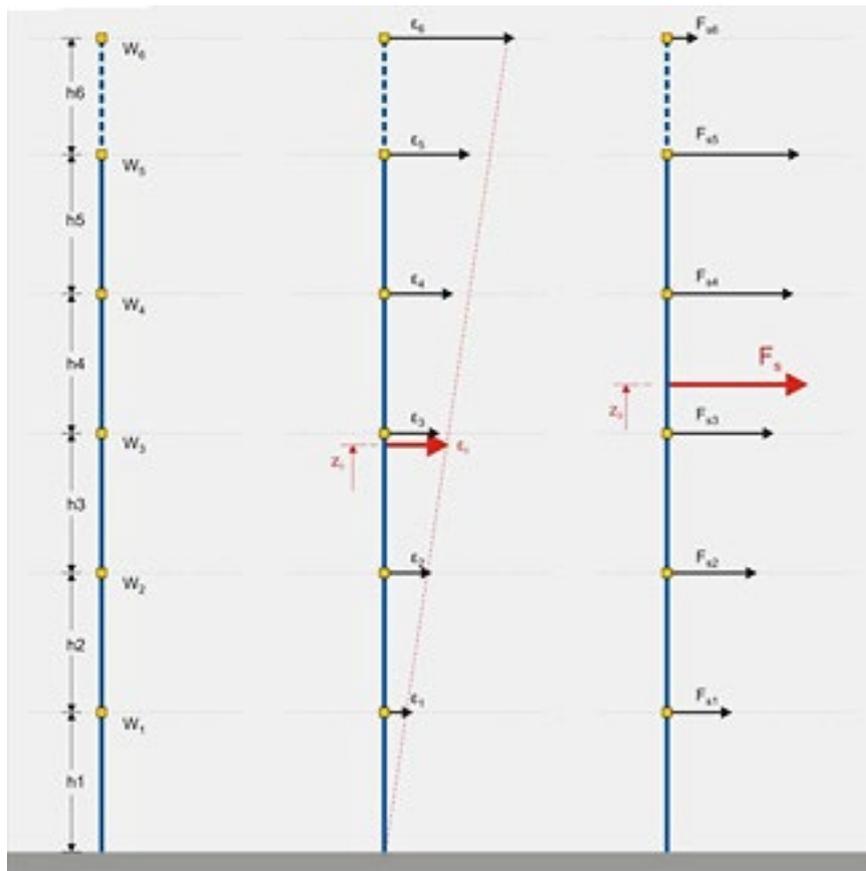


Рис. 2.4. Залежності розподілу прискорення сейсмічного

Зазвичай, розподіл прискорень сейсмічних нагадує трикутну форму. Розглянута конструкція розташована в сейсмічній зоні Z1, де максимальне

прискорення ґрунту становить $0,16g$. Середнє розрахункове сейсмічне прискорення оцінюється приблизно в $0.12g$ ($\varepsilon_0 = 0.12$), а сумарна сейсмічна сила (F_s) складає приблизно 1.400 МН. Теоретично, ця сила прикладена на висоті, яка дорівнює приблизно $2/3$ від повної висоти споруди.

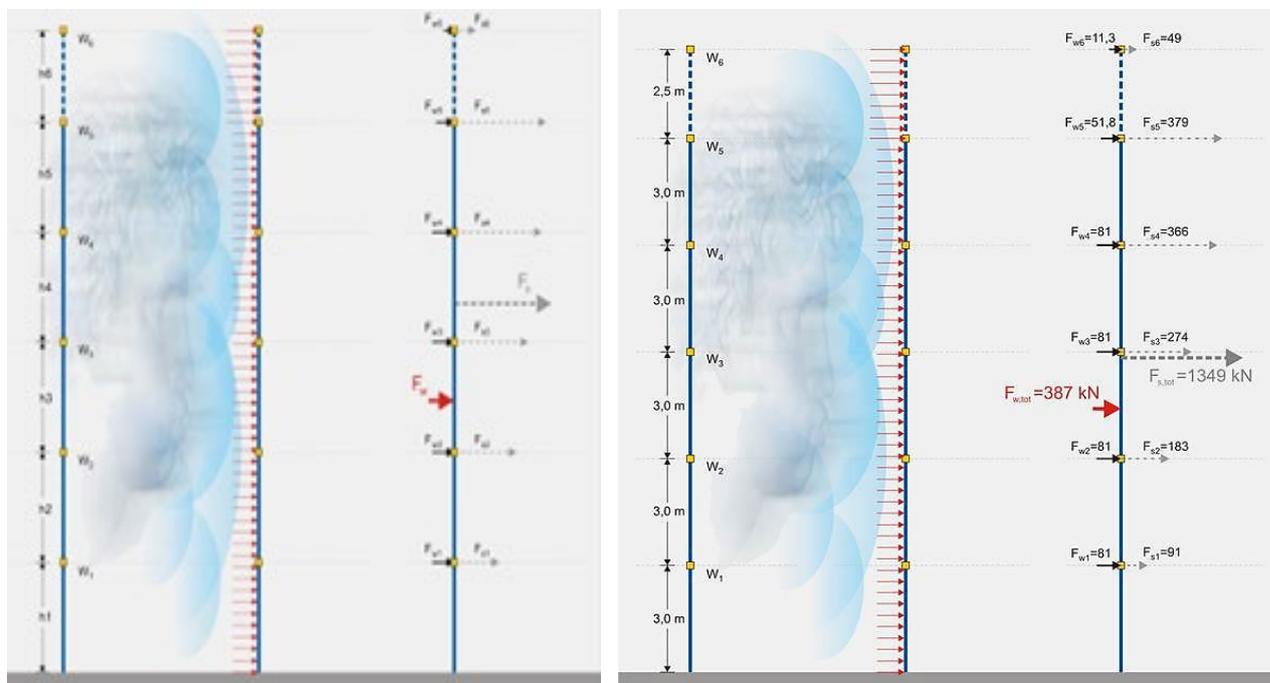
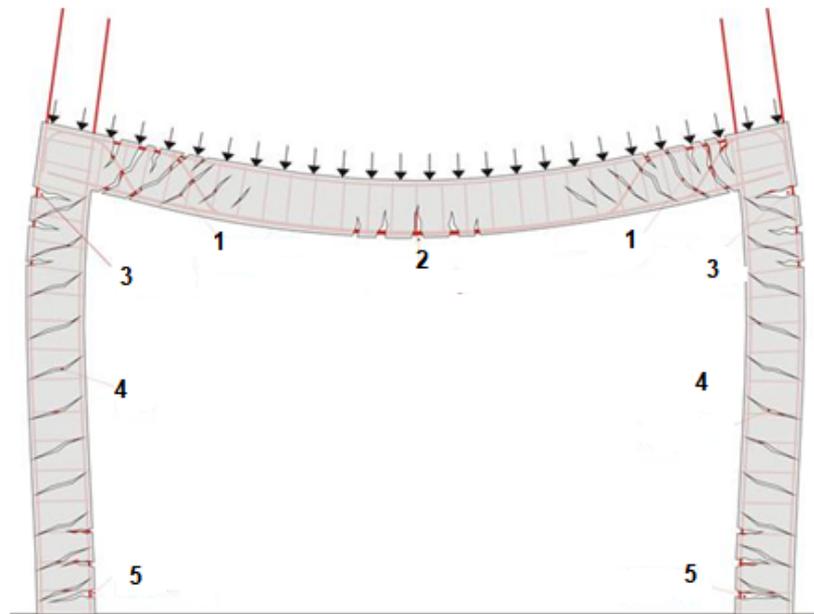


Рис. 2.5. Залежності розподілу прискорень сейсмічних. Зіставлення впливів, що виникають від динамічної дії та вітрових навантажень

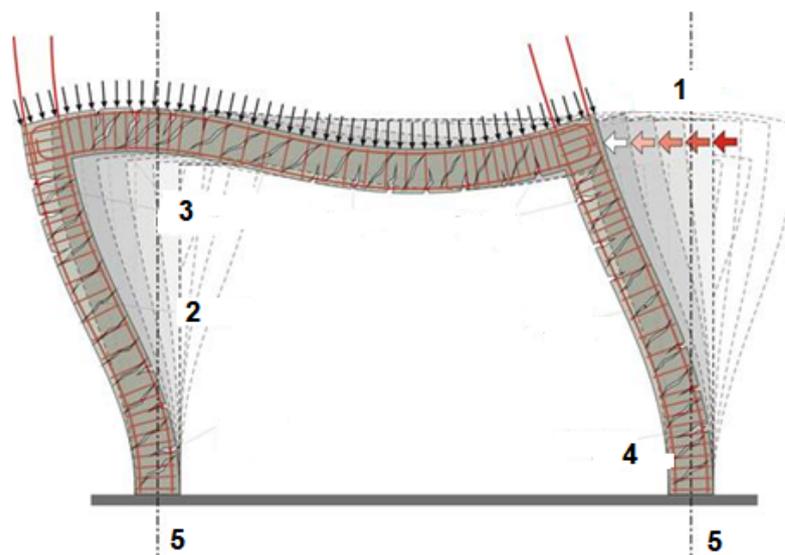
Навантаження від сейсмічної дії значно перевищують вітрові. Аналіз впливу вітру та сейсміки на цю споруду показує, що вітрові навантаження щонайменше вчетверо менші, ніж сейсмічні.

Під час землетрусу коливання ґрунту спричиняють горизонтальні рухи, що породжують горизонтальні інерційні сили – сили, які виникають через різку зміну стану руху об'єкта. Під час сейсмічного впливу ці горизонтальні сили постійно змінюють свій напрямок. Це призводить до безперервної зміни реакції каркасу споруди, а отже, і до виникнення розтягуючих напружень, які проявляються у вигляді діагональних тріщин різної локалізації та орієнтації. Саме через цю мінливість особливо важливим є проектування сейсмостійких споруд стійких до сейсмічних навантажень та впливів і детальне армування в регіонах, де спостерігається та є можливість виникнення підвищеної сейсмічної активності.



- 1 - діагональні тріщини в балках
- 2 - тріщини в балці від розтягу
- 3 - тріщини в опорних частинах колони
- 4 - тріщини вздовж колони
- 5 - тріщини в опорних частинах колони

Рис. 2.6. Розподіл тріщин у структурному каркасі та деформації у бетоні



- 1 - дія сейсмічного навантаження
- 2 - відхилення центральної частини колони
- 3 - діагональні тріщини в балці та колоні
- 4 - тріщини в опорній частині колони
- 5 - вісь прив'язки колони

Рис. 2.7. Деформативна схема рами однопрогонової при землетрусі

2.2. Керівні принципи зменшення наслідків сейсмічних впливів

Незалежно від досконалості проєкту, завжди існує ймовірність того, що один або декілька компонентів споруди можуть не витримати навантаження, яке перевищує розрахункове. Це може статися як через більшу інтенсивність сейсмічних впливів, ніж було передбачено в проєкті, так і через недоліки, допущені на етапі будівництва:

- для першого механізму захисту, а саме уникнення руйнування конструкції під час землетрусу, інтенсивність якого перевищує проєкту, необхідно передбачити наявність пластичних елементів. Вони дозволять споруді витримати навантаження, хоч і з залишковими деформаціями, але без обвалення;

- другий захисний механізм передбачає, що при надзвичайних сейсмічних подіях, коли пошкодження певних конструктивних елементів неминуче, ці елементи (наприклад, вертикальні елементи – колони), які запроектовані на руйнування, повинні зберігати достатній запас міцності.

Для забезпечення стійкості будівель до сейсмічних навантажень необхідні міцні вертикальні елементи (колони) та надійні з'єднання між ними та балками. Це передбачає формування жорсткої каркасної системи з балок, яка є геометрично нерозривною, але функціонально незалежною від сусідніх балок. Відповідно, опори для балок зазвичай мають високу ступінь фіксації і не допускають значних переміщень.

Заходи, що стосуються сейсмічного захисту будівель, зазвичай поділяють на дві групи: пасивні і активні. Активні методи зосереджені на зменшенні інтенсивності сейсмічних дій, тоді як пасивні – на збільшенні власної стійкості споруди до землетрусів. Зменшити силу сейсмічного впливу на будівлю можливо із застосування різних способів. Наприклад, шляхом створення у ґрунті по колу будівлі (або з боку, найбільш схильного до сейсмічної небезпеки) спеціального бар'єру з отворів або ровів, заповнених матеріалом, що поглинає сейсмічну енергію (див. рис. 2.8), або шляхом застосування спеціальних рішень у конструкціях у фундаментах із підвісними елементами (див. рис. 2.9) та інше.

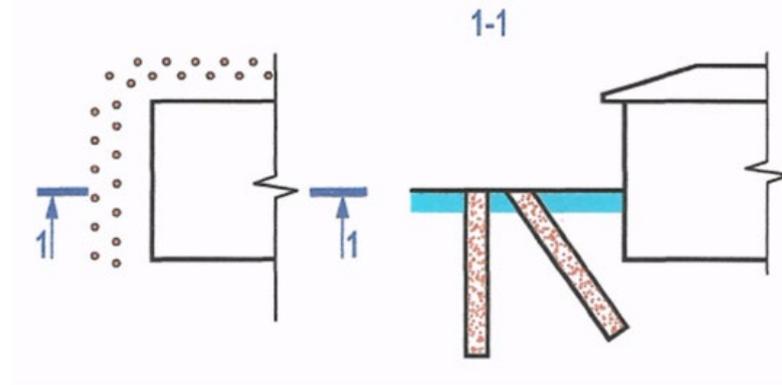


Рис. 2.8. Схематичне зображення антисейсмічного бар'єру

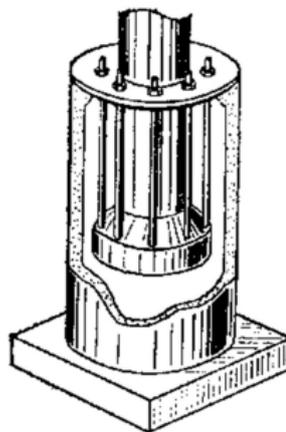


Рис. 2.9. Вид фундаменту із застосуванням тяжів

Наразі активні системи сейсмічного захисту не набули значного поширення і перебувають переважно на стадії дослідно-конструкторських робіт. Як наслідок, використання подібних інженерних рішень не регламентується будівельними нормами ні в Україні, ні в інших країнах. На відміну від цього, пасивні методи сейсмостійкості на сьогоднішній день впроваджуються у практику будівництва досить активно.

Наслідки землетрусів, досліджені інженерами, сприяли формулюванню таких узагальнених настанов для проектування будівель, здатних витримувати сейсмічні впливи.

1. Принцип зменшення сейсмічного впливу реалізується шляхом полегшення конструкції. Це досягається використанням матеріалів і конструкцій з меншою вагою та підвищеною міцністю, а також вибором оптимальної конструктивної схеми споруди. Оскільки руйнування будівель під

час коливань ґрунту зумовлені інерційними силами, що пропорційні масі будівлі, то, відповідно, цю масу слід мінімізувати.

2. Принцип рівномірного розподілу жорсткостей у спорудах вимагає, щоб усі основні несучі елементи були розміщені рівномірно та симетрично як в плані, так і по висоті будівлі. Конструктивна збалансованість будівлі сприяє максимальному наближенню центру ваги до центру жорсткості, що значно зменшує, а в оптимальній ситуації повністю усуває скручування будівлі в горизонтальній площині. Для реалізації цього принципу необхідно взяти наступних заходів: забезпечити симетричне розміщення стін, стовпів і отворів у плані відносно головних поздовжніх і поперечних осей будівлі, дотримуватися простої конфігурації в плані, використовувати однорідні матеріали та ідентичні розміри поперечних перерізів для несучих конструкцій.

3. Принцип рівномірності і монолітності конструкцій будівель і споруд досягається шляхом розміщення стиків збірних елементів, по можливості, за межами ділянок з найбільшою концентрацією напружень, що з'являються під час сейсмічних впливів. Реалізація цього принципу гарантує, наприклад, взаємодію стін і перекриттів, що дає змогу розглядати будівлю як єдину просторову систему.

4. Принцип створення сприятливих обставин для формування пластичних деформацій в елементах будівель і споруд у разі їхнього потенційного перенавантаження під час сейсмічних подій. З цією метою важливо, щоб під впливом землетрусів конструкції не зазнавали раптового руйнування, а демонстрували здатність до пластичного деформування.

2.3. Посилення арматурою конструктивних елементів каркаса сейсмостійких споруд

Проектування армування потребує особливої уваги та ретельного підходу, оскільки під час значних сейсмічних навантажень конструкція піддаватиметься екстремальним випробуванням на міцність. Це підкреслює важливість суворого дотримання всіх будівельних норм і правил, що

регламентують зведення залізобетонних споруд. Ключовими характеристиками арматури, призначеної для сейсмостійких будівель, є наступні:

1. Захисний шар бетону над арматурою.
2. Найменша відстань між арматурними елементами.
3. Плавне згинання арматурних стержнів
4. Застосування антисейсмічних поясів.

Хомути відіграють ключову роль у забезпеченні якості та сейсмічної стійкості споруд. Існує три важливі характеристики, що визначають їхню надійність:

1. Обидва кінці хомутів повинні мати належні зачепи (гаки). Ці зачепи є критично важливими для належної роботи хомутів, особливо у зонах з високою сейсмічною активністю, де бетон може руйнуватися. В таких умовах зачепи стають єдиним засобом фіксації арматури.

2. Діаметр оправки (або стрижня), необхідний для згинання хомутів, має бути достатнім для забезпечення мінімального діаметра згину. Рекомендовано, щоб хомути згиналися навколо оправки діаметром не менше ніж 4-х діаметрів арматури. Наприклад, для арматури діаметром 10 мм, мінімальний діаметр оправки повинен становити 40 мм або більше.



Рис. 2.10. Підсилене армування вертикальної колони у Tekla Structures.

3. Інтервал між сусідніми стержнями замкнутого хомути не повинен перевищувати 200 мм. Це означає, що для елементів, таких як колона розміром 500×500 мм, потрібно забезпечити мінімум три хомути в кожному поперечному перерізі.

Оптимальна товщина захисного шару арматури в колонах зазвичай варіюється в межах 25-35 мм, в залежності від умов експлуатації споруди та впливу зовнішнього середовища (25 мм рекомендується для сухих кліматичних зон, а 35 мм – для приморських регіонів).

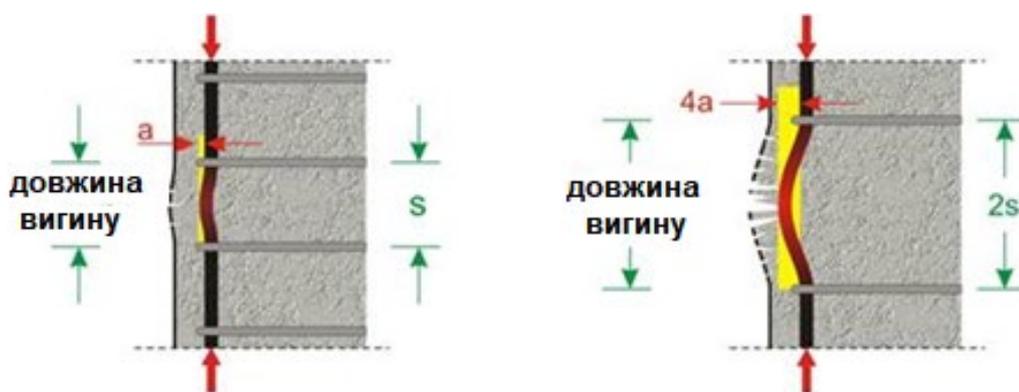


Рис. 2.11. Процес виходу колони з ладу (втрата несучої здатності)

Зменшення обсягу армування колони на 10% призводить до відповідного зниження її несучої здатності приблизно на 10%. Однак, вилучення навіть одного поперечного стержня (хомута) може спричинити критичне падіння міцності тієї ж колони, іноді до 50%. Це пояснюється тим, що відсутність хомути призводить до збільшення розрахункової довжини вільного вигину вертикальної арматури вдвічі, оскільки попередня фіксація відсутня.



Рис. 2.12. Ілюстрація обрушення колони

Під час сейсмічних впливів руйнування колон зазвичай відбувається за схожим сценарієм:

1. Спочатку відбувається розтріскування бетону в зонах підвищеного навантаження – у верхній або нижній частині колони – внаслідок недостатньої фіксації поперечною арматурою (хомутами).

2. Далі, розкриття хомутів призводить до втрати ними стримуючої функції, що викликає вигин поздовжньої арматури та подальше руйнування бетону.

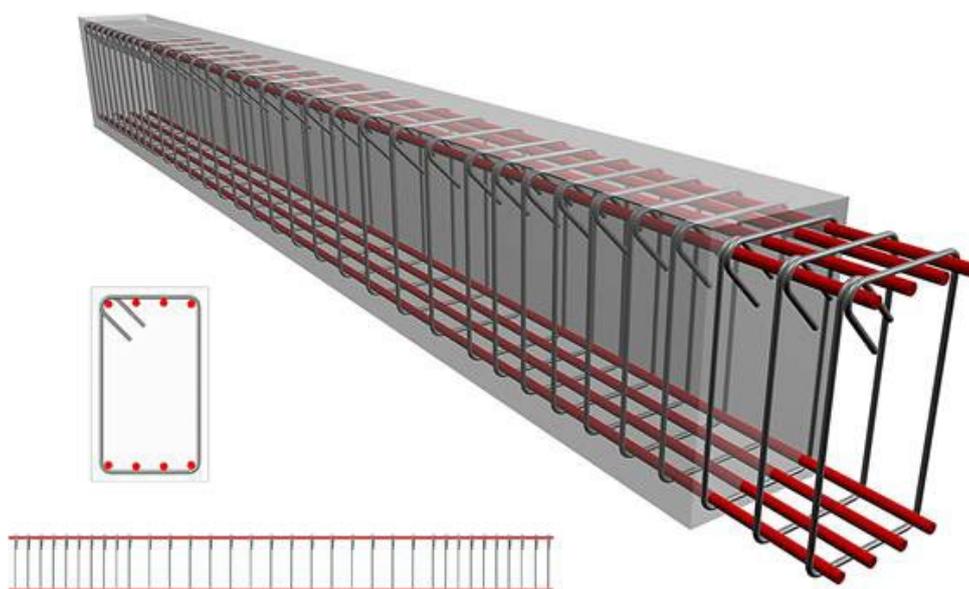


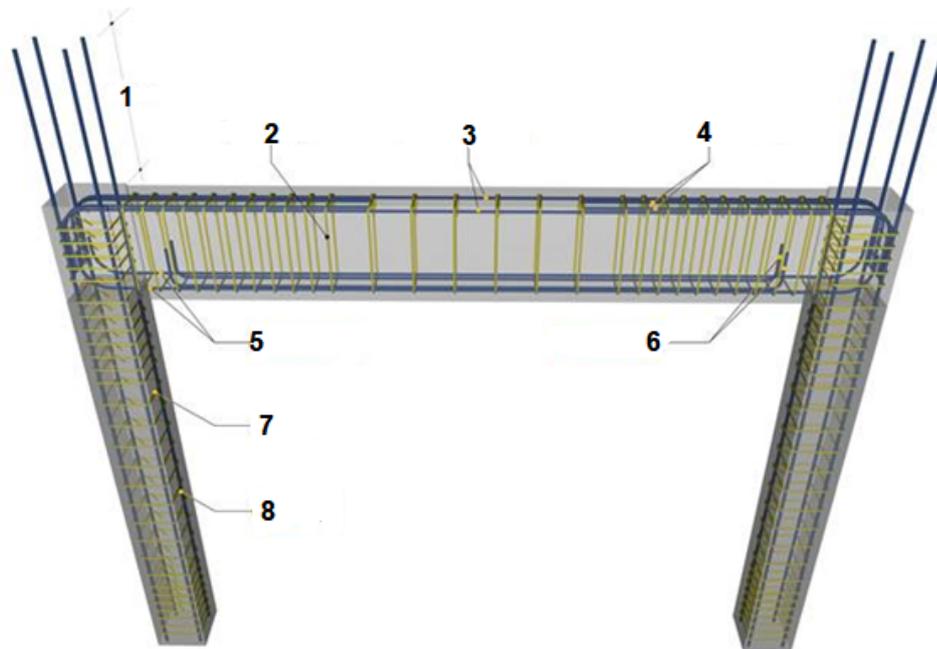
Рис 2.13. Створення традиційної арматурної схеми для балки в Tekla Structures

Ось більш стандартний переказ основних правил армування балки:

1. Під час проектування балки необхідно забезпечити рівномірне та надійне закріплення арматури як у нижній, так і у верхній її частинах. Це пов'язано з тим, що під час сейсмічних подій або сильних землетрусів виникають змінні розтягуючі зусилля, які можуть призвести до поперечного розтріскування. При значних навантаженнях у нижніх волокнах біля опор можуть виникати значні розтягуючі напруження, що вимагає адекватного армування для запобігання руйнуванню.

2. Внаслідок високої концентрації напружень зсуву, що виникають під час землетрусу і призводять до утворення великих та похилих тріщин, рекомендується передбачити значну кількість поперечної арматури, включаючи густо розташовані та надійно закріплені хомути.

Найчастіше руйнування колон та балок відбувається у вузлах з'єднання, тобто в місцях, де балка примикає до колони. З цієї причини необхідно забезпечити пластичність колон і балок в зоні їхнього сполучення.



- 1 - випуск арматури в колоні
- 2 - поперечні стрижні в балці
- 3 - верхні повздовжні арматурні стрижні
- 4 - підсилення повздовжньою арматурою в балці
- 5 - нижні повздовжні арматурні стрижні балки
- 6 - нижні повздовжні арматурні стрижні підсилення балки
- 7 - поперечні хомути колони
- 8 - повздовжня арматура колони

Рис. 2.14. Армування з забезпеченням безперервності між балкою та колоною

Оптимальна глибина захисного покриття для арматури балок зазвичай коливається у межах 25-35 мм. Конкретне значення залежить від впливу зовнішніх факторів протягом терміну експлуатації споруди: менше значення (25 мм) підходить для сухого середовища, тоді як більше (35 мм) – для приморських зон. Для забезпечення належної підтримки хомутів балки слід використовувати допоміжні стрижні, що не несуть навантаження, адже саме ці елементи передають усі навантаження від арматури.

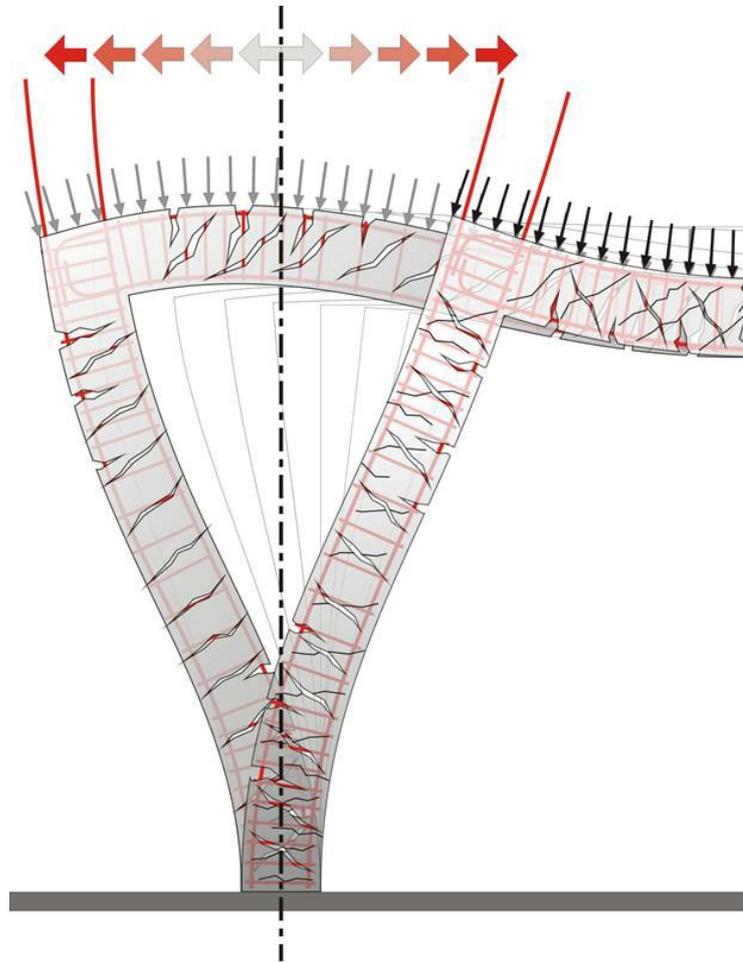


Рис. 2.15. Процес деформування колонно-балочної конструкції під впливом динамічних сил

Стіни монолітні в будівлях, що виконують функцію діафрагм жорсткості, є вертикальними несучими елементами, які, окрім сприйняття вертикальних навантажень, також мінімізують горизонтальні деформації конструктивної системи будівлі. «Діафрагмою жорсткості» називається будь-який вертикальний елемент, у якого співвідношення довжини до товщини становить 4 або більше. Для ефективної роботи стіни в структурі каркасу необхідна її фіксація до двох колон (крайніх елементів). У випадках, коли стіна жорсткості не має чітко виражених крайніх колон, формуються приховані колони шляхом використання відповідного армування по краях стінового масиву. Ширина цих колон відповідає товщині стіни зсуву, а їхня довжина повинна становити не менше ніж півтора товщини стіни ($\geq 1,5b$). Армування діафрагми жорсткості здійснюється за принципами, аналогічними армуванню колон.

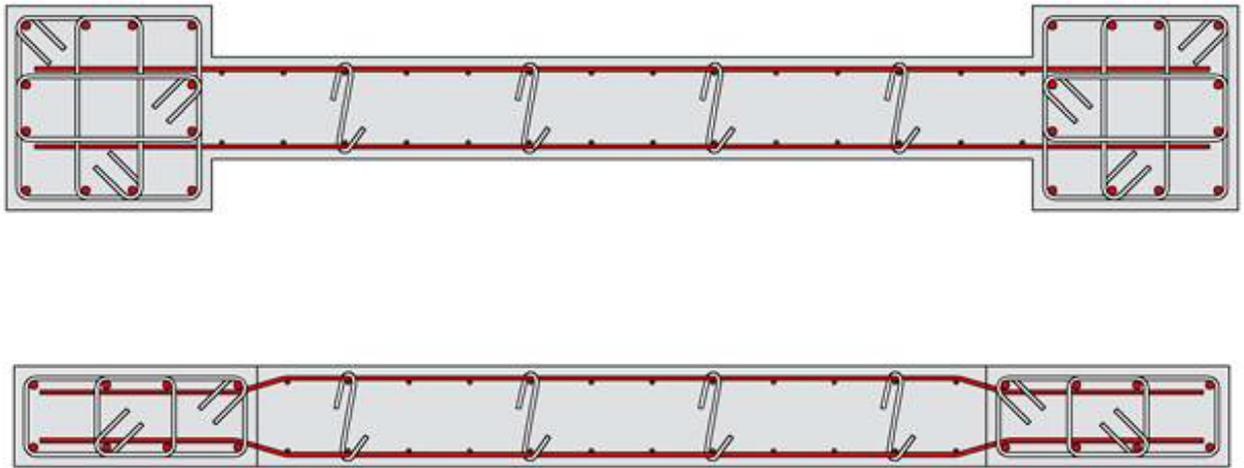


Рис. 2.16. Схема розташування арматури в діафрагмі жорсткості

У процесі землетрусу, тріщини, що виникають у стінах під дією поштовхів в одному напрямку, зникають, коли напрямок коливань змінюється. Цей процес повторюється протягом усього періоду сейсмічної активності.

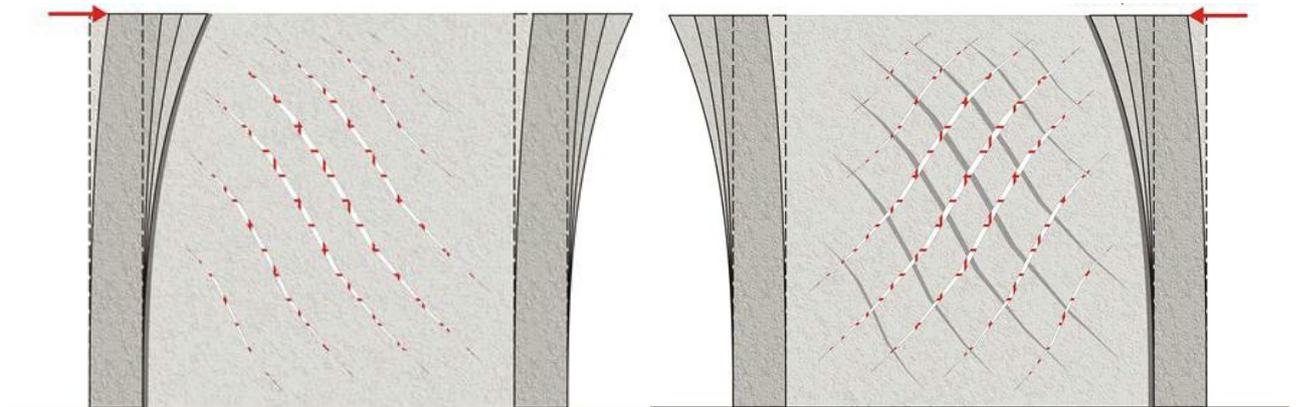


Рис. 2.17. Схематичне зображення процесу розтріскування у монолітній стіні

Армування плит перекриття в будівлях, що піддаються сейсмічним впливам, здійснюється за загальними принципами, аналогічними до армування звичайних плит. Специфіка може полягати лише у збільшенні діаметру арматурних стержнів та/або зменшенні відстані між ними.

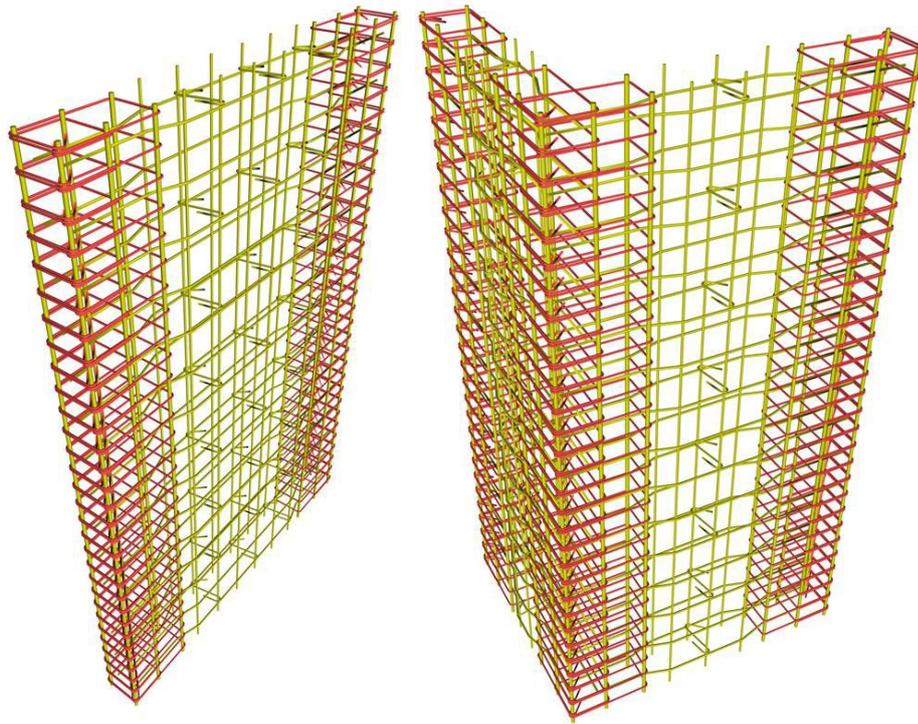


Рис. 2.18. Моделювання арматурних каркасів діафрагм жорсткості з використанням Tekla Structures

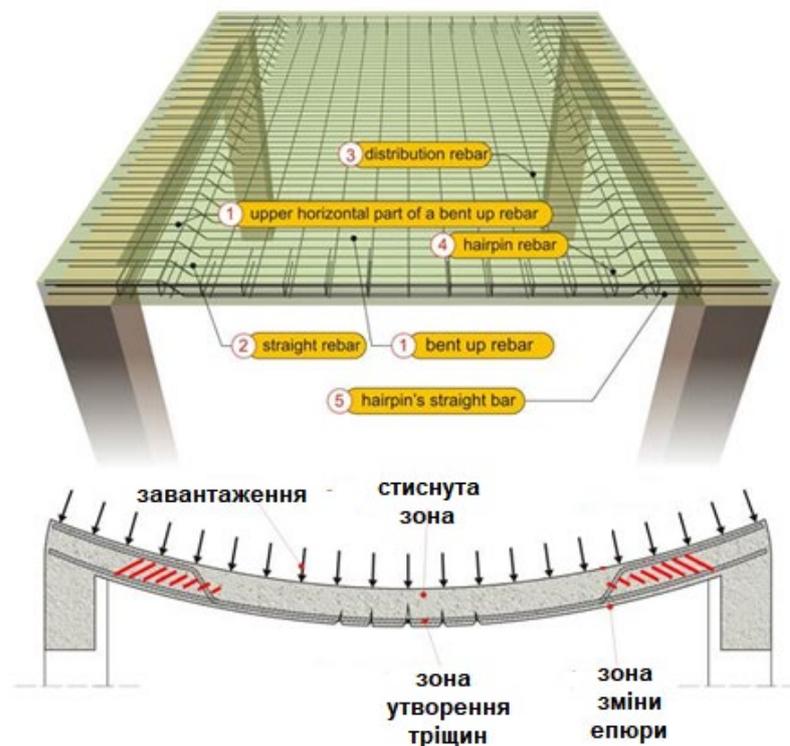


Рис. 2.19. Схема розташування ариатури у монолітній плиті: 1 – відігнутий вгору арматурний стержень; 2 – прямий стержень плити; 3 – арматурна сітка; 4 – зігнутий стержень; 6 – Прямий стрижень з відігнутими кінцями.

Оптимальна товщина захисного шару для арматури в перекриттях, як правило, коливається в межах 20-30 мм. Ця величина залежить від агресивності середовища, в якому експлуатуватиметься споруда. Зокрема, для сухих умов достатньо 20 мм, тоді як для морського клімату рекомендується 30 мм. Для забезпечення необхідного шару бетону навколо арматури використовують спеціальні фіксатори, або ж розпірні елементи. Ці елементи мають бути стійкими до корозії і розташовуватися з кроком приблизно 1 метр. Найбільш простим способом підтримки необхідної товщини захисного шару є використання пластикових підкладок. Важливо зазначити, що застосування сталевих елементів арматури як підкладок неприпустиме, оскільки вони швидко іржавіють.

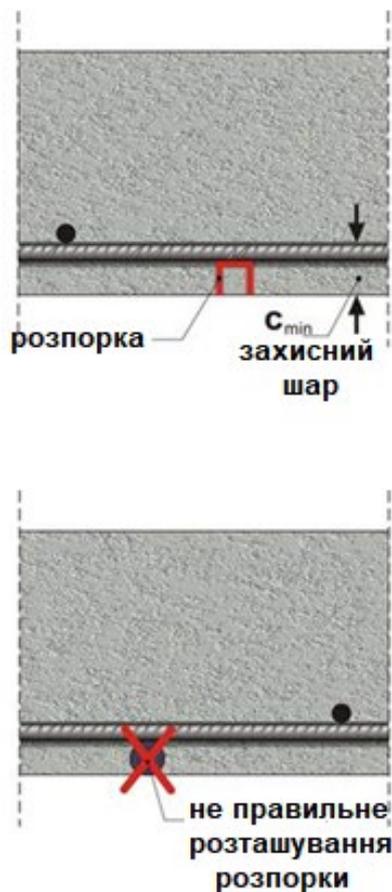


Рис. 2.20. Забезпечення належного захисту арматурного каркасу плити

Корозія арматури, супроводжувана збільшенням її об'єму, спричиняє відшарування бетонного покриття і, як наслідок, появу тріщин у штукатурці. Істотне руйнування негативно позначається на безпеці людей, які проживають у будівлі, та зменшує загальний термін її експлуатації.

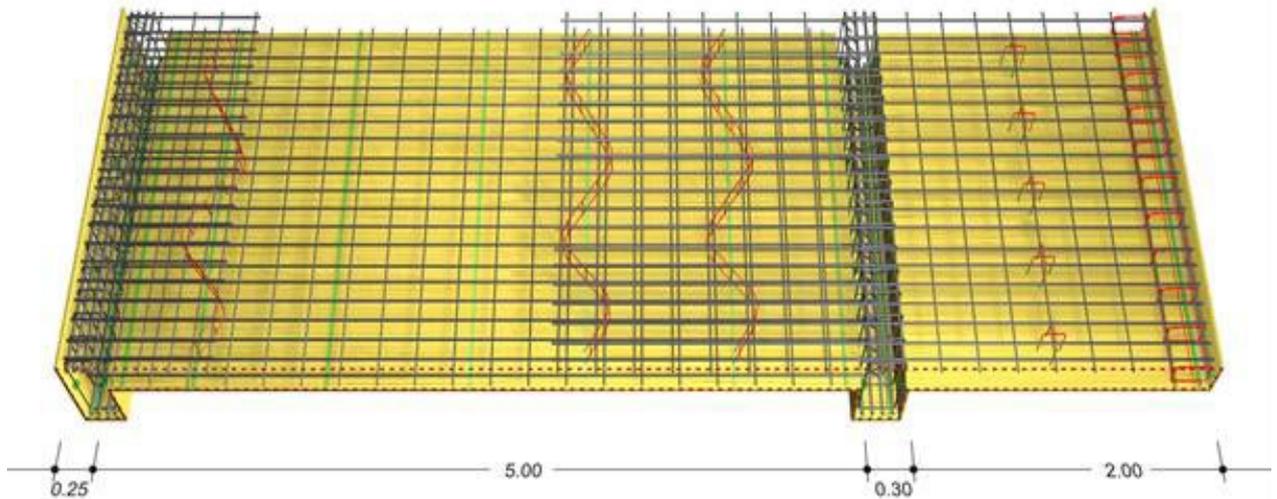


Рис. 2.21. Забезпечення належного розташування верхньої арматури в плиті

З метою надійної фіксації верхнього армування плити в зонах опор, зокрема над проміжком між двома плитами або між балконом і плитою (у випадку консольної плити), рекомендується використовувати виключно спеціалізовані опорні елементи для арматури.

Якщо в якості верхнього армування в області опори плити застосовується сітка, її фіксація у потрібному положенні може бути досягнута за допомогою S-подібної сітчастої опори, що розташовується на нижній арматурній решітці вздовж пластикової прокладки. У ситуаціях, коли верхнє кріплення арматури реалізовано за допомогою відігнутих догори прольотних стержнів, їх належне розташування гарантується формою самої арматури, що робить застосування окремих стержневих фіксаторів необов'язковим.

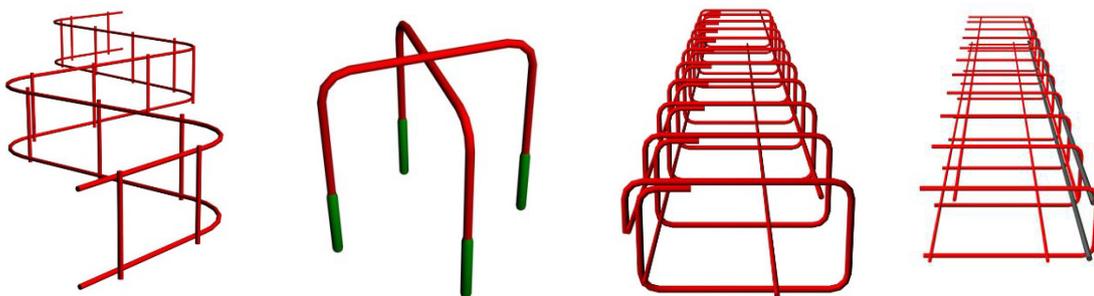


Рис. 2.22. Різновиди пластикових елементів підтримки для арматурних сіток

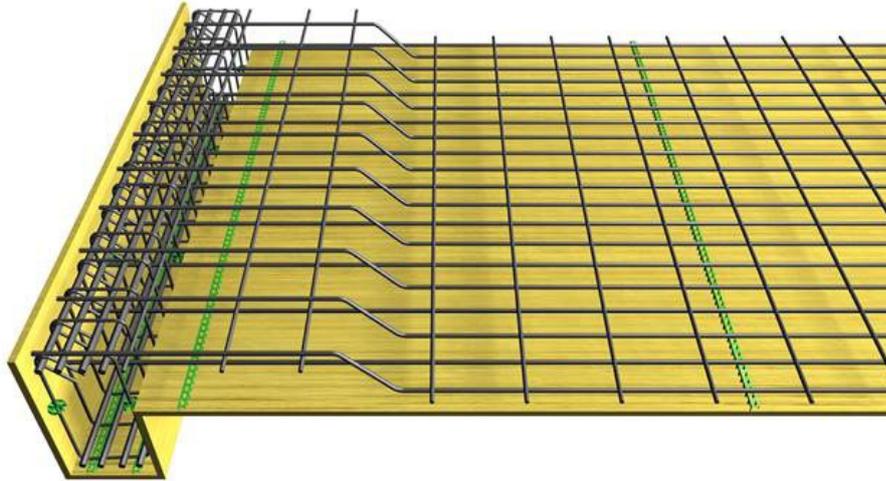


Рис. 2.23. Фіксація верхнього арматурного шару плити

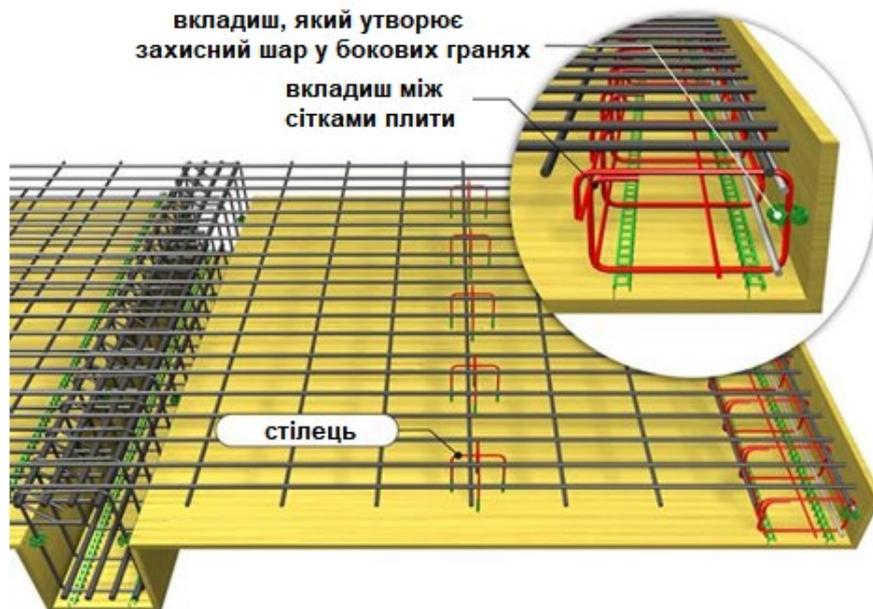


Рис. 2.24. Схема розташування арматури по краю плити консольної

На консольній плиті, по правому краю, розташовані два шари підтримуючих елементів. Нижній шар сформовано з похилих, гофрованих арматурних каркасів, що спираються на дві протяжні полімерні підкладки. Верхній шар складається з лінійки вертикальних арматурних фіксаторів.

Категорично неприпустимо застосовувати арматурні підтримуючі елементи, розміщені безпосередньо на опалубній конструкції. Крім того, використання застарілих, саморобних розпірок економічно не вигідне.

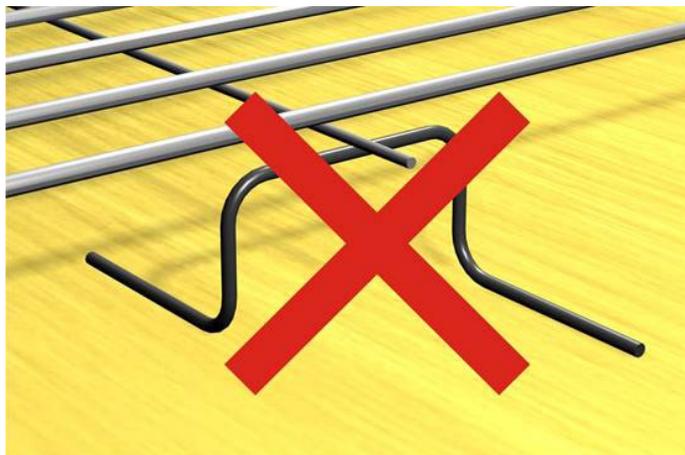


Рис. 2.25. Сталеві арматурні стільці

Основа споруди функціонує подібно до перевернутої консольної балки, що піддається впливу сил, направлених вгору. Зазвичай, стрічковий фундамент володіє значною міцністю на згин, що призводить до практично лінійного розподілу напружень у ґрунті. У випадку симетричного відносно надбудови фундаменту, ці напруження переважно ортогональні. Ці ґрунтові тиски діють як навантаження на фундамент, який, в свою чергу, поводить себе як плита і деформується відповідним чином.

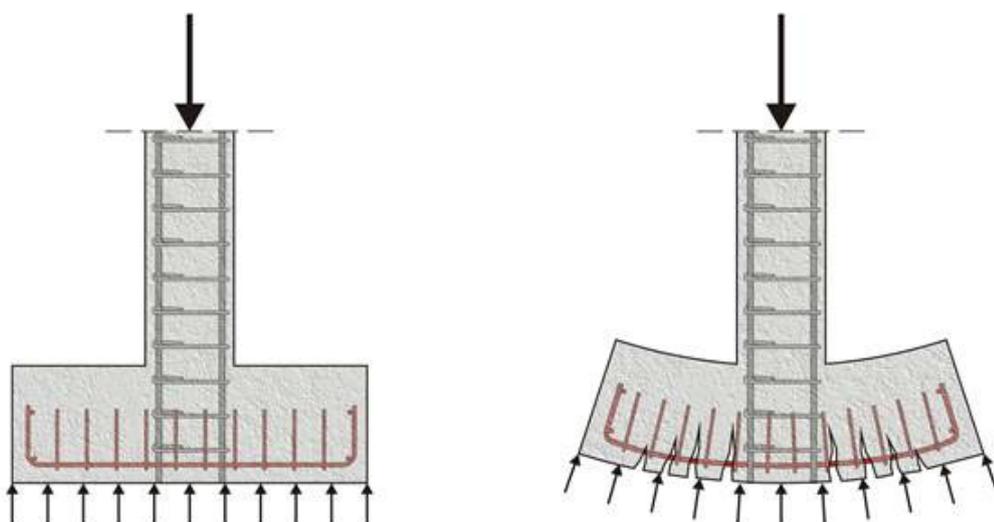


Рис. 2.26. Схематичне зображення роботи фундаменту з урахуванням деформацій

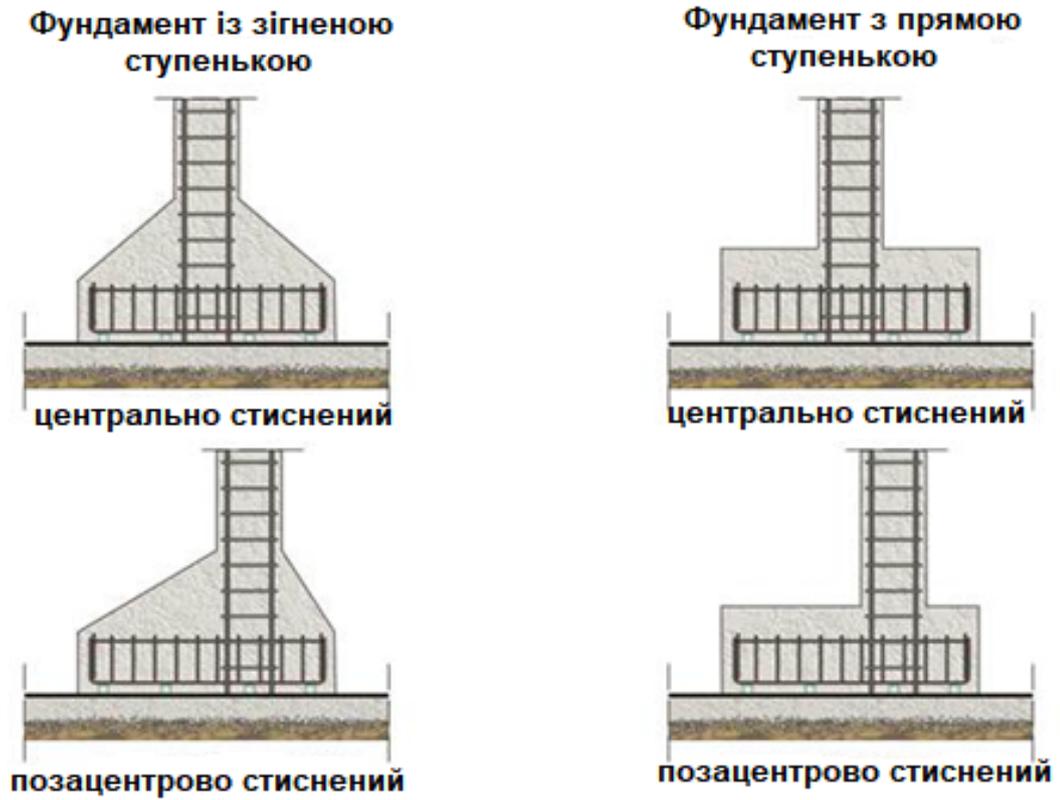


Рис. 2.27. Види форм стовпчастих фундаментів

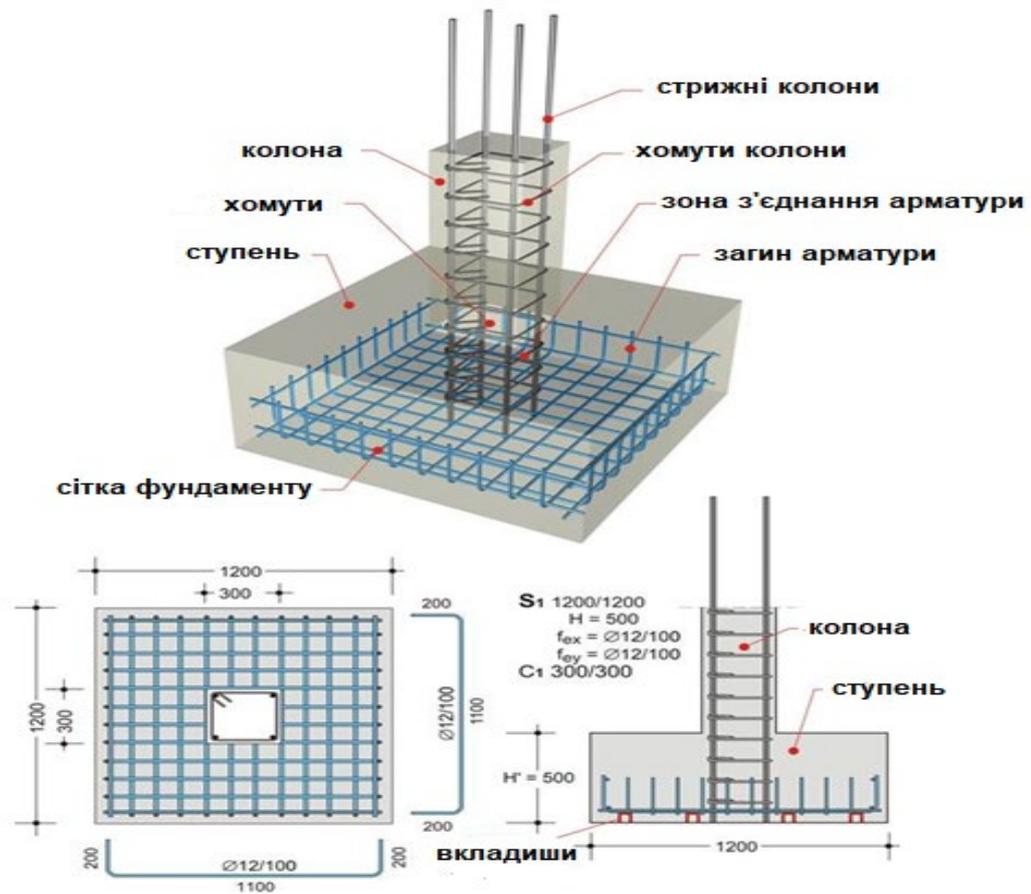


Рис. 2.28. Схеми армування стовпчастих фундаментів

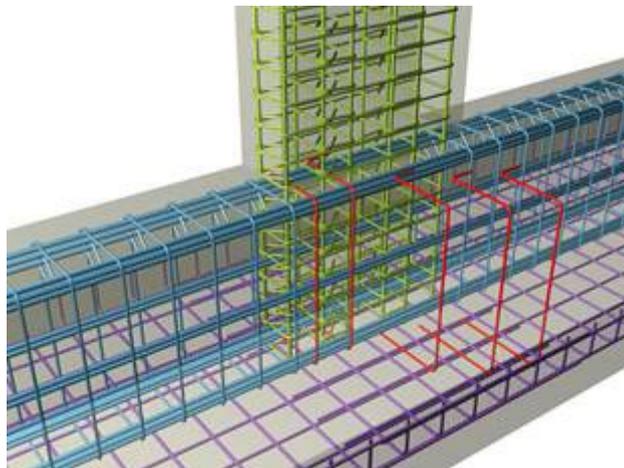


Рис. 2.29. Моделювання арматурних каркасів стрічкових фундаментів з використанням Tekla Structures

При відсутності сейсмічної активності, розподіл тиску ґрунту під фундаментом має форму, близьку до трапеції, і спостерігається значне обертання фундаменту. При виникненні сейсмічних впливів, обидва фундаменти зазнають значних перенапружень і частково втрачають контакт з ґрунтом, що спричиняє концентрацію напружень у ґрунті. Під час зміни напрямку сейсмічних сил відбувається симетрична зміна перенапружень у фундаментах. У випадку землетрусу, більша частина фундаменту не може ефективно передавати навантаження. Усі фундаменти такого типу демонструють схожу поведінку (крайні фундаменти мають незначні перенапруження), що підтверджується графічним зображенням.

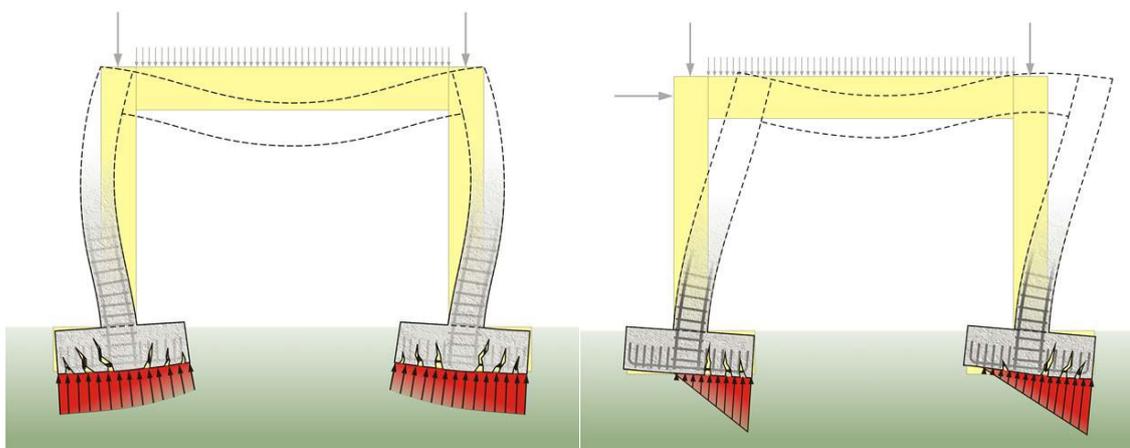
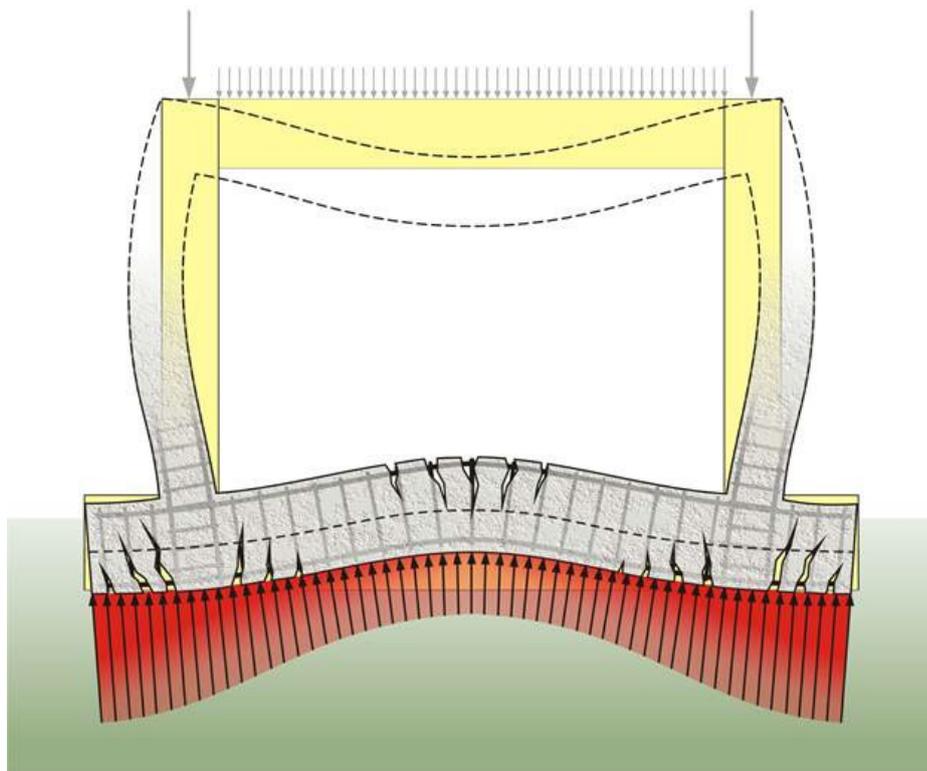


Рис. 2.30. Схема взаємодії основи та каркасу споруди за стандартних умов експлуатації та під час сейсмічних впливів

У звичайних умовах, без впливу сейсмічної активності, тиск на ґрунт під стрічковим фундаментом розподіляється рівномірно вздовж усієї його осі. Найбільша концентрація напружень спостерігається безпосередньо під колонами.



Рису. 2.31. Стандартна експлуатація фундаменту стрічкового

Під час сейсмічної активності, навантаження на фундамент не є рівномірним: один бік піддається більшому тиску, що призводить до збільшення напружень у ґрунті, в той час як інший бік, навпаки, розвантажується. При зміні напрямку сейсмічних сил, ця картина розподілу навантажень на фундамент симетрично змінюється. Деформації та напруження, що виникають у стрічковому фундаменті, є значними та постійно змінюють свій знак. Фактично, фундамент працює як двостороння консольна балка (защемлена у стінці стрічкового фундаменту). Його робота схожа на поведінку плити перекриття, тому потребує армування нижньої зони, як це показано на ілюстрації.

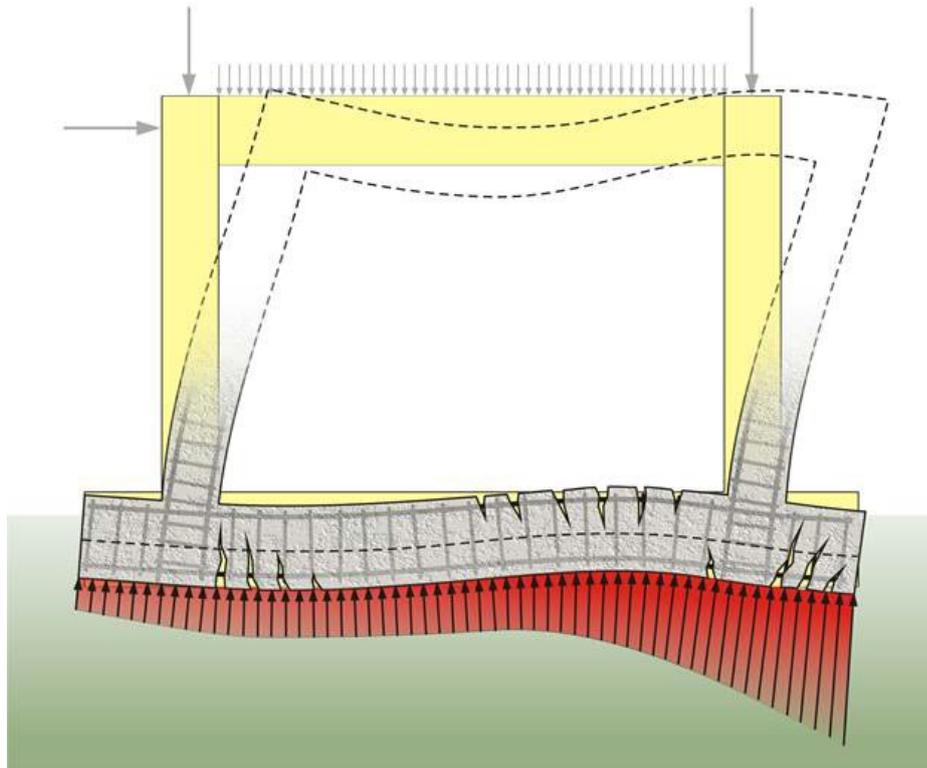


Рис. 2.32. Поведінка фундаменту стрічкового в умовах сейсмічного навантаження

Фундаменти стрічкові демонструють високу стійкість до сейсмічних впливів. Під час землетрусів, залежно від напрямку сейсмічних сил, навантаження концентрується на краях фундаменту. У великих стрічкових фундаментах деформація постійно змінюється у зворотному напрямку, що зумовлює необхідність інтенсивного армування як верхньої, так і нижньої частин конструкції, особливо в крайніх прольотах нерозрізного стрічкового фундаменту. Для покращення роботи крайових зон рекомендується проектувати стрічковий фундамент з випуском за межі крайніх опор на певну відстань.

Поведінка ростверку подібна до поведінки решітки фундаменту стрічкового. Тиск на ґрунт є вищим безпосередньо під колонами та нижчим між ними. Наявність балок, які діють як ребра жорсткості, допомагає згладити розподіл тиску ґрунту між ділянками під колонами та проміжними областями ростверку.

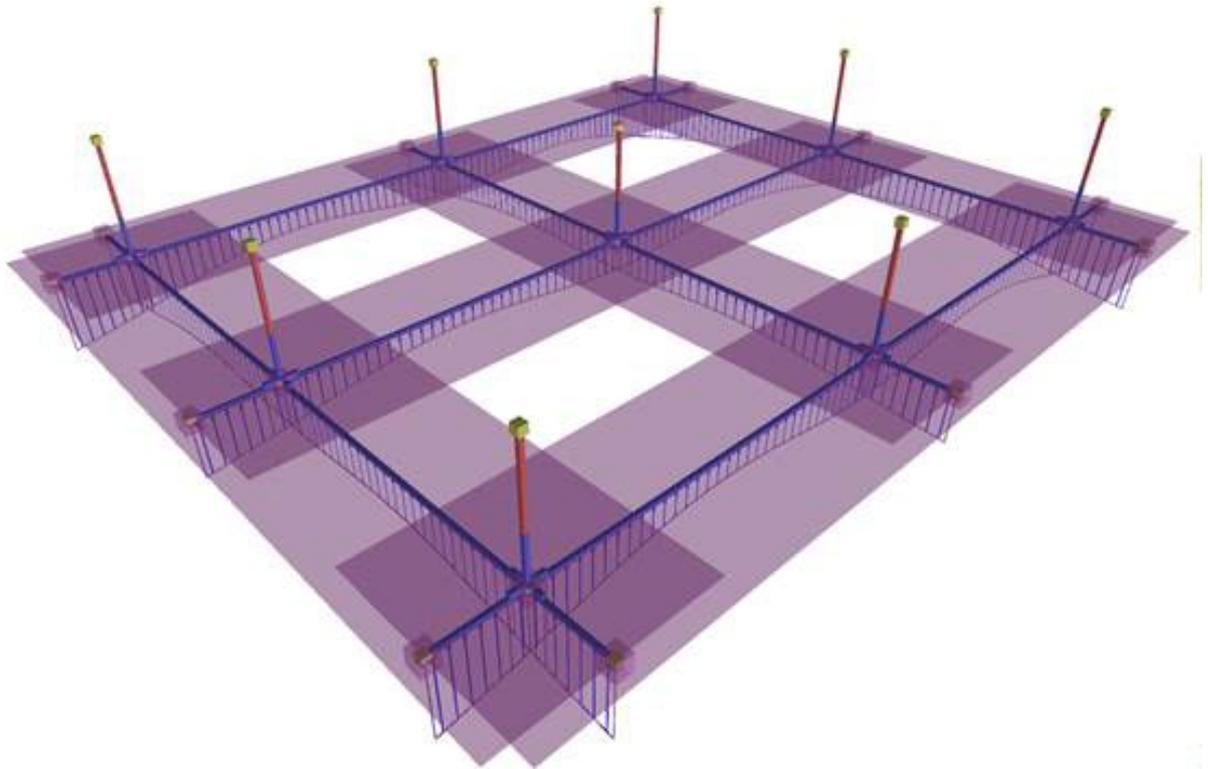


Рис. 2.33. Стандартний розподіл напружень у фундаментах ростверкових

При значних навантаженнях, що передаються на колони, і при відносно малій товщині фундаментної плити, необхідно передбачити армування на продавлювання. Дане армування може бути реалізоване за допомогою хомутів, встановлених у вигляді обойм (як у наведеному випадку), або групами належним чином зігнутих арматурних стержнів, чи з використанням спеціалізованих заводських виробів.

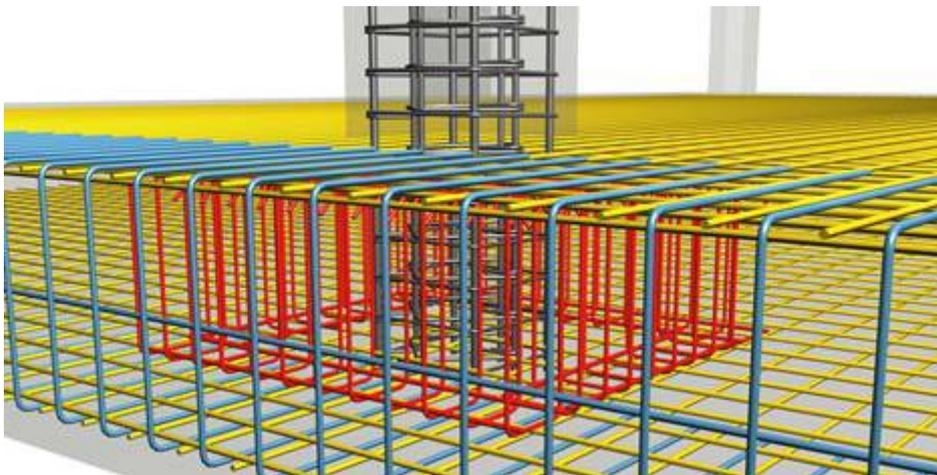


Рис. 2.34. Розкладка арматури, що протидіє продаванню, в ростверку фундаменту під колоною, відображена у Tekla Structures

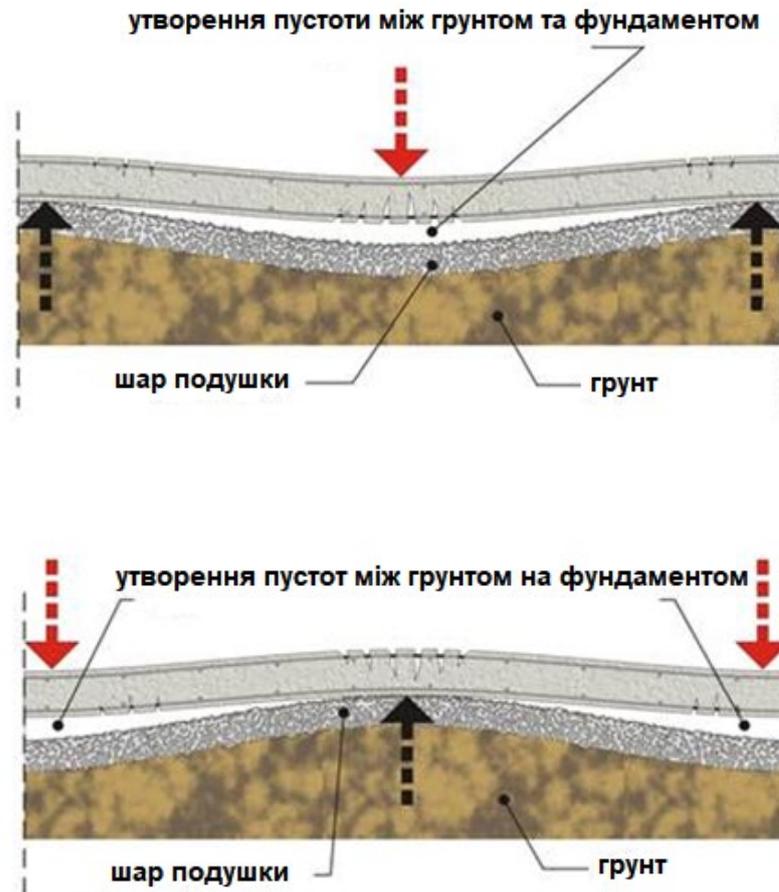


Рис. 2.35. Принцип функціонування монолітної фундаментної плити під дією навантаження

Висновки по Розділу 2

У розділі наведені основні теоретичні засади та принципи поведінки конструкцій та її елементів при дії сейсмічних навантажень. Показані варіанти моделювання та армування елементів конструкцій та фундаментів при дії сейсмічних силових факторів.

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ

3.1. Оцінка взаємозв'язку між активністю сейсмічною та трансформаціями у конструкції споруд

Загалом, професіонали частіше стикаються з впливом гравітаційних сил у своїй практиці, оскільки вони постійно присутні, на відміну від горизонтальних сейсмічних впливів, які є рідкісними.

Для аналізу взаємозв'язків між активністю сейсмічною і змінами в структурі будівель, а також для наступного моделювання різних сценаріїв, було створено базову стрижневу модель у програмному комплексі RFEM 6.

Програма RFEM для розрахунку будівельних конструкцій є потужним тривимірним програмним забезпеченням на основі методу скінченних елементів (MSE), призначеним для інженерів-будівельників. Вона задовольняє сучасні потреби у проектуванні та аналізі конструкцій. Завдяки зручному введенню даних та зрозумілій навігації, RFEM дозволяє легко моделювати як прості, так і складні будівельні об'єкти.

Програма RFEM для розрахунку будівельних конструкцій базується на модульній архітектурі. Основна програма RFEM застосовується для створення моделей конструкцій, визначення властивостей матеріалів та задання навантажень для двовірних та тривірних конструктивних систем, що включають плити, стіни, оболонки та балки. Крім того, можливе формування комбінованих систем, зокрема, додавання твердотільних елементів або елементів, що моделюють контакт між об'єктами.

У якості ключового несучого елемента каркасу було використано колону з квадратним перерізом. На початковому етапі було проведено дослідження загальної поведінки плоскої рами з урахуванням різних варіантів защемлення колон. При цьому, рівень фіксації торця колони в конкретному напрямку визначається співвідношенням жорсткостей колони та з'єднаних з нею балок. Ступінь защемлення змінюється від жорсткого до шарнірного. Наприклад, при

з'єднанні гнучкої колони (скажімо, у яких поперечний переріз 0.3×0.3 м) з жорсткими ригелями (як приклад: бетонні балки у яких висота 0.8 м), поєднання можливо розглядати як жорстко зацмлене.

Однак, якщо верх колони з'єднано з пласкою плитою, а низ спирається на нестійку основу у пухкому ґрунті без ростверків, дане з'єднання можна спрощено розглядати штифтовим.

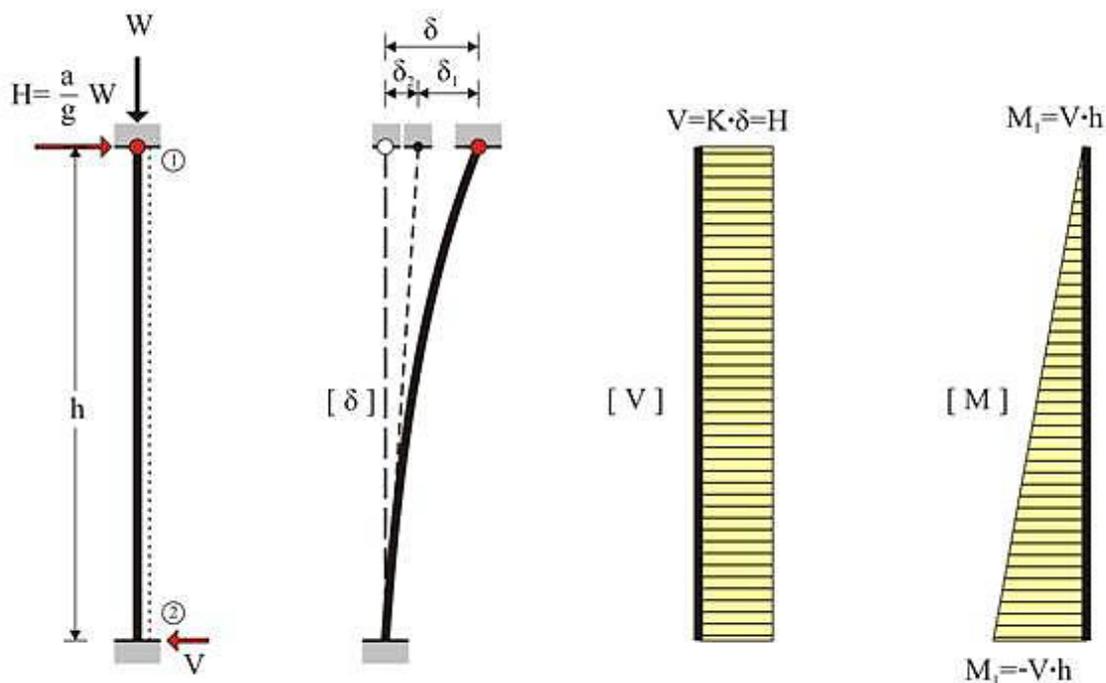


Рис. 3.1. Колонна із фіксованою опорою на кінці

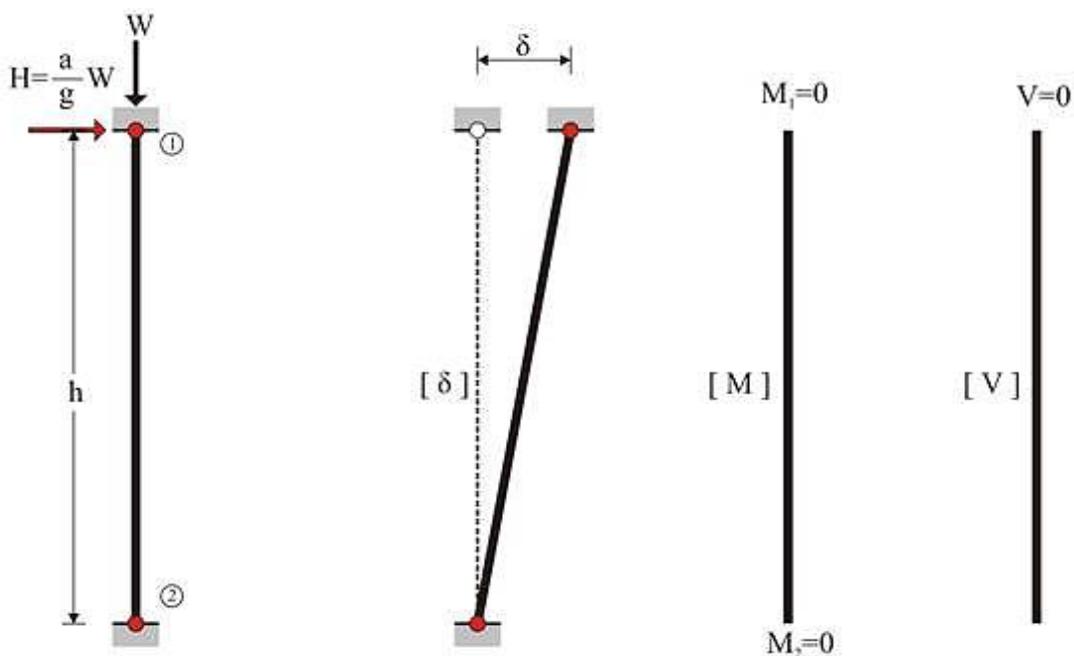


Рис. 3.2. Колонна із штифтовою опорою на кінці

Під час впливу сейсмічного, кожна точка верху колони зазнає однакового горизонтального зсуву δ , незалежно від її опору деформації.

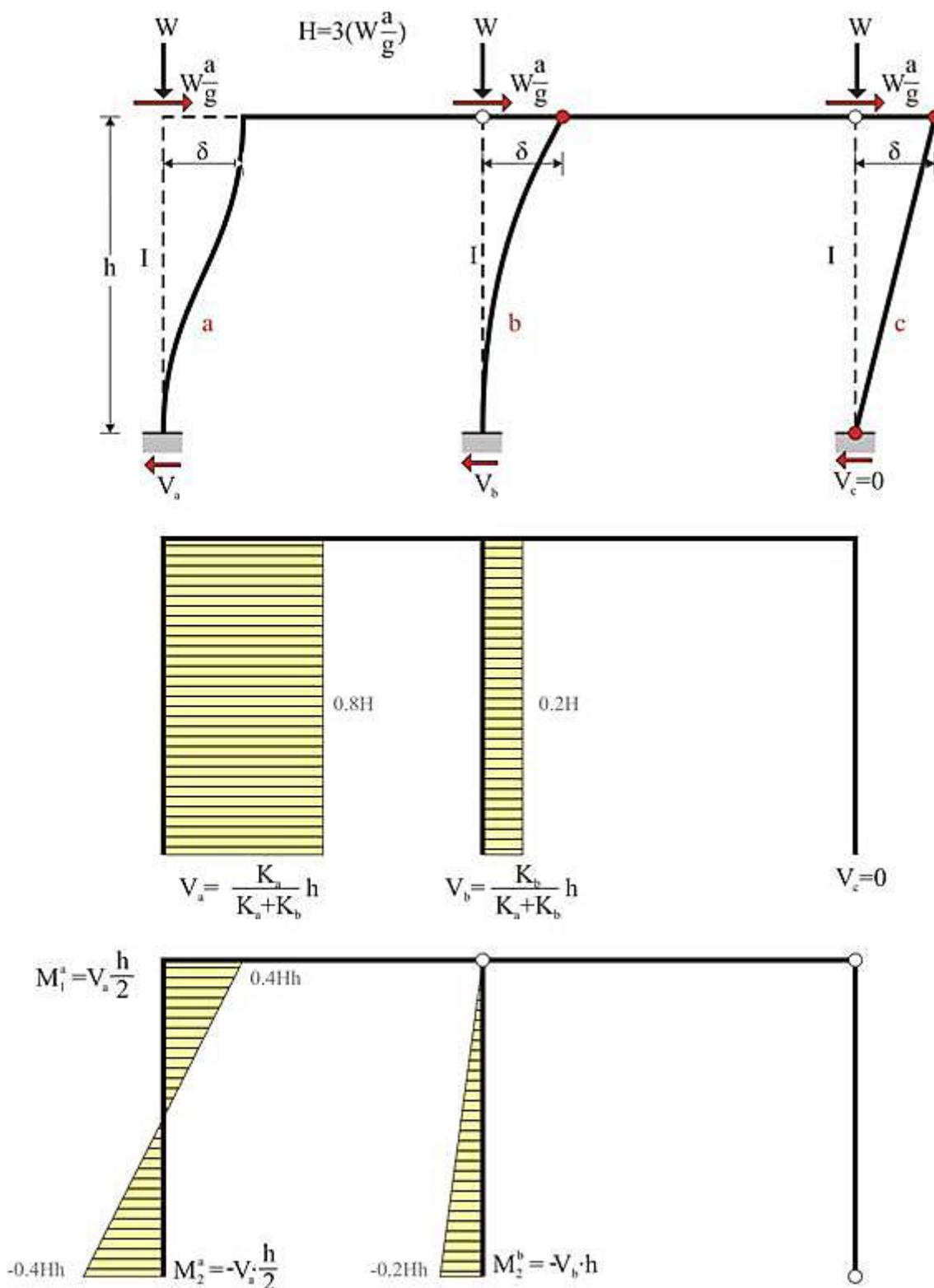


Рис. 3.3. Розгляд плоскої рами, із фіксованими опорами на кінцях

На рисунку 3.3 показано, що значна частина, а саме 80%, сейсмічного навантаження зосереджена на колоні із фіксованою опорою на кінці.

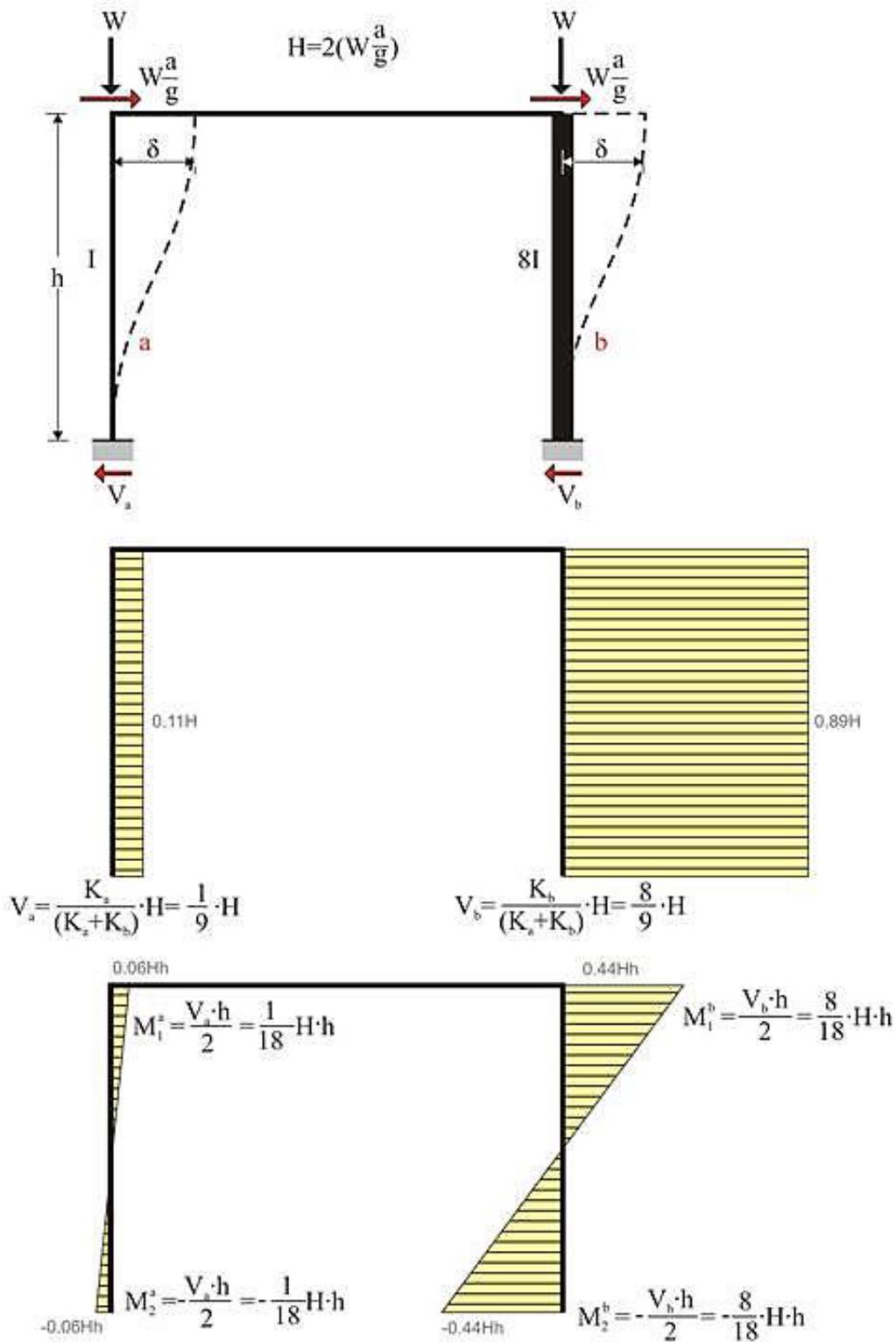


Рис. 3.4. Вплив моментів інерції перерізу колони на величину сейсмічного навантаження, що діє на раму плоску

Було вивчено, як характеристики моментів інерції перерізу колони впливають на величину сейсмічного навантаження, що діє на неї, в залежності від її геометричних параметрів. Згідно з даними, представленими на рисунку 3.4, розподіл сейсмічного впливу становить 89% для колони з більшою

жорсткістю (перерізом 800/400 мм) та 11% для колони з меншою жорсткістю (перерізом 400/400 мм). У розглянутій однопрольотній рамі, зображеній на рисунку, встановлено, що момент інерції однієї з колон у вісім разів перевищує момент інерції іншої.

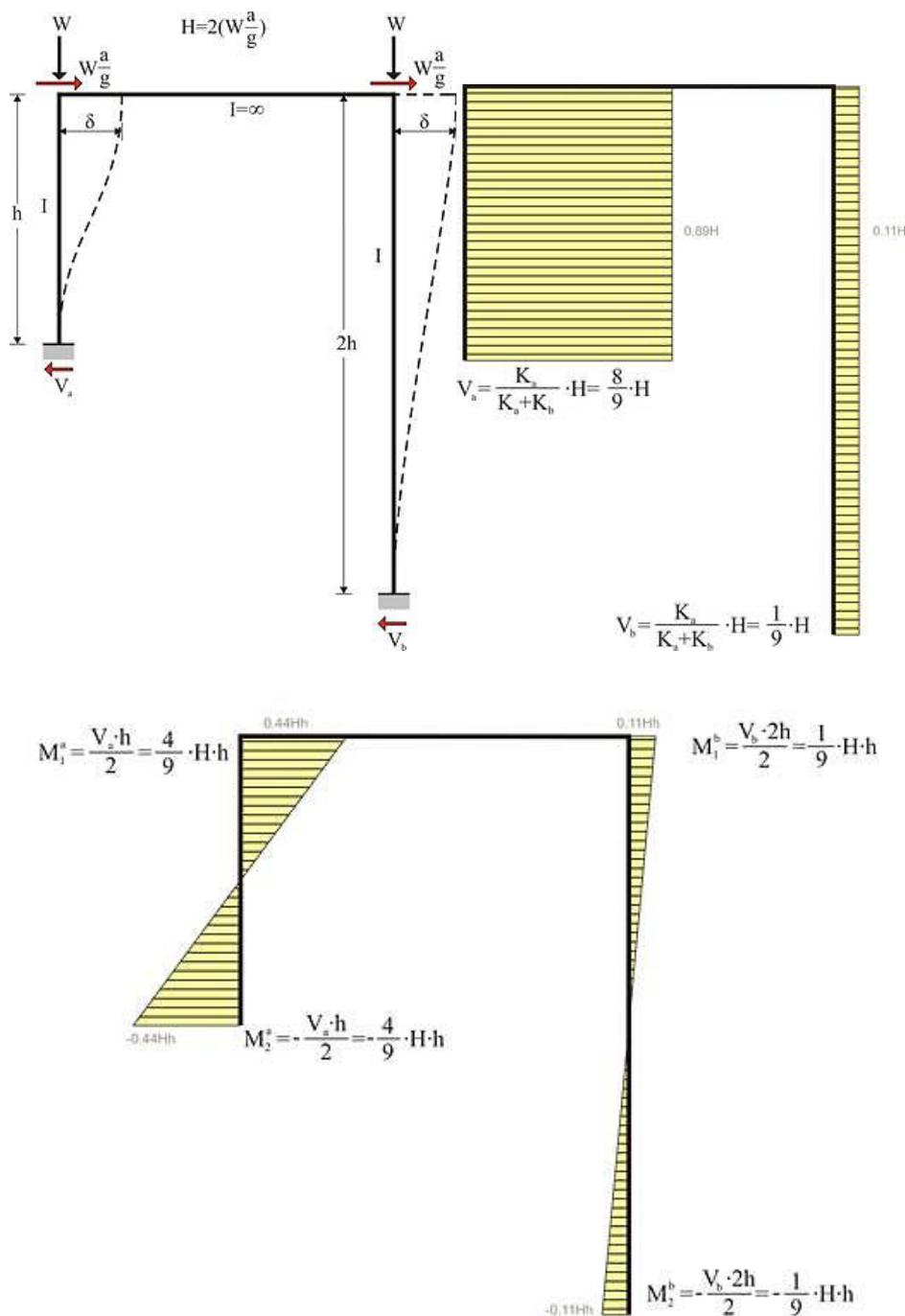


Рис. 3.5. Вплив змінної висоти колон у плоскій рамі на сейсмічну поведінку

На рисунку 3.5 продемонстровано, що 89% сейсмічного навантаження сприймається "низькою" колоною (згинальний момент у "низькій" колоні вчетверо перевищує аналогічний момент у "високій"). Розглядається

однопролітна рама, де одна з колон має висоту вдвічі більшу за іншу. Припускається, що момент інерції балки є нескінченним. Подібні ситуації можуть виникати на практиці, зокрема, при проєктуванні фундаменту дворівневого.

Згодом відбувалося безпосереднє складання рами. Каркаси можуть бути побудовані виключно з колон, що формують "каркасні системи", або ж з використанням як колон, так і стін, утворюючи так звані "подвійні системи".

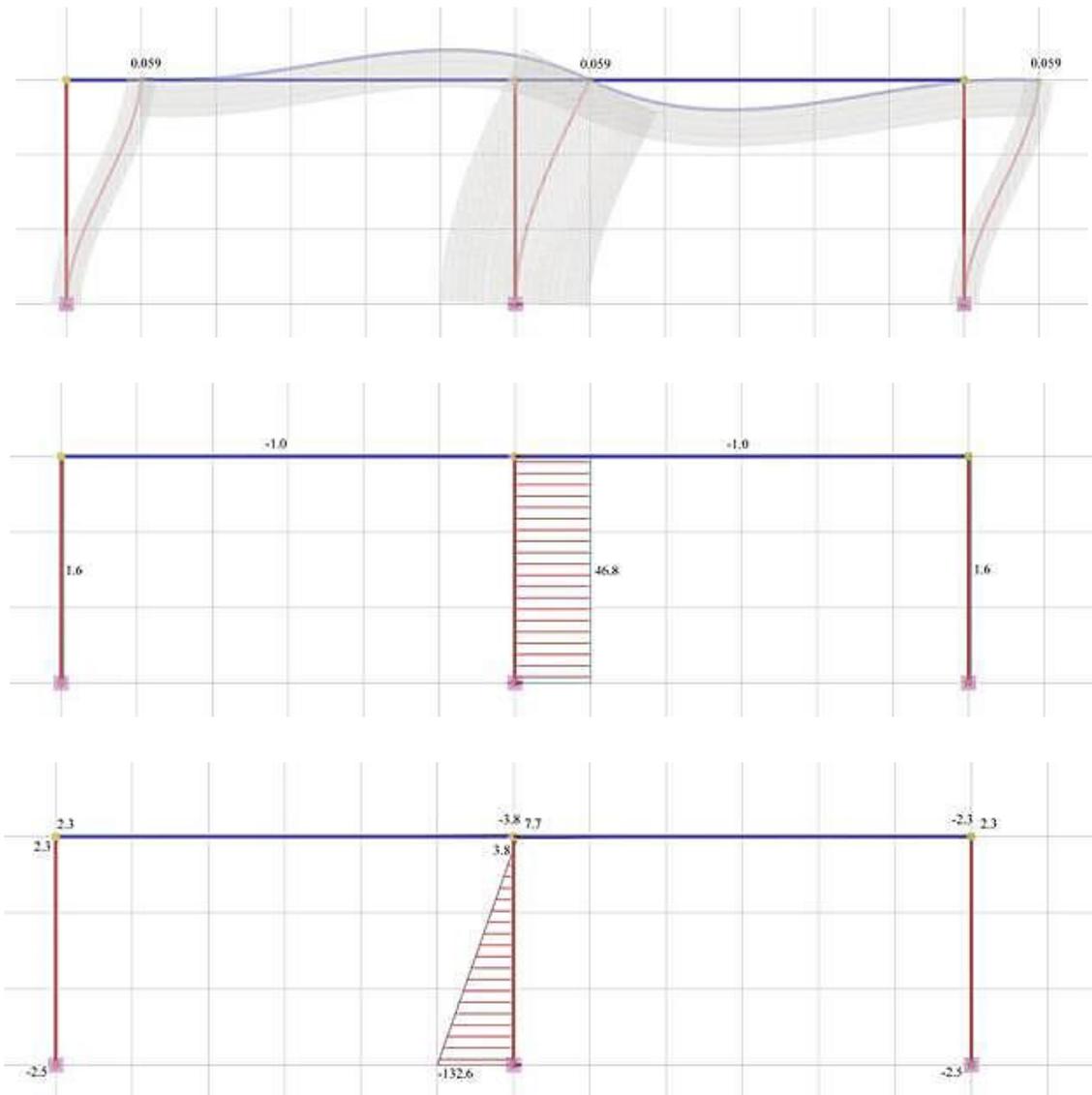


Рис. 3.6. Одноповерхова плоска рама з центрально розташованою стіною

Майже вся сейсмічна дія зосереджена на центральній стіні. Терміном "зв'язані плоскі рами" позначають плоскі рами, які об'єднані таким чином, що зазнають однакових горизонтальних деформацій під впливом бічних сил.

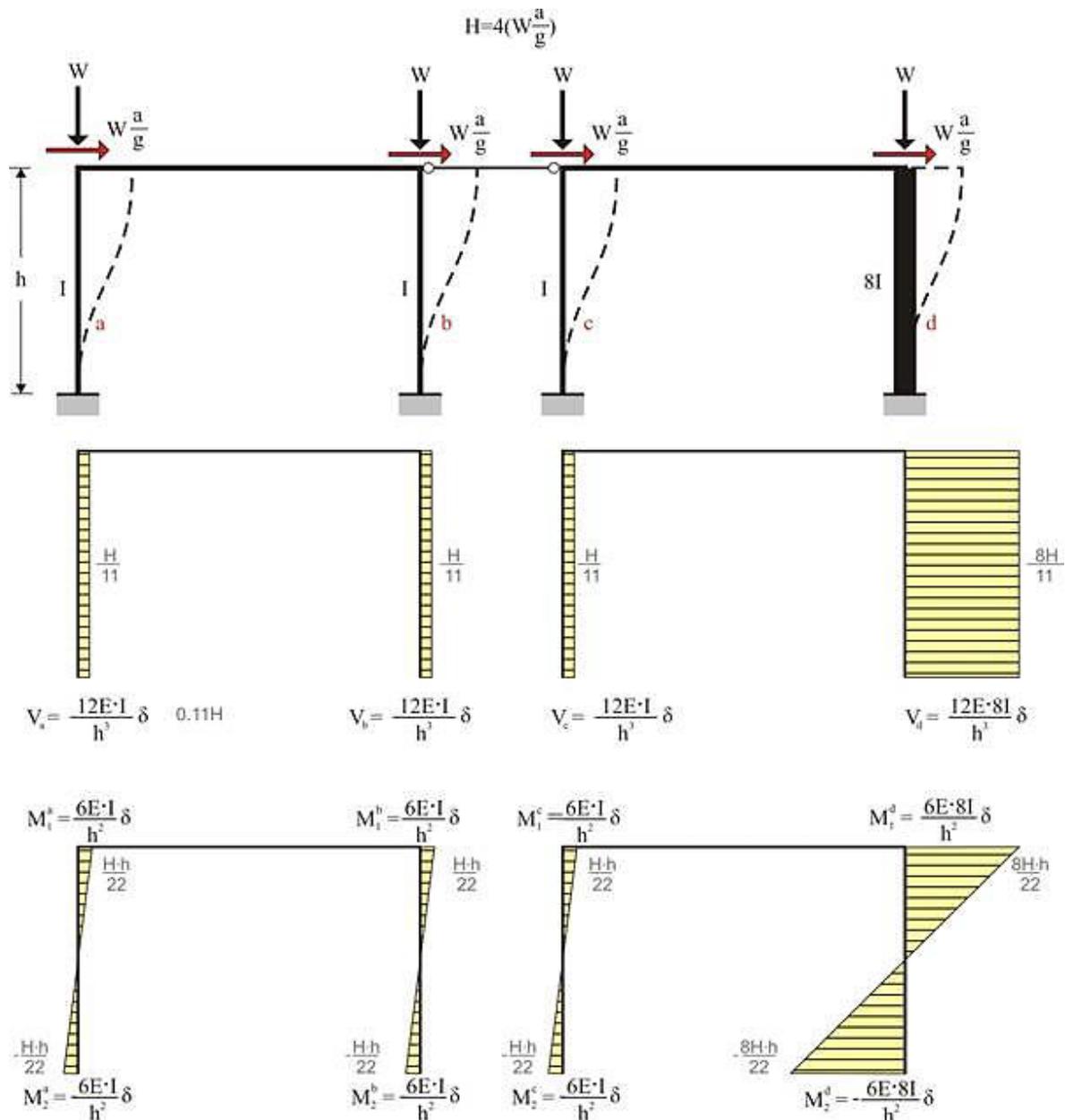


Рис. 3.7. Одноярусна пласка рама із шпангоутом спареним і крайньою стійкою посиленого перерізу

Значення жорсткостей та коефіцієнтів жорсткостей k колон, які використовуються для одноповерхових рам, описаних раніше, є прямими, оскільки визначаються виключно геометрією і не залежать від величини прикладених сил або розподілу навантаження по висоті споруди, через її одноповерховість. Ці показники жорсткості були абсолютними значеннями, але в той же час, вони також відображали відносні пропорції, зважаючи на наявність лише одного поверху.

У багатоповерхових спорудах, під час сейсмічної активності, навантаження розподіляються по всій висоті будівлі. Це означає, що важливим аспектом стає схема розподілу горизонтальних сейсмічних сил, яка може бути різною: рівномірною, лінійно зростаючою (трикутною) або нерегулярною. Важливо підкреслити, що показники жорсткості не змінюються залежно від величини сейсмічного навантаження, проте залежать від типу розподілу горизонтальних сил. Тому, отримані значення жорсткості (K) та коефіцієнта жорсткості (k) слід розглядати як відносні. Виходячи з припущення одночасного впливу горизонтальних сил на перекриття, передбачається, що жорсткість кожного перекриття є відносною величиною по відношенню до жорсткості перекриття, розташованого безпосередньо під ним.

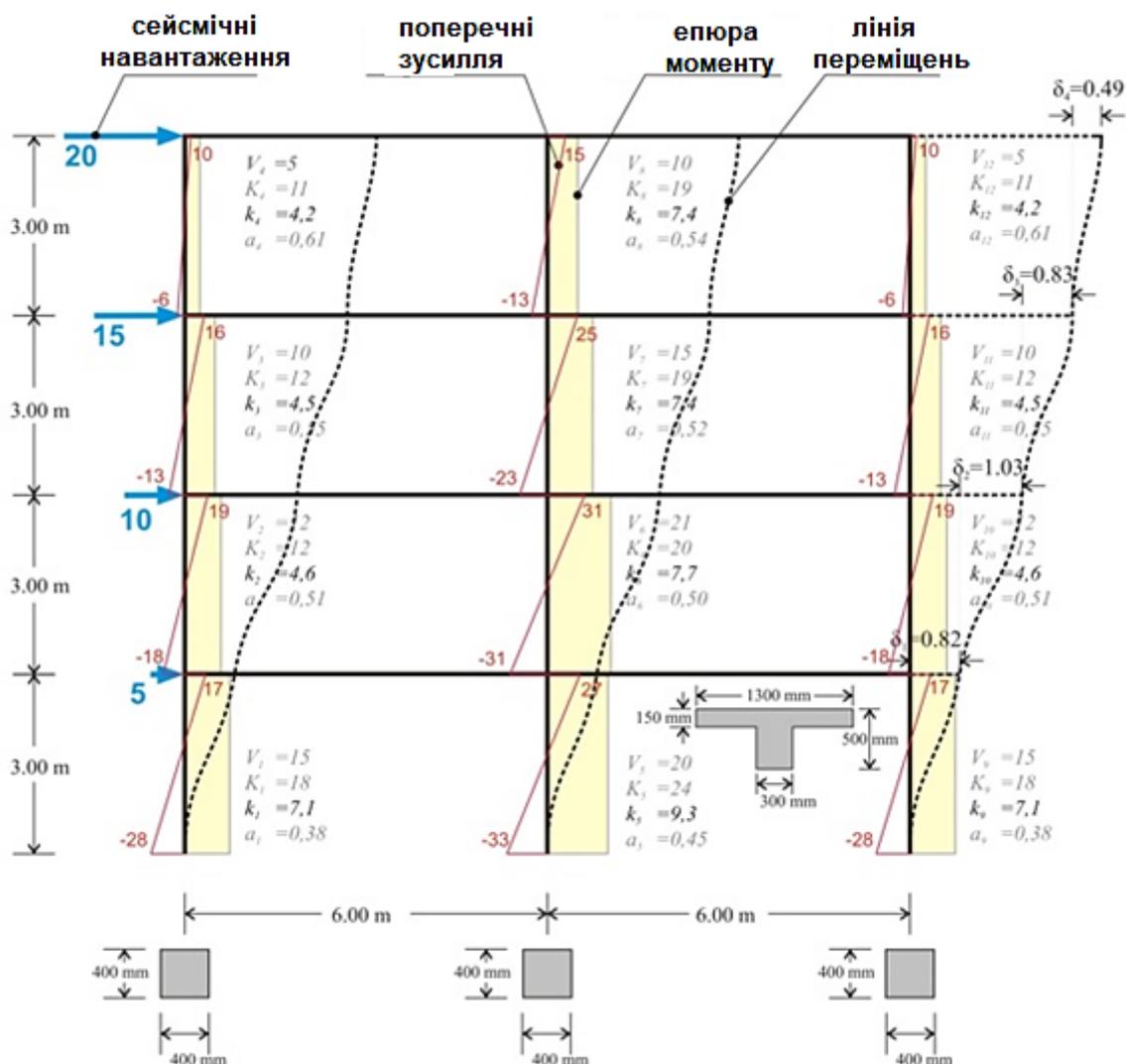


Рис. 3.8. Багатоюрсна плоска рамна система, де всі вертикальні опори (колони) мають ідентичну геометричну форму перерізу

Оскільки умовні коефіцієнти жорсткості (k_j) варіюються в межах 4...9, а значення коефіцієнтів розподілу моментів (a_j) – 0.40...0.60, важливо відзначити, що значення умовних жорсткостей визначаються виключно розподілом зусиль по висоті рами і не залежать від величини сейсмічного навантаження. Таким чином, для подальших обчислень як поперечні сили, так і згинальні моменти, а також деформації представлені в безрозмірному вигляді.

Характеристичне значення сейсмічної дії, також відоме як "базовий зсув", являє собою сумарну горизонтальну силу, що дорівнює сумі всіх зсувних зусиль у колонах біля основи споруди. За умови використання трикутного розподілу сейсмічних навантажень, базовий зсув складає 50. Якщо еквівалентні горизонтальні зусилля ($V_{base} = 50$) застосовуються з використанням рівномірного розподілу, тобто горизонтальна сила $H = 12,5$ на кожному рівні, отримані результати дещо різняться, близько 5%.

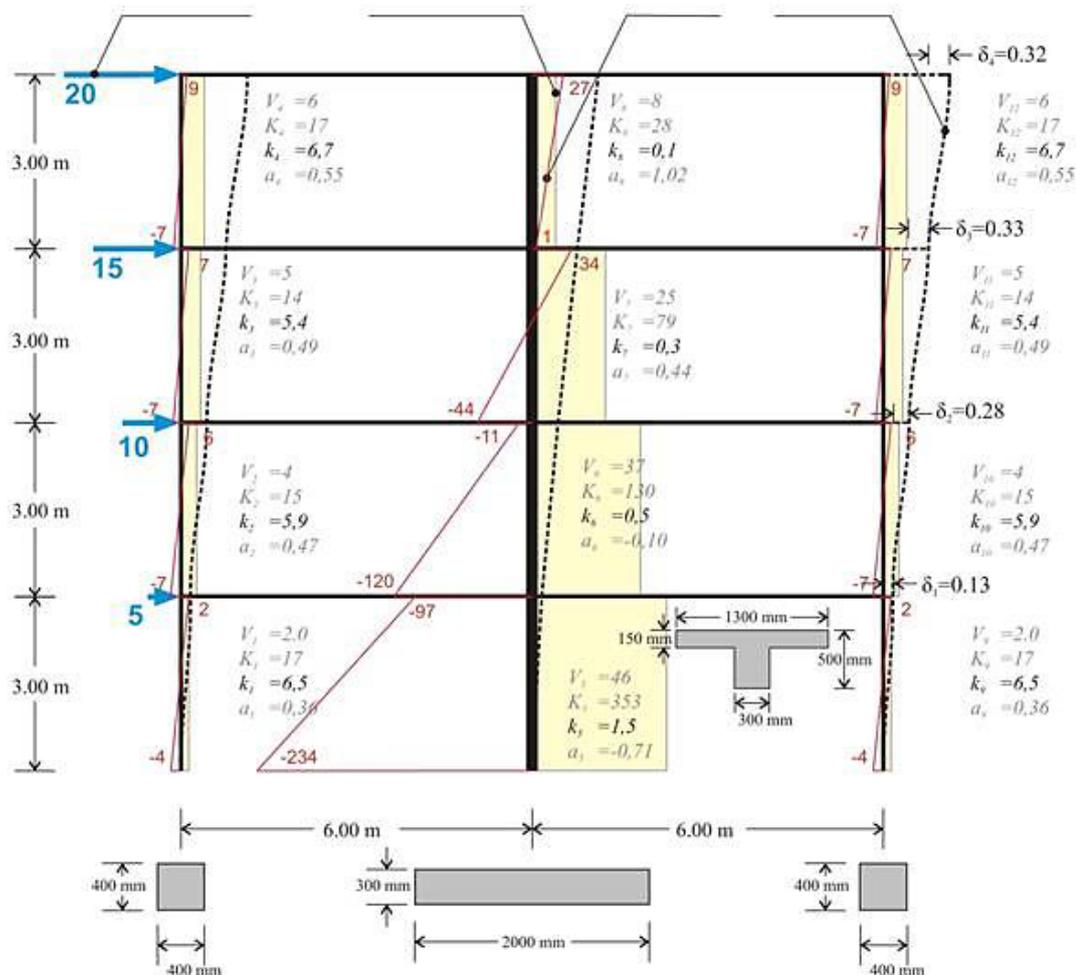


Рис. 3.9. Багатоярусна плоска рамна система, де всі вертикальні опори (колони) по краях мають ідентичну геометричну форму перерізу і стіну по центру

У ситуації з підвальним поверхом сейсмічні навантаження на рівні його перекриття дорівнюють нулю. Однак, жорстке закріплення передбачається лише для опор колон, розташованих вздовж зовнішніх стін підвалу. У випадку наявності в каркасі стін, розбіжності в ступені твердості та в розподілі зусиль зростають з кожним додатковим поверхом.

3.2. Порівняльна характеристика системи каркасної і системи подвійної

У подальшому, у розділі проаналізовано характеристики найпоширеніших типів несучих систем. Система, що складається виключно зі стовпів, іменується рамною, тоді як система зі стовпів і стін називається комбінованою. Зіставлення цих двох типів систем буде здійснено на основі наведених нижче прикладів. В аналізі використовуються конструкції, аналогічні тим, що були представлені в попередньому розділі магістерської роботи. Розглядаються будівлі з різною поверховістю: 4, 8 та 15 поверхів. Основними показниками для порівняння є фактичні та розрахункові значення. Реальні значення представлені у вигляді горизонтальних переміщень кожного поверху, а розрахункові – у вигляді еквівалентної площі поперечного перерізу колони на кожному рівні. Під "еквівалентною колоною" розуміється теоретичний стовп, який при деформації забезпечує горизонтальне переміщення, рівне сумарному переміщенню всіх стовпів на даному поверсі. Можливі різні варіанти таких розрахункових еквівалентних колон, але в даному дослідженні було обрано колону з жорстким защемленням шириною 300 мм. В якості альтернативи, можна розглядати еквівалентну прямокутну колону з жорстким защемленням.

При зіставленні двох конструкцій ключовим аспектом є саме схема розподілу сейсмічних навантажень, а не їх абсолютна величина. З цієї причини застосовується трикутний розподіл, який найточніше відтворює фактичний розподіл сил, що виникають у більшості сучасних споруд.

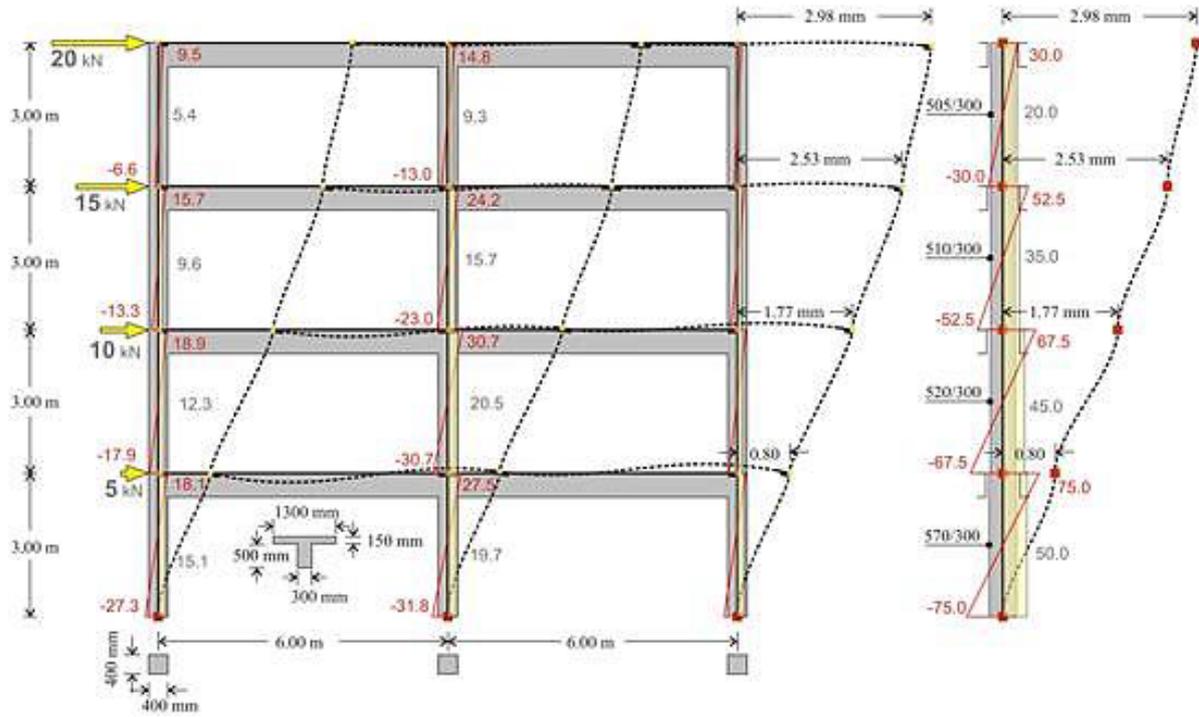


Рис. 3.10. Графічне зображення 4-х поверхової плоскої каркасної системи під впливом сейсмічного впливу

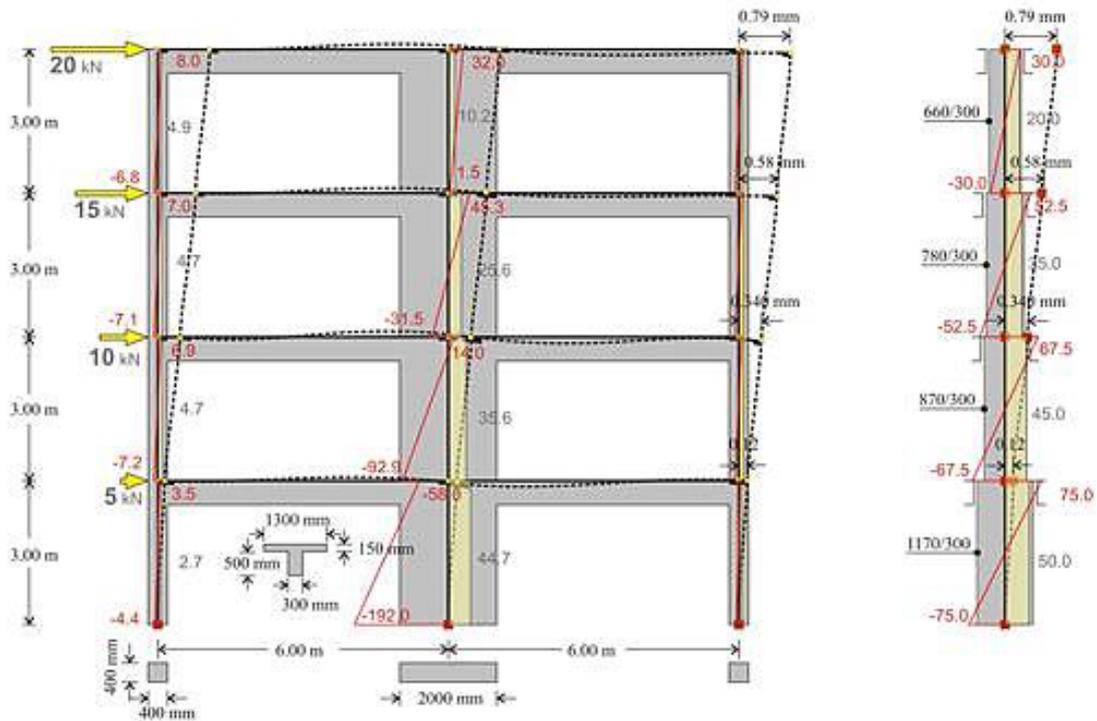


Рис. 3.11. Графічне зображення 4-х поверхової плоскої системи подвійного типу під впливом сейсмічного впливу

У будь-якій будівлі, незалежно від типу конструкції – каркасній чи з подвійними несучими елементами – горизонтальна сила зсуву, що діє на колони певного поверху, є еквівалентною сумі сейсмічних навантажень, які впливають на всі поверхи, розташовані вище. Наприклад, для першого рівня будівлі ця сумарна сила становить 180 (розрахована як $54,3+71,4+54,3$), а для верхнього поверху цей показник дорівнює 40 ($10,7+18,6+10,7$). У першому ярусі центральна колона сприймає на себе 40% ($71,4/180$) загальної зсувної сили, тоді як кожна з крайніх колон витримує по 30%. На останньому поверсі, на середню колону припадає 46% ($18,6/40$) зсувної сили, а на кожен з бічних колон – 27%.

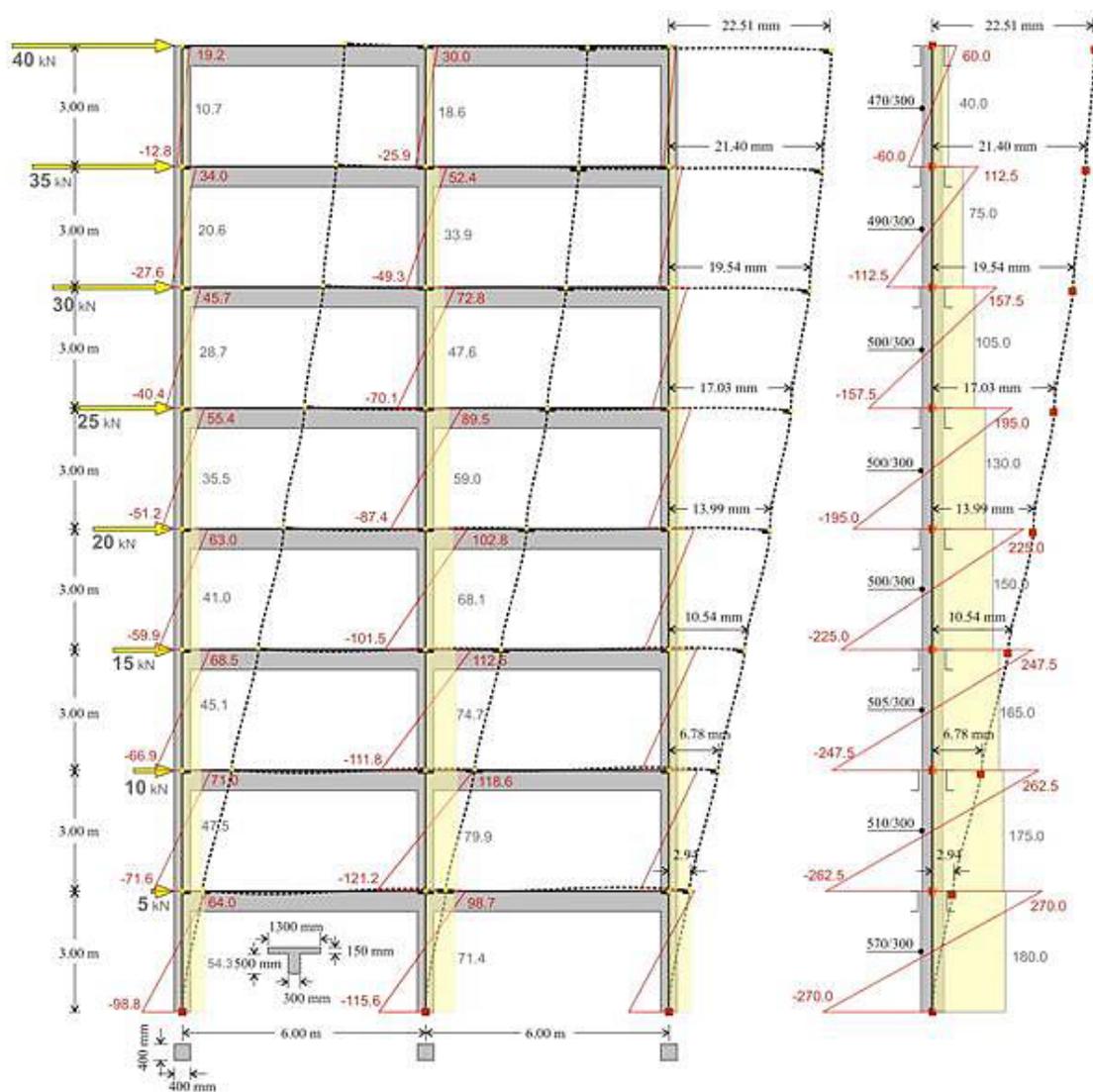


Рис. 3.12. Графічне зображення 8-х поверхової плоскої каркасної системи під впливом сейсмічного впливу

Після цього, було змодельовано декілька варіацій, що відтворювали аналогічний принцип багатоповерхової забудови (восьмими та п'ятнадцяти-поверхові).

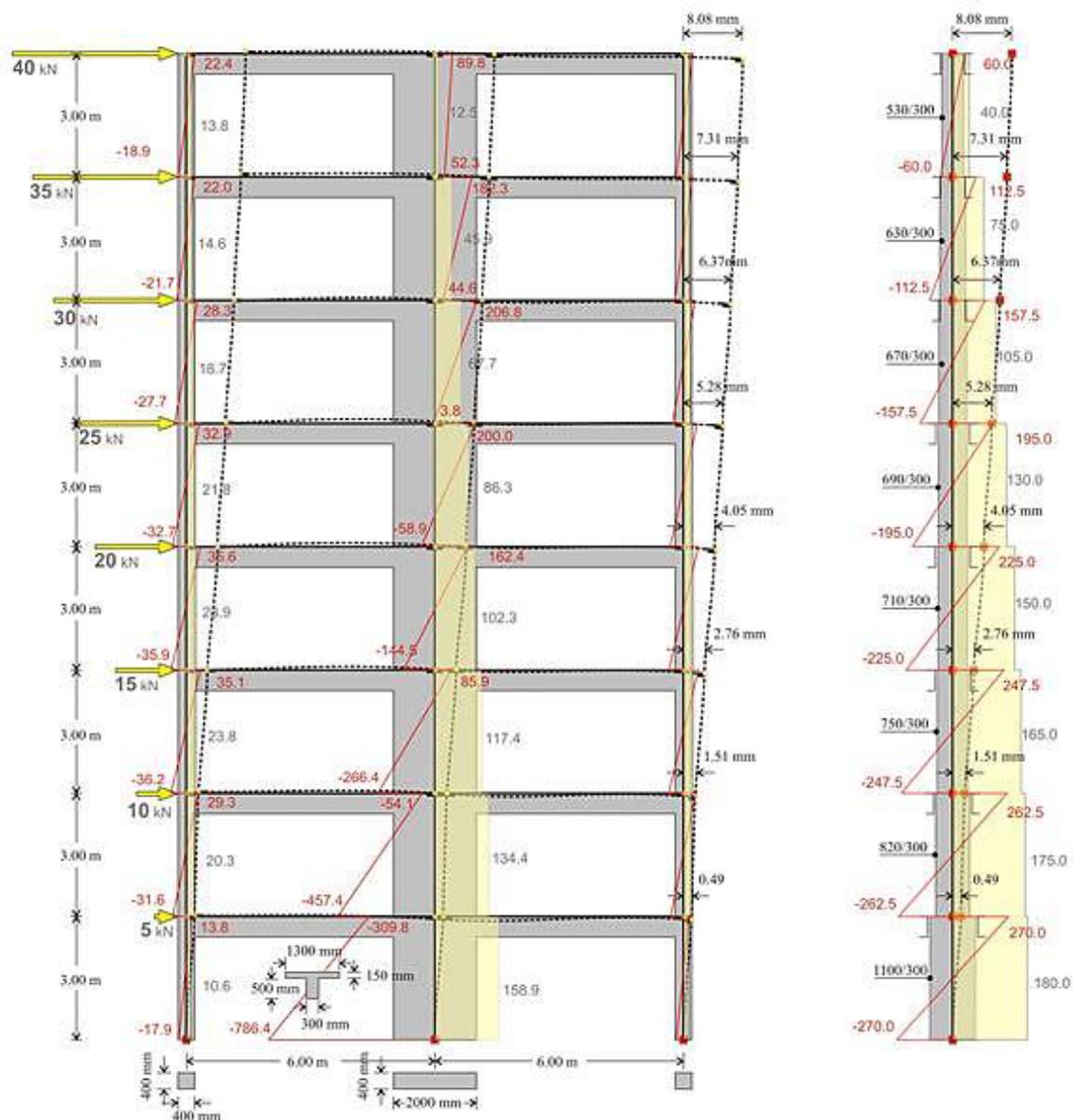


Рис. 3.13. Графічне зображення 8-и поверхової плоскої системи подвійного типу під впливом сейсмічного впливу

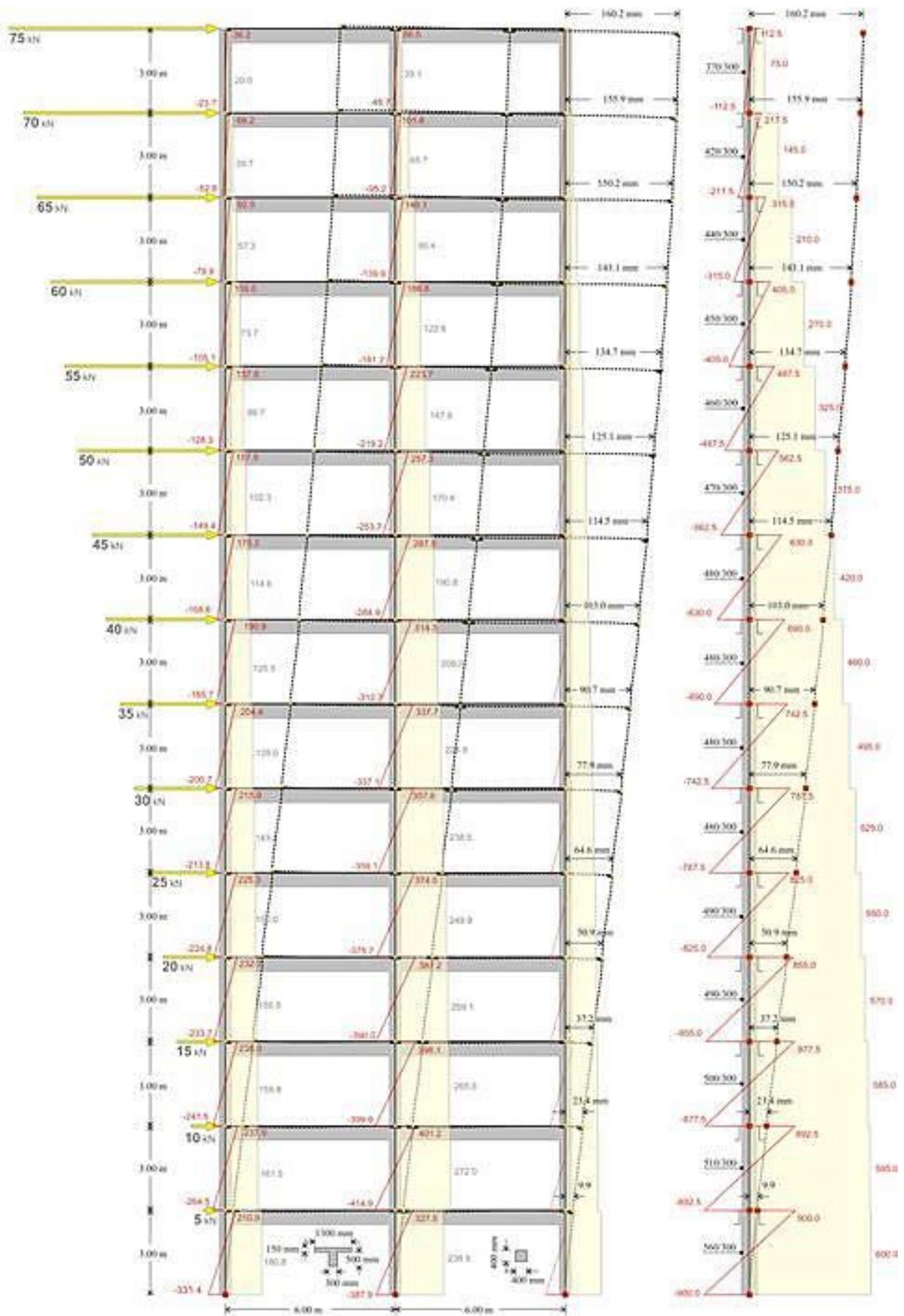


Рис. 3.14. Графічне зображення 15-и поверхової каркасної системи під впливом сейсмічного впливу

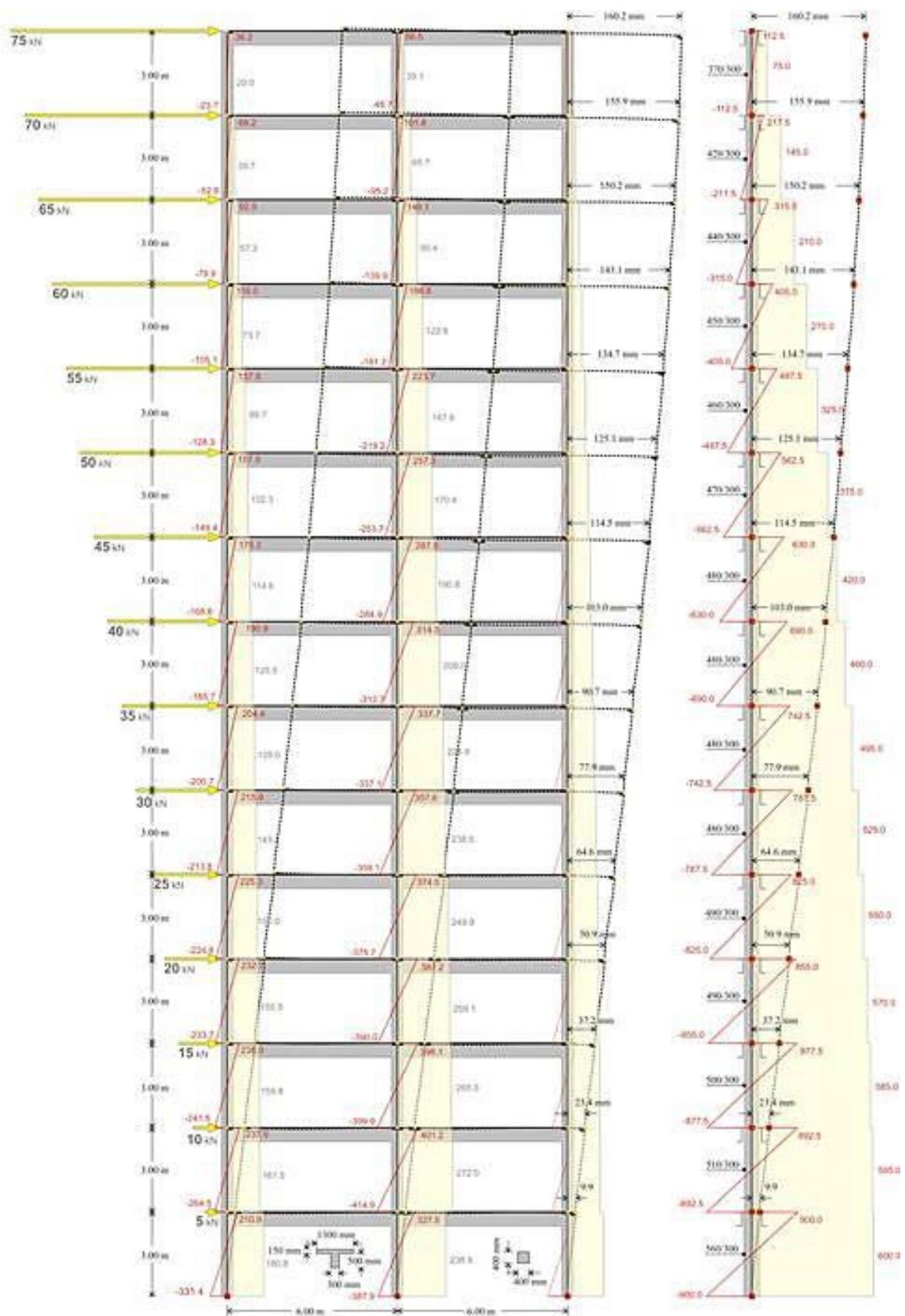


Рис. 3.15. Графічне зображення 15-и поверхової плоскої системи подвійного типу під впливом сейсмічного впливу

Найбільший зсув конструкції рамної досягає 160 мм, що майже вдвічі перевищує аналогічний показник для конструкції з подвійним типом (75 мм). Необхідно відзначити, що в усіх наведених вище випадках ключовим є зіставлення двох конструктивних систем, а не конкретні значення, котрі залежать від величини сейсмічних навантажень. Ці навантаження були задані умовно, але повністю відповідають вимогам розподілу трикутного.

Таким чином, було встановлено, що двокомпонентні системи виявляють кращу реакцію на сейсмічні навантаження, ніж еквівалентні рамні конструкції (див. таблицю 3.1). У подальшому, при визначенні оптимального типу фундаменту для будівлі, буде використана схема каркасно-стінової конструкції (двокомпонентного типу).

Таблиця 3.1 Застосовані способи розрахунку

Характеристика	Тип системи споруди		Практичне значення
	Каркасний	Подвійний	
Значення переміщень	значні	незначні	Критична роль широких деформаційних швів для компенсації сейсмічних впливів у каркасних спорудах
Здатність цегляних стін витримувати сейсмічні навантаження	незначна	значна	За нормами взагалі йде заборона використовувати крихкі стіни
Зміна міжповерхових відносних деформацій і величин жорсткості	незначна	значна	У дуальних системах нижні поверхи споруди ефективніше підсилюються стінами, а верхні – рамами. Важливою умовою є

			узгоджена взаємодія каркасу та стін у спільній роботі (дуальній системі).
Ефективність фундаментів	незначна	значна	Оптимальним рішенням для зведення стін є використання стін підвалу, що гарантують надійну фіксацію в їх основі. Альтернативно, стіни слід встановлювати на фундаментні балки з високими показниками міцності
Ефективність зсуву	незначна	значна	При проектуванні здвоєних конструкцій, на відміну від каркасних, необхідно враховувати явище горизонтального зсуву, яким в останніх можна знехтувати
Ефективність тіл твердих	незначна	значна	Вплив жорстких тіл суттєво позначається на проектуванні багатомасових систем і потребує обов'язкового врахування. Натомість, під час розробки рамних конструкцій ним зазвичай можна знехтувати

3.3. Здійснення обґрунтованого вибору оптимальної конструкції фундаменту для імітаційної моделі споруди

Далі необхідно визначити найбільш ефективну систему фундаменту, виходячи з прийнятої моделі будівлі (наявність стін у схемі, подвійний тип).

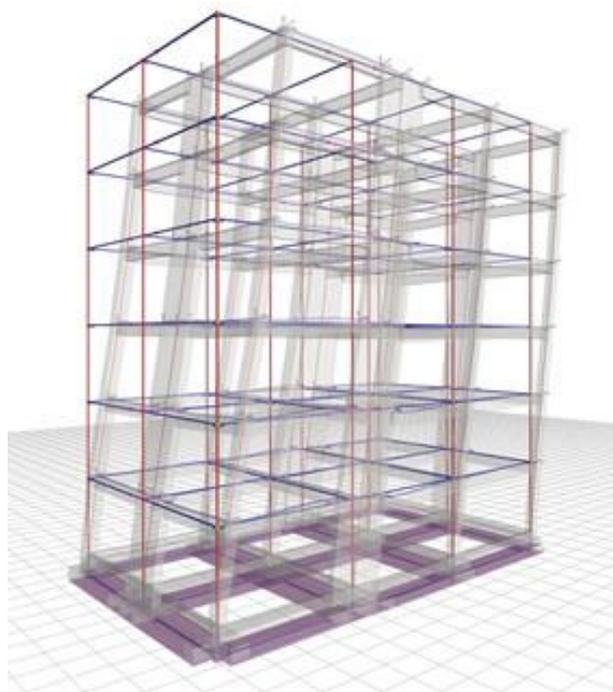
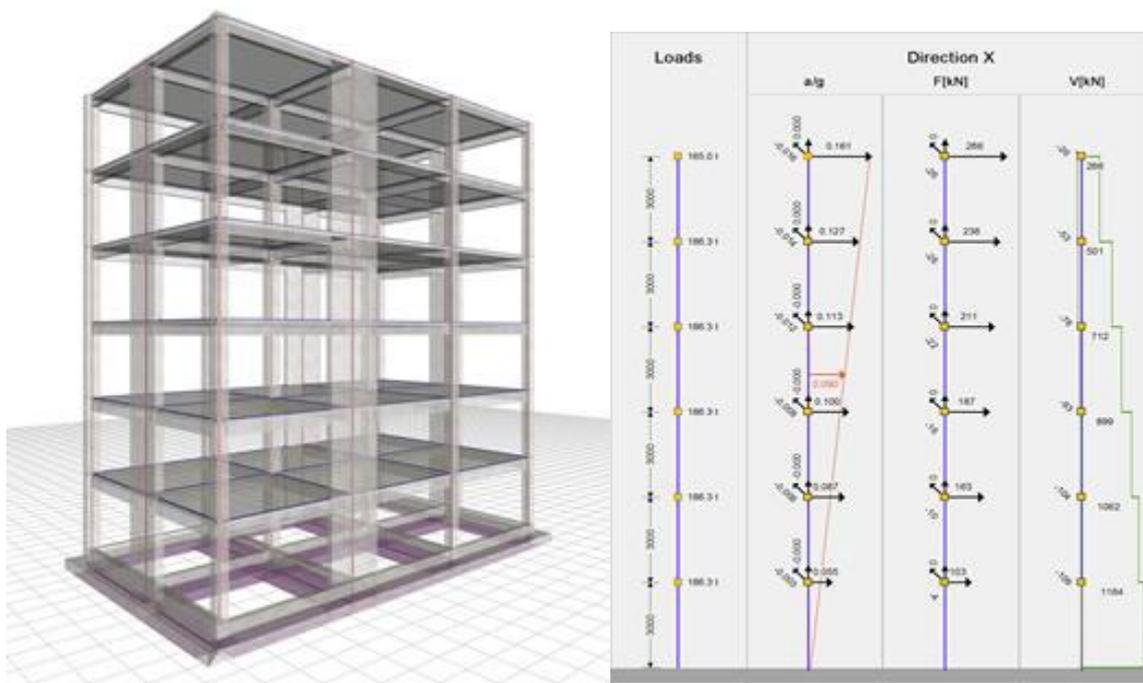


Рис. 3.16. Конструктивна схема будівлі з несучим каркасом і стінами, що спираються на балочний фундамент

У процесі моделювання каркаса будівлі зі стінами, що спираються на балочний фундамент, виявлено, що розміри поперечних перерізів несучих балок є недостатніми для компенсації значних згинальних моментів, що передаються від стін по зовнішньому контуру споруди. Це призводить до зсуву системи у напрямку осі y та її спрощення до еквівалентної двостінної системи із сумарним розподіленим навантаженням $q = 3.00$. Переміщення цієї системи по осі x становить 21.3 мм, тоді як для відповідної рамної конструкції цей показник дорівнює 25.7 мм.

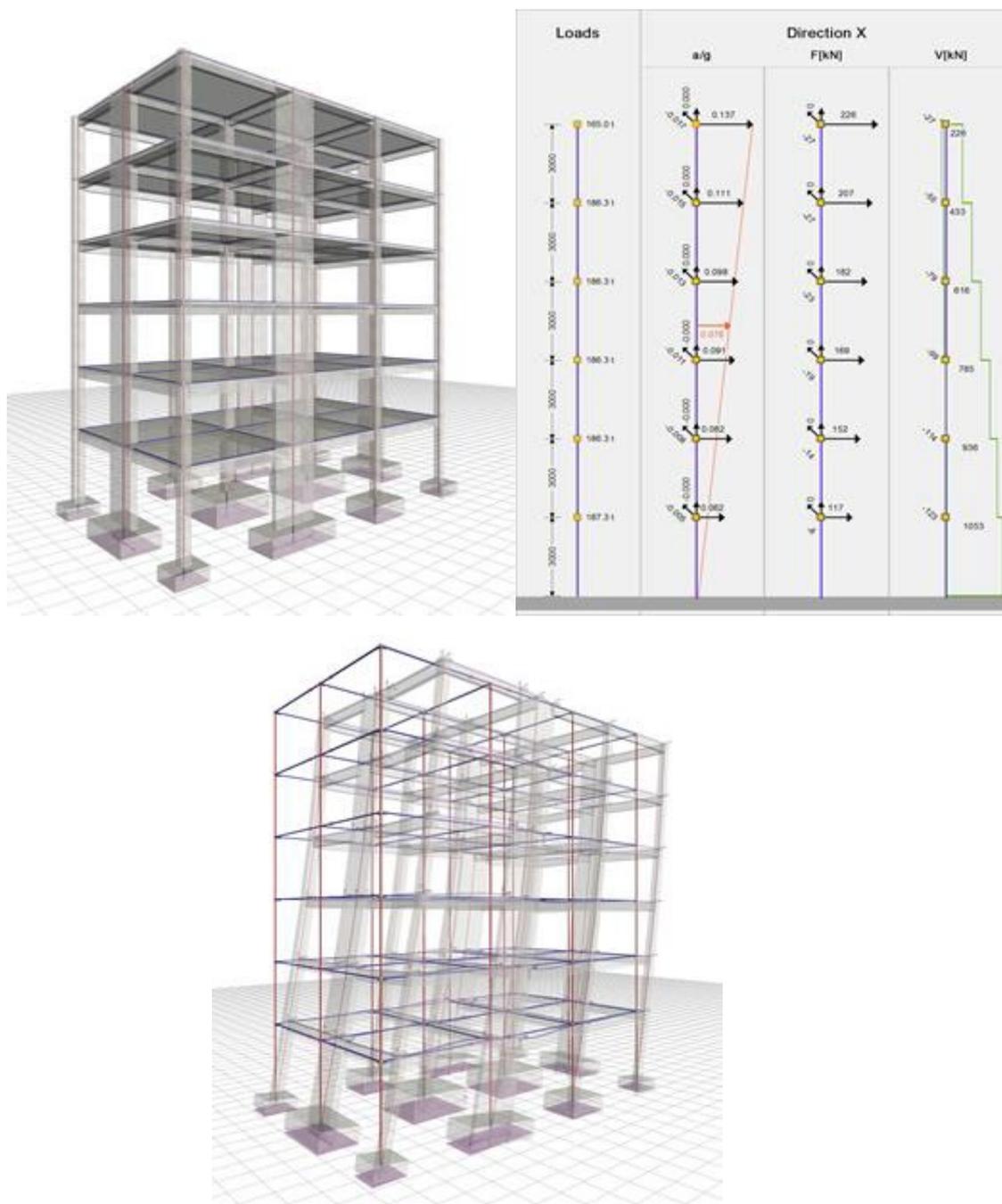


Рис. 3.17. Конструктивна схема будівлі з несучим каркасом і стінами, що спираються на стовпчастий фундамент

При створенні моделі конструкції будівлі з каркасом і стінами, що спираються на стовпчастий фундамент, в обох напрямках, конструкція поводить як комбінована система, що імітує стіну. Це відбувається через зниження жорсткості стіни, спричинене обмеженою здатністю ґрунту чинити опір обертанню. У такому випадку, ситуацію можна суттєво покращити, застосувавши потужні ростверки.

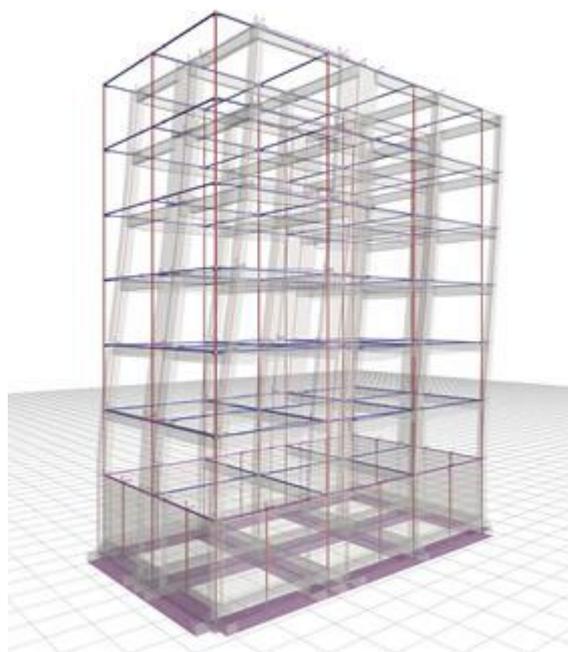
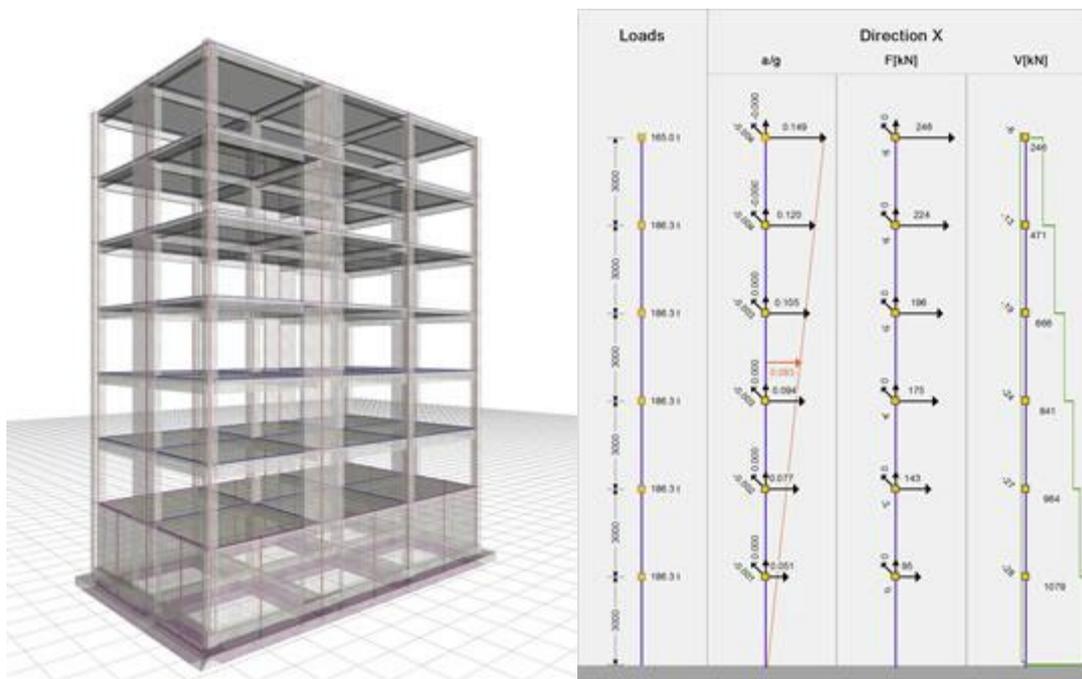


Рис. 3.18. Схема конструкції будівлі з зовнішніми стінами та підвальним поверхом, що охоплює всю площу основи

Слід зауважити, що в усіх розглянутих варіантах основний період власних коливань приблизно дорівнює 0.700 секунди. У випадку, якщо жорсткість конструктивних елементів відповідає повній пружності, то значення періодів коливань знижуються до близько 0.500 секунди. Загалом, стінова система демонструє більш ефективну поведінку в порівнянні з каркасною, особливо коли наявний підвальний поверх з зовнішніми стінами по периметру.

3.3. Збереження моделі споруди з RFEM 6 у форматі, сумісному з Tekla Structures

Після виконання необхідних розрахунків і затвердження оптимальної схеми, було здійснено передачу моделі об'єкта дослідження до програмного комплексу Revit Structures (див. рис. 3.19).

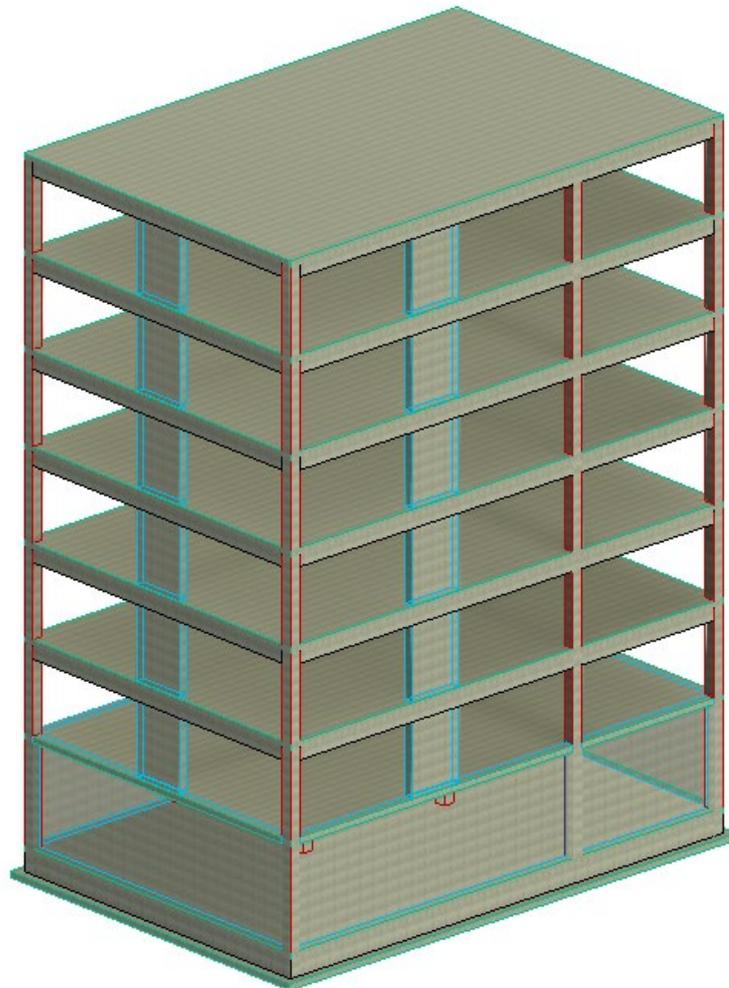


Рис. 3.19. Параметрична тривимірна модель об'єкта дослідження у Revit Structures.

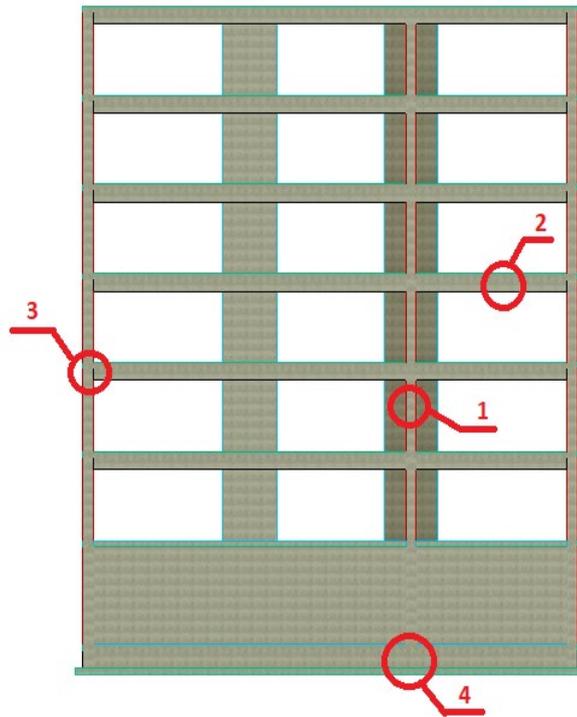


Рис. 3.20. Двовимірна модель будівлі

На проєктувальному етапі необхідно враховувати вимоги до деформаційних характеристик елементів несучої конструкції будівлі. Деформаційність – це здатність залізобетонних елементів зазнавати деформацій після досягнення граничного стану без руйнування. Деформаційність, тобто здатність елемента деформуватися за межами пружної поведінки, стосується згину та передбачає достатню міцність на поперечний зсув. Тому розрахунок на поперечний зсув базується на забезпеченні міцності елементів, щоб уникнути можливого руйнування від зсувних зусиль.

Згодом, на основі створеної моделі, був реалізований комплекс заходів, що відповідають актуальним стандартам сейсмостійкості.

Для забезпечення надійної роботи колони армування виконується за допомогою поперечної арматури (хомутів) зі спеціальними загнутими кінцями (див. малюнок 3.21). Загнуті кінці (гаки) відіграють важливу роль у забезпеченні належної роботи хомутів, особливо при значних сейсмічних навантаженнях. У випадках розтріскування бетону, гаки стають основним елементом, що утримує хомут на місці. Рекомендується розміщувати хомути з інтервалом не більше 200 мм (наприклад, для колони розміром 500×500 мм слід

передбачати три хомути в межах одного ярусу). Залежно від впливу факторів навколишнього середовища протягом експлуатації будівлі, (див. рис. 3.22) звичайна мінімальна товщина захисного шару бетону для арматурних стержнів колон зазвичай варіюється у межах 0.025-0.035 метрів.

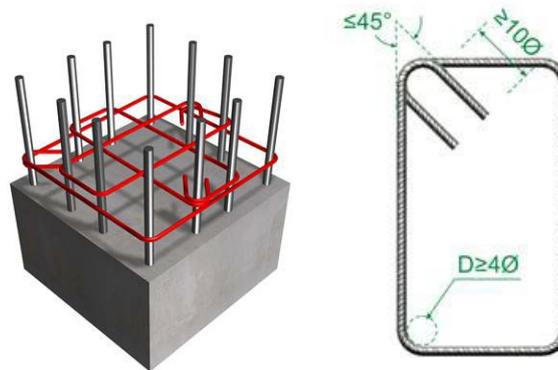


Рис. 3.21. Вигляд хомутів, застосовані у колоні

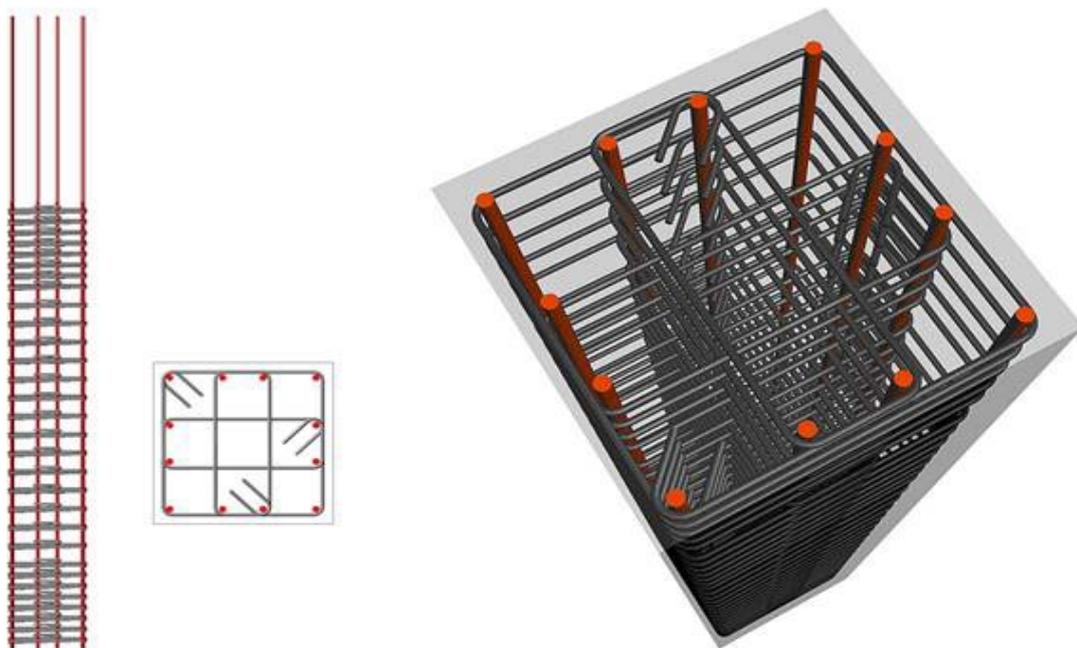


Рис. 3.22. Схема армування колони для забезпечення необхідної деформативності

Нижня арматура балки потребує такого ж надійного закріплення, як і верхня. Це пояснюється тим, що під час сейсмічних подій, особливо сильних землетрусів, розтягуючі зусилля та, відповідно, поперечні тріщини, постійно

змінюють своє розташування. При цьому в нижній частині опор можуть виникати значні напруження розтягу. Для забезпечення міцності балки необхідно передбачити велику кількість ефективної поперечної арматури, наприклад, густо розташовані та якісно закріплені хомути. Це потрібно для протидії високим діагональним напруженням, які, в свою чергу, викликають великі тріщини похилі по діагоналі, що змінюють своє направлення при землетрусі (рис. 3.23).

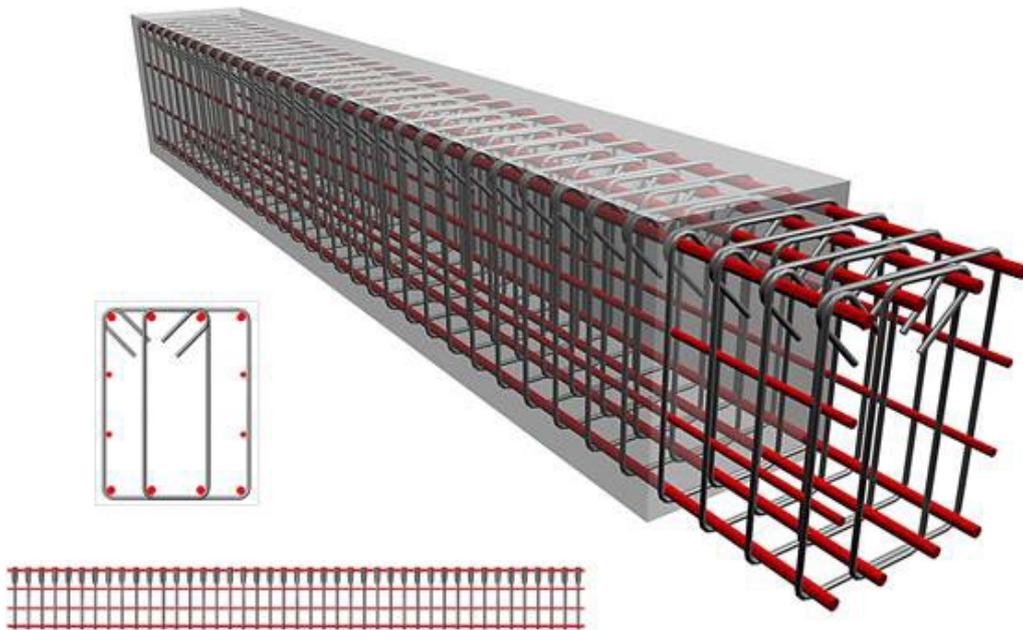


Рис. 3.23. Схема армування балки, розроблена для забезпечення значної деформаційної здатності

У балках мінімальна товщина захисного шару для арматури зазвичай коливається у межах 25-35 мм. Ця величина залежить від кліматичних умов, в яких експлуатуватиметься споруда: для сухого клімату достатньо 25 мм, а для приморських зон рекомендується 35 мм. Хомути балки необхідно надійно фіксувати за допомогою додаткового арматурного стержня, оскільки вони відіграють ключову роль у передачі навантаження від арматури.

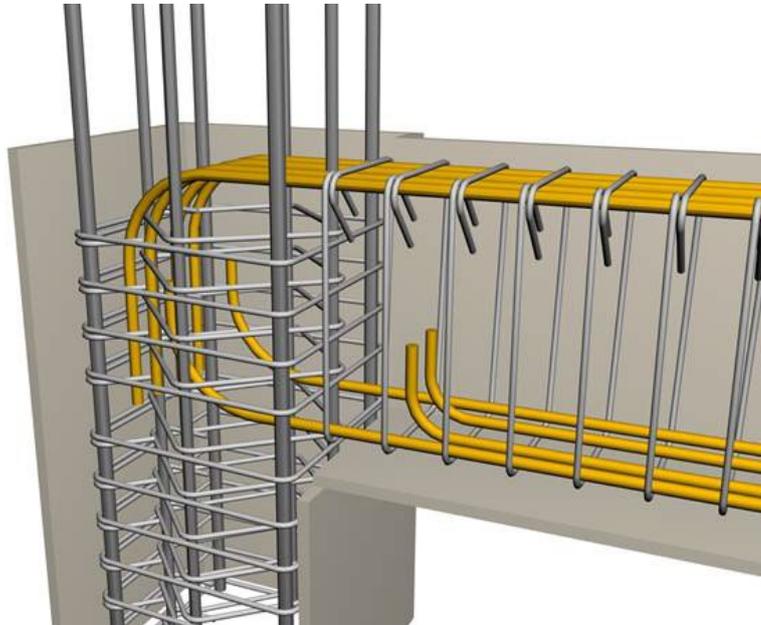


Рис. 3.24. Схема взаємного з'єднання арматури балки і колони

Під час сейсмічних впливів, крайні ділянки стрічкових фундаментів піддаються значним навантаженням. Оскільки на протяжних відрізках стрічкового фундаменту деформація має безперервний та змінний характер, необхідно забезпечити інтенсивне армування як верхньої, так і нижньої зон, приділяючи особливу увагу першому та останньому прогону нерозрізного фундаменту стрічкового (див. рисунок 3.25).

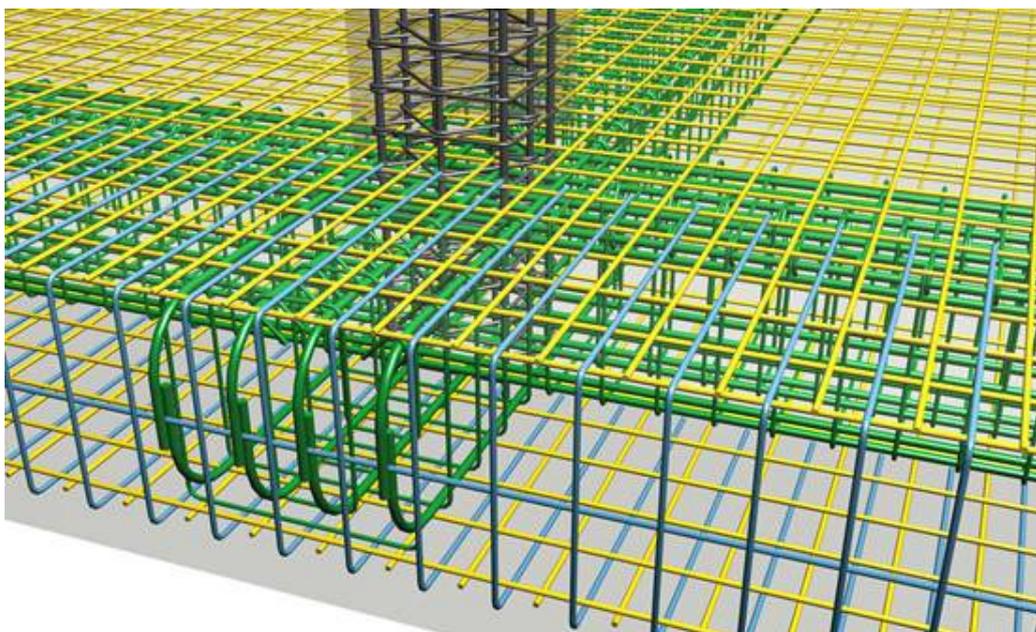


Рис. 3.25. Схема армування фундаменту стрічкового

Висновки по розділу 3

1. Стійкість будівель до землетрусів суттєво визначається їхньою формою, розміщенням та видом конструктивних елементів. Наявні дані в цій сфері досліджень здебільшого мають практичний досвід. Зважаючи на об'ємну роботу споруд та обмежену швидкість поширення сейсмічних хвиль під ними за умов справжнього сейсмічного впливу, необхідні подальші вивчення.

2. Результати аналізу виконаних досліджень засвідчили, що наявні, впроваджені в практику моделі та методи обчислення рамних будівель і споруд, не в достатній мірі враховують специфіку пошкоджень, що виникають при сейсмічних збуреннях. У процесі проєктування будівель, досягнення абсолютної стійкості до динамічних навантажень є складним завданням.

3. Детальний аналіз чутливості до сейсмічних впливів показав, що належне врахування конструктивних особливостей фундаментів та підземних споруд є критично важливим. Основна частина сейсмічного навантаження передається через ґрунти, яким часто приділяється недостатня увага в процесі проєктування, що може мати значний вплив на поведінку будівлі.

4. При розробці проєктів критично важливих об'єктів (зокрема, класу наслідків ССЗ) у непростих геологічних обставинах потрібно брати до уваги цілий спектр чинників та положень, виконання яких сприятиме дієвому функціонуванню, безпечності та тривалому терміну служби будівель. Впровадження інноваційних конструктивних підходів вимагає проведення належних досліджень, зокрема, як у реальних умовах, так і в лабораторіях.

5. При розробці проєктів нових житлових будівель важливо відмовлятися від шаблонних рішень і враховувати варіативність сейсмічних характеристик місцевості, оскільки вони можуть значною мірою впливати на стійкість будівлі чи споруди.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проведено всебічне дослідження особливостей впливу сейсмічних навантажень на споруди, враховуючи їхню геометричну форму, місцезнаходження, тип основних несучих конструкцій та вид фундаменту.

2. У програмі RFEM 6 було проведено серію імітацій, щоб дослідити реакцію будівель з плоскою рамою різної висоти (4, 8 і 15 поверхів) на сейсмічний вплив. У ході цих моделювань було проаналізовано динамічну поведінку двох різних типів плоских рам: каркасної (яка складається лише з колон) та комбінованої (яка поєднує колони та стіни, розташовані у центральній частині споруди).

3. Під час моделювання впливу сейсмічних навантажень виявлено, що найбільша деформація 15-поверхової каркасної будівлі сягає 160 мм, що майже вдвічі перевищує відповідний показник для конструкції дуальної схеми (75 мм). Отримані дані підкреслюють потребу в подальшому застосуванні розширеного антисейсмічного шва між висотними будинками з каркасною конструктивною схемою.

4. На основі моделювання було встановлено, що в подвійних системах, стіни демонструють ефективну роботу на нижніх рівнях, тоді як колони - на верхніх. Відтак, для успішної реалізації цього в будівництві, необхідно гарантувати міцну взаємодію між каркасами та стінами в структурі.

5. Найбільш обґрунтованим варіантом фундаменту для даної моделі будівлі є фундамент з підвальними стінами, розташованими по всьому периметру споруди (власна частота коливань становить 0.7 с).

6. Комп'ютерна модель споруди була передана з RFEM 6 до Autodesk Revit. У середовищі Revit було реалізовано низку дієвих конструктивних заходів, що узгоджуються з актуальними стандартами сейсмостійкості. Зокрема, передбачено посилене армування стовпів з використанням хомутів, розміщених з кроком 200 мм, застосування балок з підвищеною пластичністю, армування плит перекриття з використанням спеціальних пластикових фіксаторів, а також різноманітні способи посилення армування фундаментів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В 1.1-12:2014. Будівництво у сейсмічних районах України. Мінрегіонбуд, України. 2014. – 80 с.
2. Dorofeev, V., Iegurov, K., Soroka, M., & Murashko O. Проблеми наукового супроводу проектування будинків підвищеної поверховості в місті Одеса. Наука та будівництво – 2019. 19(1), 38-45.
3. ДСТУ – НБ EN 1998-1:2010. Проектування в сейсмічнонебезпечних районах. Основні положення. Загальні правила, сейсмічні заходи та правила щодо будівель. 2010. – 47 с.
4. Науково-технічний супровід будівельних об'єктів: ДБН В.1.2-5:2007 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів / Мінрегіонбуд України. – К.: ДП «Укрархбудінформ». – К., 2007. – 120 с.
5. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Шкала сейсмічної інтенсивності: ДСТУ Б В.1.1- 28:2010. – [Чинний від 2011.10.01]. - К.: ДП «Укрархбудінформ», 2011. – 47 с. – (Державний стандарт України).
6. ДСТУ-Н Б EN 1998-2: 2012 Єврокод 8. 2021. – с 230.
7. Айзенберг Я.М., Кілимник Л.Ш. О критеріях оптимального проектування та параметрах граничних станів споруд при розрахунках на сейсмічні впливи. Будівельна механіка та розрахунок споруд. 1970. – с. 29-34.
8. Немчинов Ю.І. Сейсмостійкість будівель і споруд. Київ.2008. – с. 480.
9. Немчинов Ю. І. Метод просторових кінцевих елементів (з додатку до розрахунку будівель і споруд) : монографія / Ю. І. Немчинов. Київ. видавництво НІІ будівельні конструкції, 1995. - с.368.
10. Немчинов Ю. І., Мар'єнков Н.Г., Бабик К.Н. Застосування методу спектру несучої здатності при розрахунках конструкцій на сейсмічні впливи з урахуванням нелінійного деформування. Будівельні конструкції. Київ. ДП НДІБК. 2005. - с. 11-19.
11. Немчинов Ю.І., Хавкін О.К., Мар'єнков М.Г., Бабік К.М. Сейсмостійке будівництво в Україні: стан експериментально-теоретичних досліджень та розробка нормативної бази. Будівельні конструкції. Київ. ДП НДІБК. №81. 2014. - с. 34-44.

12. Немчинов Ю.І., Мар'єнков М.Г., Калюх Ю.І., Домбровський Я.І., Шумінський В.Д. Врахування сейсмічних впливів на стійкість схилів в ДСТУ-Н Інженерний захист територій, будівель і споруд від зсувів та обвалів. Будівельні конструкції. Київ. ДП НДІБК. №83. 2016. - с. 229-239.

13. Bogdan D.V., Nemchynov Yu.I., Tarasyuk V.G., Fesenko O.A. Prigrressive collapse of buildigs. International experiens and Ukraine application. Journal International Journal of Engineering Research and Develoment. Volume 15.2019. pp. 29-40.

14. Немчинов Ю.І. Сейсмостійкість висотних будівель. Міжнародні досягнення та український досвід. Сейсмостійке будівництво. Безпека споруд. №3.2019. - с. 30-45.

15. Немчинов Ю.І. Особливості будівництва в сейсмостійких районах України та вдосконалення норм проектування будівель і споруд. Безпека споруд. №1.2019. - с. 8-15.

16. Мар'єнков Н.Г., Немчинов Ю.І., Хавкін А.К., Бабик К.Н. Проектування будівель із певним рівнем забезпечення сейсмостійкості. 2012. - с. 384.

17. Мар'єнков М.Г., Колчунов В.І., Бабік К.М., Максименко В.П. Розрахункова оцінка сейсмостійкості залізобетонної стіни монолітної будівлі. Науково-Технічний Збірник “Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві”. Київ. 2010. № 2 (9). - с.37-44

18. Дорофеев В.С., Мурашко А.В., Бенраді И. Використання світового досвіду при визначенні факторів української системи візуальної оцінки сейсмостійкості. Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій. Київ. 2015. Вип. 82. - с. 118-124

19. Ruifang Yu, Xiao Hu, Ruizhi Wen. Preface to the special issue on ground motion input at dam sites and reservoir earthquakes. 2020, 35(5): с. 311-313.

20. Циганенко Л.А., Петренко А.П. Дослідження роботи монолітного каркасу будівлі при дії сейсмічних навантажень. Експлуатація та реконструкція будівель і споруд: матеріали VI міжнародної конференції – Одеса: ОДАБА, 2025. – с. 211.

21. Циганенко Л.А., Петренко А.П. Оцінка функціонування монолітного каркасу будівлі в умовах сейсмічної активності. Modern Movement of Science: Proceedings of the 17th International Scientific and Practical Internet Conference, October 16-17, 2025. – FOP Marenichenko V.V., Dnipro, Ukraine, 2025. – Pp. 238-239.

Спектральний метод розрахунку

При визначенні розрахункових значень горизонтальних сейсмічних навантажень на будівлі та споруди висотою H , що перевищує в два і більше разів його ширину і довжину L , допускається приймати розрахункову схему (рис. 1.2, а) у вигляді багатомасового пружно-деформованого консольного стрижня, жорстко заробленого в основу, що несе зосереджене навантаження вагою Q_k , на рівні перекриття, і здійснює коливальний рух по одному з напрямків (x або y).

При ширині споруди, меншій в три і більше разів відносно двох інших його розмірів (H і L) допускається приймати розрахункову схему (рис. 1.2, б) у вигляді багатомасової пружно-деформованої перехресної системи з зосередженими у вузлах навантаженнями, розташованими на рівні перекриття. Як правило, рекомендується використовувати просторові розрахункові динамічні моделі із зосередженими у вузлах навантаженнями (рис. 1.2, в).

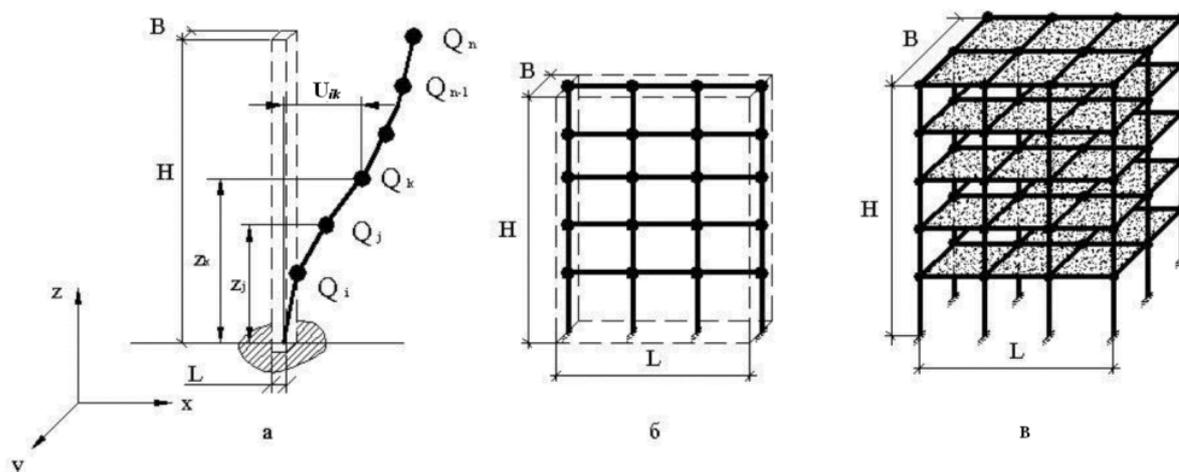


Рис. 1. Схеми для спектрального методу розрахунків: а - для багатомасового консольного стрижня; б – для багатомасової перехресної системи; в - для просторової динамічної моделі.

Розрахункове значення горизонтального сейсмічного навантаження S_{ki} , прикладеного до точки k і відповідне i -ої форми власних коливань будівлі або споруди, слід визначати за формулою:

$$S_{ki} = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot S_{0ki} ,$$

де k_1 – коефіцієнт, що враховує непружні деформації та локальні пошкодження елементів будівлі (приймається за п. 2.3 ДБН В.1.1-12:2014);

k_2 – коефіцієнт відповідальності споруд (приймається за п. 2.4 ДБН В.1.1-12:2014);

k_3 – коефіцієнт, що враховує поверховість будівлі (застосовується якщо споруда має висоту понад 5 поверхів);

S_{0ki} - горизонтальне сейсмічна навантаження за i -ою формою власних коливань споруди, яке визначається припущенням пружного деформування конструкцій за формулою:

$$S_{0ki} = Q_k \cdot a_0 \cdot k_{гр} \cdot \beta_i \cdot \eta_{ki}$$

де Q_k - навантаження, що відповідає зосередженому навантаженню в точці k і визначається з урахуванням коефіцієнтів (згідно з п. 2.1.1 ДБН В.1.1-12:2014);

a_0 - відносне прискорення ґрунту, яке приймається рівним 0,05; 0,1; 0,2 та 0,4 відповідно для районів сейсмічності 6, 7, 8 та 9 балів; при використанні карт А та В - залежно від розрахункових значень a_0 згідно п. 2.5 ДБН В.1.1-12:2014);

$k_{гр}$ - коефіцієнт, що враховує нелінійне деформування ґрунтів, вводиться, якщо визначення сейсмічності майданчика виконано на основі матеріалів інженерно-геологічних вишукувань (згідно з табл. 1 ДБН В.1.1-12:2014).

β_i – спектральний коефіцієнт динамічності, що відповідає i -й формі власних коливань будівлі або споруди (приймається згідно п. 2.3.2 ДБН В.1.1-12:2014);

η_{ki} - коефіцієнт, що залежить від форми власних коливань будівлі або споруди та від місця розташування навантаження.

Прямий динамічний метод розрахунку із застосуванням розрахункових сейсмічних впливів як функцій часу

Прямі динамічні розрахунки будівель та споруд слід виконувати з використанням розрахункових акселерограф:

$$a_{i(t)} = A_i y_{i(t)},$$

де i – номер складової вектора коливань;

A_i - максимальне значення амплітуди прискорень;

$U(t)$ - нормована на одиницю функція, що описує коливання ґрунту в часі.

Амплітуди синтезованих акселерограм залежно від сейсмічності майданчика (6, 7, 8 і 9 балів) необхідно множити у всіх випадках при виконанні прямих динамічних розрахунків будівель та споруд на масштабний коефіцієнт відповідно 0,5; 1,0; 2,0 та 3,3.

Значення сейсмічних навантажень, переміщень та деформацій конструкцій слід визначати з урахуванням особливостей нелінійного деформування конструкцій.

При роздільному використанні в розрахунках будівель та споруд на дію горизонтальних та вертикальних компонентів акселерограм слід приймати найнебезпечніші напрямки сейсмічних впливів.

Прямі динамічні розрахунки будівель із системами сейсмоізоляції, з адаптивними системами сейсмозахисту (включаються та вимикаються зв'язками), динамічними гасниками коливань, демпфуючими пристроями та іншими сейсмозахисними елементами слід виконувати за наукового супроводу та за участю спеціальних організацій.

При оцінюванні сейсмостійкості та розрахунках кріплення обладнання, встановленого на перекриттях будівлі або споруди, а також щодо сейсмічних навантажень на сталеві конструкції верхніх надбудованих поверхів необхідно виконувати розрахунок поверхових акселерограм та поверхових спектрів відповідно.

Матеріали конференції

Міністерство освіти і науки України
Одеська державна академія будівництва та архітектури
Одеська міська рада
University North (Хорватія)
ДП «Державний науково-дослідний інститут
будівельних конструкцій»
Академія будівництва України

Тези доповідей

VI МІЖНАРОДНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕКОНСТРУКЦІЯ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД

25-26 вересня 2025 року

Одеса, ОДАБА
2025

УДК 624.021

Е 41

*Рекомендовано до друку Вченою Радою
Одеської державної академії будівництва та архітектури
(протокол № 3 від 2 серпня 2025 р.)*

Е 41 **Експлуатація та реконструкція будівель і споруд** : тези доп. VI міжнар. конф. — Одеса : ОДАБА, 2025. — 216 с.
ISBN 978-617-8365-06-6

Редакційна колегія:

Ковров А.В., к.т.н., професор (головний редактор); **Клименко Є.В.**, д.т.н., професор; **Кровяков С.О.**, д.т.н., доцент; **Гриньова І.І.**, к.т.н.

Збірник містить виклад основних положень доповідей, виголошених на пленарному та секційних засіданнях VI Міжнародної конференції «Експлуатація та реконструкція будівель і споруд», яка відбулася в Одеській державній академії будівництва та архітектури 25-26 вересня 2025 року. Широкий спектр наукових проблем дає змогу ознайомитися з результатами нових досліджень з експлуатації та реконструкції будівель та споруд.

Розрахований на студентів, освітян, науковців та всіх, хто цікавиться актуальними проблемами реконструкції.

The collection contains an outline of the main provisions of the reports presented at the plenary and section meetings of the V International conference “Operation and reconstruction of buildings and structures”, held at the Odessa state academy of civil engineering and architecture 25-26 of September 2025. A wide range of scientific problems allows you to get acquainted with the results of new research on the operation and reconstruction of buildings and structures.

Designed for students, educators, scientists, and anyone interested in current reconstruction issues.

Опубліковані статті відбивають погляди авторів, які не завжди збігаються з думкою редакційної колегії. Матеріали подаються в авторській редакції. За точність цитувань редакційна колегія відповідальності не несе.

УДК 624.021

Е 41

ISBN 978-617-8365-06-6

© **Одеська державна академія будівництва та архітектури, 2025**

© **Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, 2025**

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ МОНОЛІТНОГО КАРКАСУ БУДІВЛІ ПРИ ДІЇ СЕЙСМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Циганенко Л.А., к.т.н., доц., Петренко А.П., здобувач
(Сумський національний аграрний університет)

Виконано ретельне вивчення специфіки того, як сейсмічні навантаження впливають на будівлі, з урахуванням їх геометричних планувань, розташувань та видів їх фундаментальних структурних компонентів та типу фундаменту.

Для варіаційного моделювання поведінки плоскокаркасної будівлі з чотирма, вісьмома та п'ятнадцятьма поверхами відповідно під впливом сейсмічного навантаження було використано RFEM 6. У моделюванні було розглянуто два варіанти плоских каркасів: каркасна схема, яка включала лише колони, та подвійна схема, яка включала стіни та колони в центрі конструкції.

Під час моделювання сейсмічних сил було виявлено, що п'ятнадцяти поверхова каркасна конструкція може переміщуватися до 160 мм, що майже вдвічі більше, у порівнянні з конструкцією, яка має подвійний тип (75 мм). Це говорить про необхідність улаштування додаткових сейсмічних швів між багатоповерховими будівлями з каркасними конструкціями.

Згідно з результатами моделювання, у подвійних системах колони сприятливо поведуться на верхніх поверхах, а стіни – на нижніх. Фактично, це вимагає надійної взаємодії між стінами та каркасами конструкції.

Найбільш оптимальним варіантом фундаменту для даної моделі вважається фундамент із підвальними стінами по всьому периметру споруди (значення власного періоду форми коливань складає 0,7 с).

Об'єкт дослідження, модель будівлі, було передано з RFEM 6 до Autodesk Revit. У середовищі Revit були реалізовані прогресивні проектні рішення, спрямовані на підвищення сейсмостійкості споруди згідно з діючими стандартами.

Було передбачено посилене армування колон з використанням поперечної арматури з кроком 200 мм, застосування балок з підвищеними вимогами до деформативності, армування плит перекриття з використанням спеціальних пластикових фіксаторів арматури, а також різноманітні типи посиленого армування фундаментів.

WayScience

17th International Scientific
and Practical Internet Conference

«Modern Movement of Science»
ISBN 978-617-8293-56-7

Editorial board of International Electronic Scientific and Practical Journal «WayScience»
(ISSN 2664-4819 (Online))

The editorial board of the Journal is not responsible for the content of the papers and may not share the author's opinion.

Modern Movement of Science: Proceedings of the 17th International Scientific and Practical Internet Conference, October 16-17, 2025. FOP Marenichenko V.V., Dnipro, Ukraine, 270 p.

ISBN 978-617-8293-56-7

17th International Scientific and Practical Internet Conference "Modern Movement of Science" devoted to the main mission of the International Electronic Scientific and Practical Journal "WayScience" - to pave the way for development of modern science from idea to result.

Topics cover all sections of the International Electronic Scientific and Practical Journal "WayScience", namely:

- public administration sciences;
- philosophical sciences;
- economic sciences;
- historical sciences;
- legal sciences;
- agricultural sciences;
- geographic sciences;
- pedagogical sciences;
- psychological sciences;
- sociological sciences;
- political sciences;
- philological sciences;
- technical sciences;
- medical sciences;
- chemical sciences;
- biological sciences;
- physical and mathematical sciences;
- other professional sciences.

Dnipro, Ukraine – 2025

ОЦІНКА ФУНКЦІОНУВАННЯ МОНОЛІТНОГО КАРКАСУ БУДІВЛІ В УМОВАХ СЕЙСМІЧНОЇ АКТИВНОСТІ

Циганенко Л.А.

к.т.н., доцент

Сумський національний аграрний університет

Петренко А.П.

здобувач вищої освіти

Сумський національний аграрний університет

Сейсмостійке будівництво – це комплексний процес проектування та зведення будівель, призначених для безпечної експлуатації під час землетрусів. Він передбачає врахування сейсмічних навантажень та інших впливів, спричинених підземними поштовхами. В Україні функціонує налагоджена система, що забезпечує стійкість будівель до сейсмічних явищ. Ця система включає в себе обов'язкові будівельні норми та правила, які беруть до уваги рівень сейсмічної активності місцевості, вірогідність повторних сейсмічних подій, властивості ґрунтів, важливість об'єкта, його архітектурні та конструктивні особливості, а також інші важливі фактори.

Значення стійкості будівель під час землетрусів значною мірою залежить від їхньої геометрії, планування та типу несучих компонентів. Наявна інформація з цього напрямку досліджень переважно ґрунтується на емпіричних спостереженнях. Враховуючи складну взаємодію конструкції з ґрунтом та обмежену швидкість розповсюдження сейсмічних коливань в основі споруди в умовах реального сейсмічного навантаження, потрібні додаткові дослідження.

Для вивчення кореляції між сейсмічною активністю та деформаціями будівель, а також для подальшого прогнозування різноманітних ситуацій, було розроблено основну модель у вигляді стержневої конструкції з використанням програмного продукту RFEM 6. RFEM, програмне забезпечення для розрахунку будівельних конструкцій, побудоване за модульним принципом. Базовий модуль RFEM використовується для моделювання споруд, визначення характеристик матеріалів та введення навантажень для двовимірних і тривимірних систем, таких як плити, стіни, оболонки, стрижні та балки. Додатково, забезпечується можливість створення комплексних систем шляхом інтеграції твердотільних елементів або моделювання взаємодії між компонентами за допомогою контактних елементів.

Основним несучим елементом конструкції є колона квадратного перерізу. На початковому етапі було здійснено моделювання загальної поведінки плоскої рами, враховуючи різні варіанти закріплення колон. Ступінь защемлення кінця колони визначається співвідношенням жорсткостей колони та з'єднаних з нею балок. Цей параметр змінюється в діапазоні від жорсткого защемлення до шарнірного з'єднання. Оцінено вплив інерційних характеристик колони на величину сейсмічного навантаження, що залежить від габаритів її поперечного перерізу.

Результати проведених досліджень показали, що існуючі та застосовувані на практиці методи й моделі розрахунку рамних будівель і споруд не повною мірою беруть до уваги особливості пошкоджень, спричинених сейсмічними впливами. Під час проектування будівель забезпечення повної нечутливості до динамічних навантажень являє собою непросте завдання.

Ретельний аналіз сейсмічної чутливості підкреслив, що адекватний облік специфіки конструкції фундаментів і підземних елементів є надзвичайно важливим. Значна частка сейсмічного впливу передається через ґрунти, яким нерідко приділяється недостатньо уваги під час розробки проєкту, що може суттєво вплинути на реакцію споруди.

При проєктуванні важливих об'єктів, що зводяться у важких інженерно-геологічних умовах, слід брати до уваги велику кількість аспектів та приписів, додержання яких гарантує результативне функціонування, безпеку та тривалий термін служби будівель. Використання сучасних інженерних підходів потребує скрупульозного аналізу, що охоплює як польові, так і лабораторні випробування.

Графічні матеріали

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

КАФЕДРА БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему:

«Дослідження роботи монолітного каркасу будівлі при дії сейсмічних навантажень»

Розробив: студент групи БУД 2401-1м спеціальності 192 “Будівництво та цивільна інженерія”

Петренко Анатолій Петрович

Керівник: кандидат технічних наук, доцент,
Циганенко Л.А.

Об'єкт, предмет, мета і завдання дослідження

Мета роботи – моделювання поведінки будівлі з різними варіантами плоскої рами та різної поверховості під впливом сейсмічного навантаження з подальшим визначенням раціональної схеми

Для досягнення цієї мети було поставлено наступні *завдання*:

- детальний аналіз діючої нормативної бази та особливостей впливу сейсмічного навантаження на будівлі, в залежності від різних факторів;
- проведення варіативного моделювання поведінки будівлі, з різними варіантами плоскої рами та з різною поверховістю, у середовищі спеціалізованих ПК;
- підбір раціональної схеми будівлі за результатами моделювання;
- розробка і впровадження конструктивних рішень окремих елементів будівлі, що відповідають загальновідомим принципам протидії сейсмічним впливам.

Предмет дослідження – поведінка та можливі зміни в конструкції будівлі під впливом сейсмічного навантаження.

Об'єкт дослідження – конструкція каркасу з монолітного залізобетону умовної будівлі, що характеризується різними типами плоских рам і кількістю поверхів.

Розвиток сейсмостійкого будівництва в Україні



Підсилення каркасу будівлі металевими в'язями

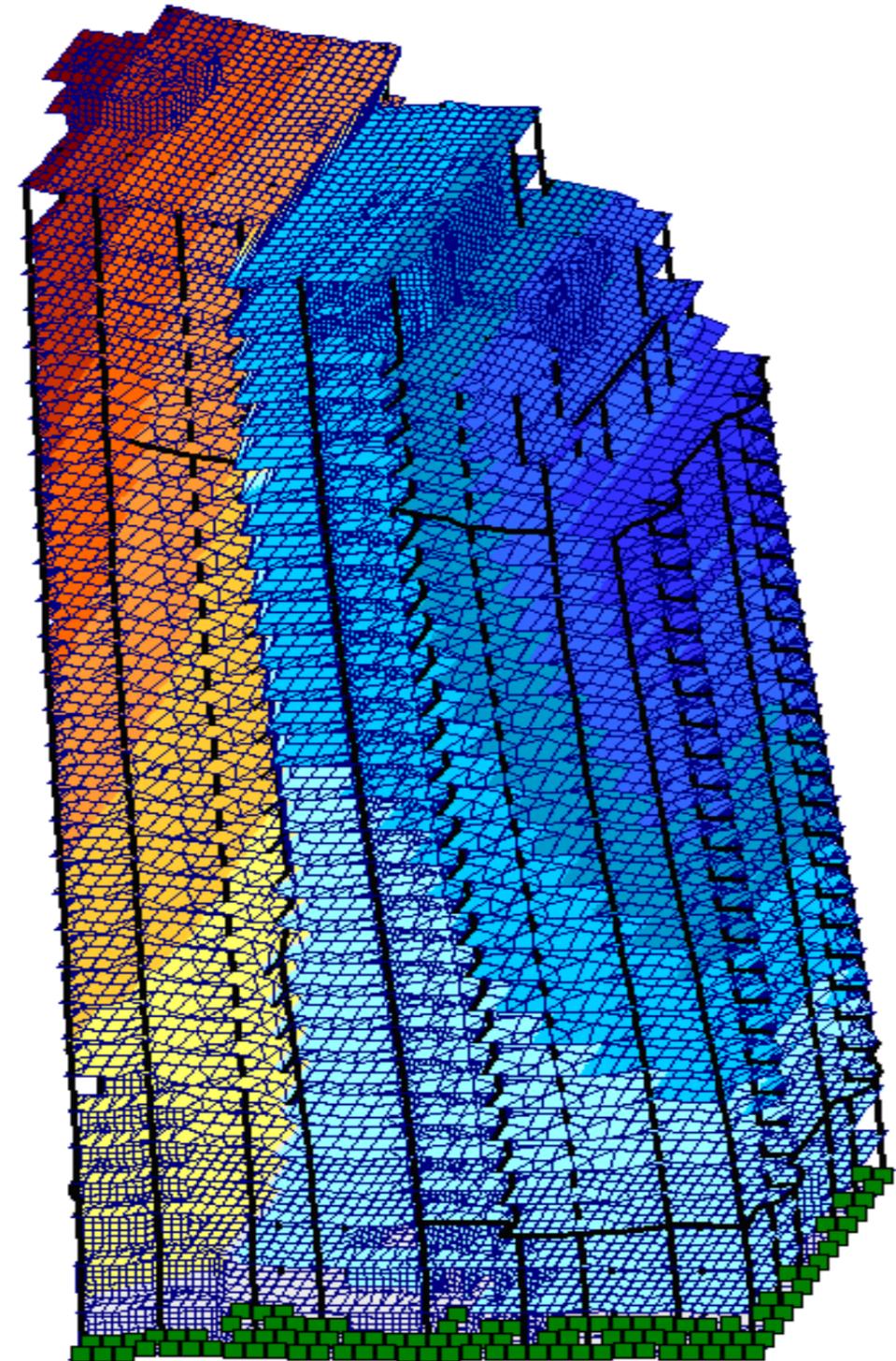
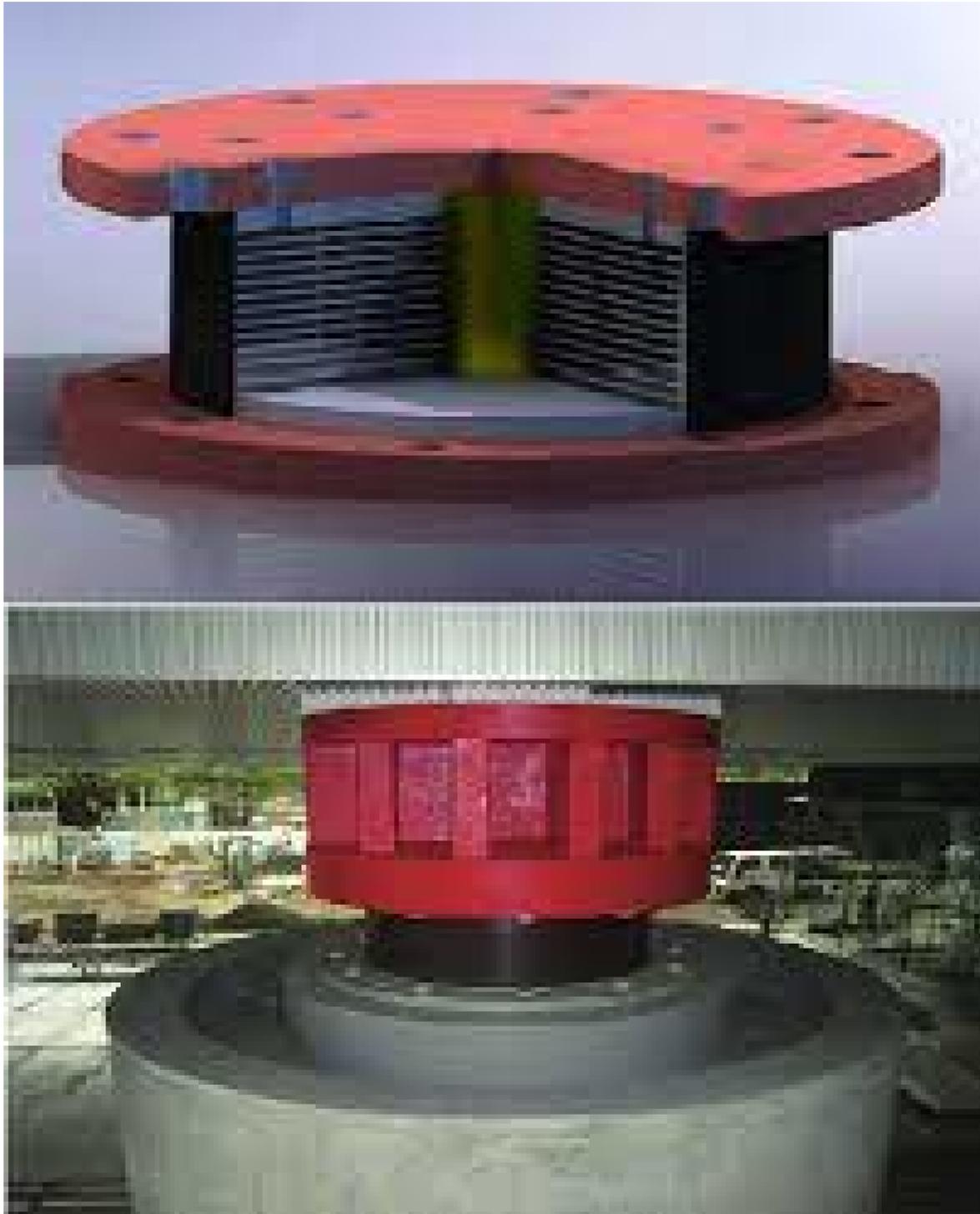


Схема впливу сейсмічної активності на будівлю

Сучасні підходи до зведення сейсмостійких будівель

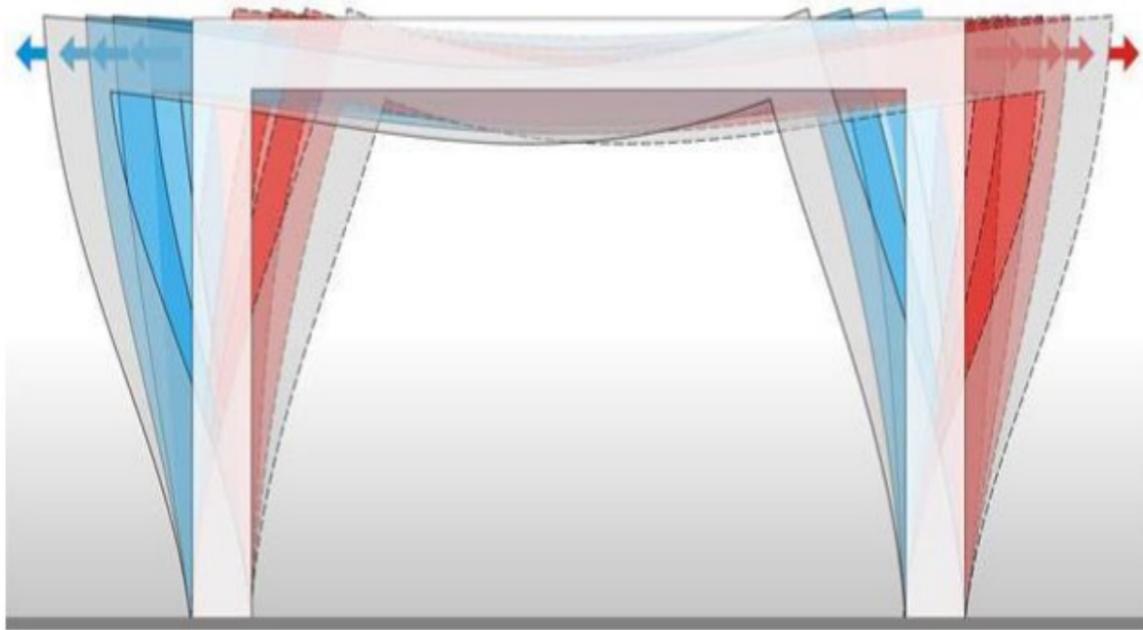


Спеціальні протисейсмічні фундаменти

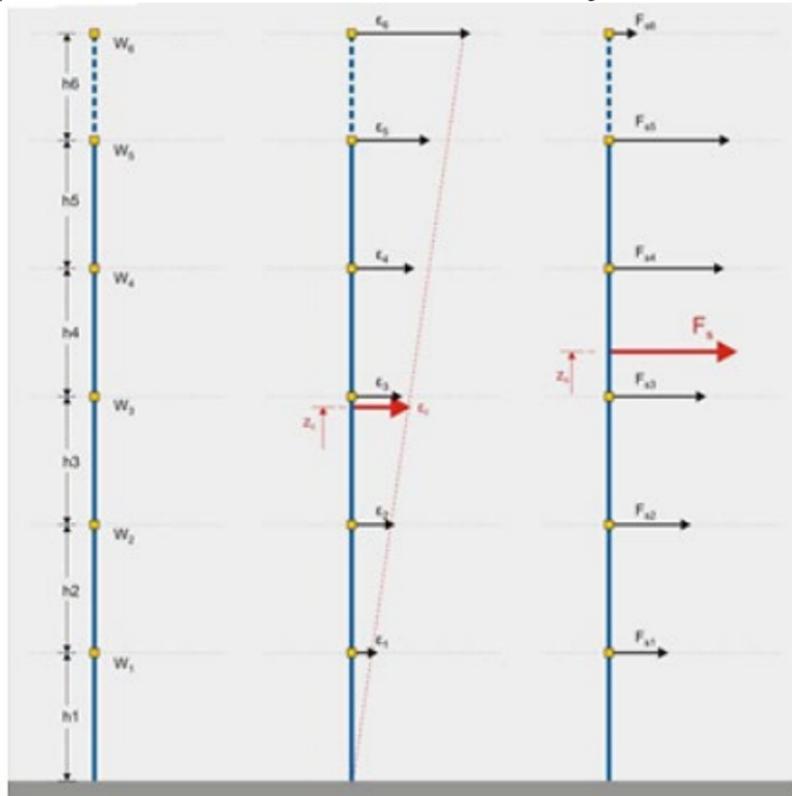


Спеціальне підсилення будівлі додатковим протисейсмічним металевим каркасом

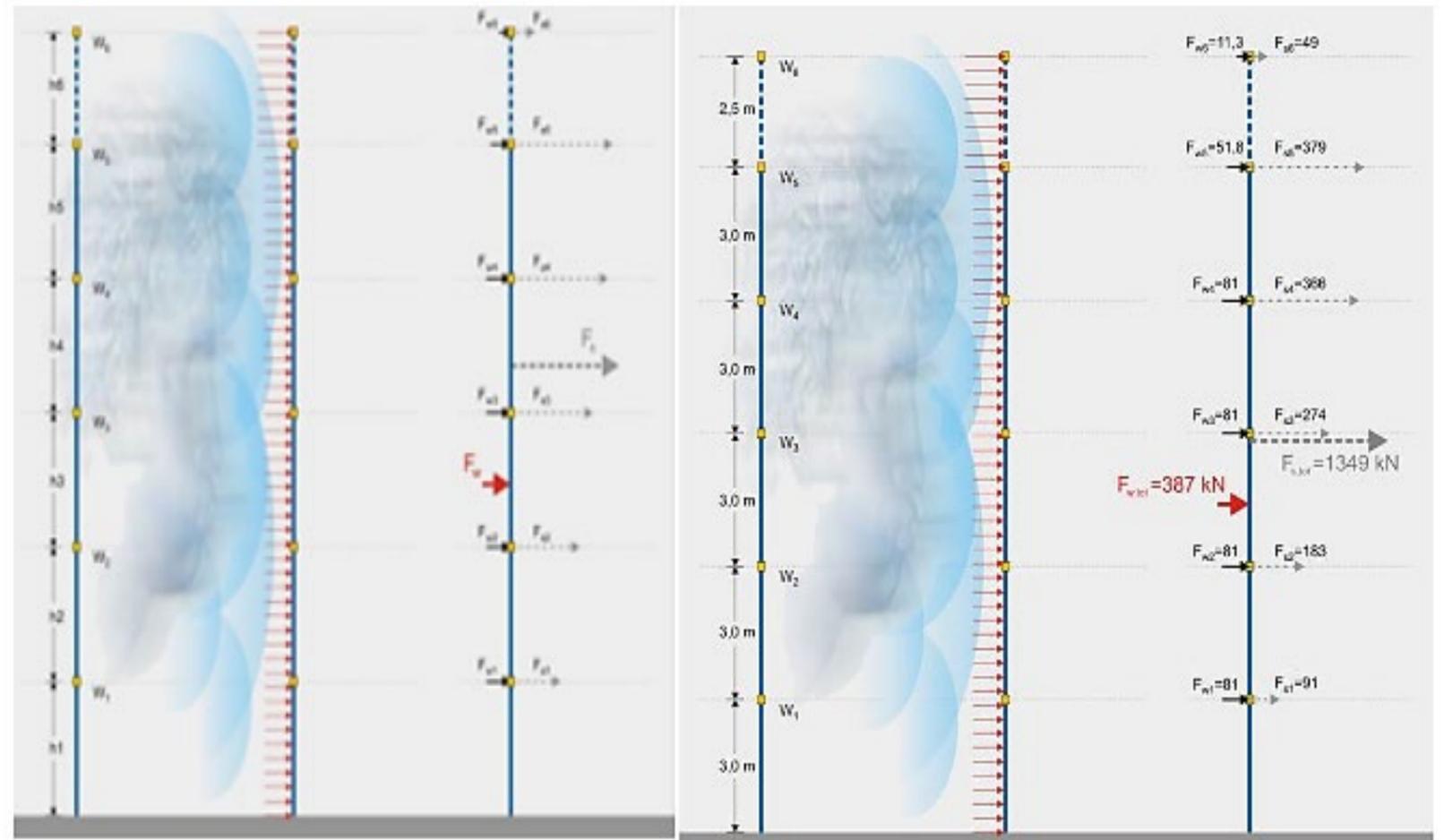
Характерні особливості впливу сейсмічних навантажень



Ефект сейсмічного впливу на споруду



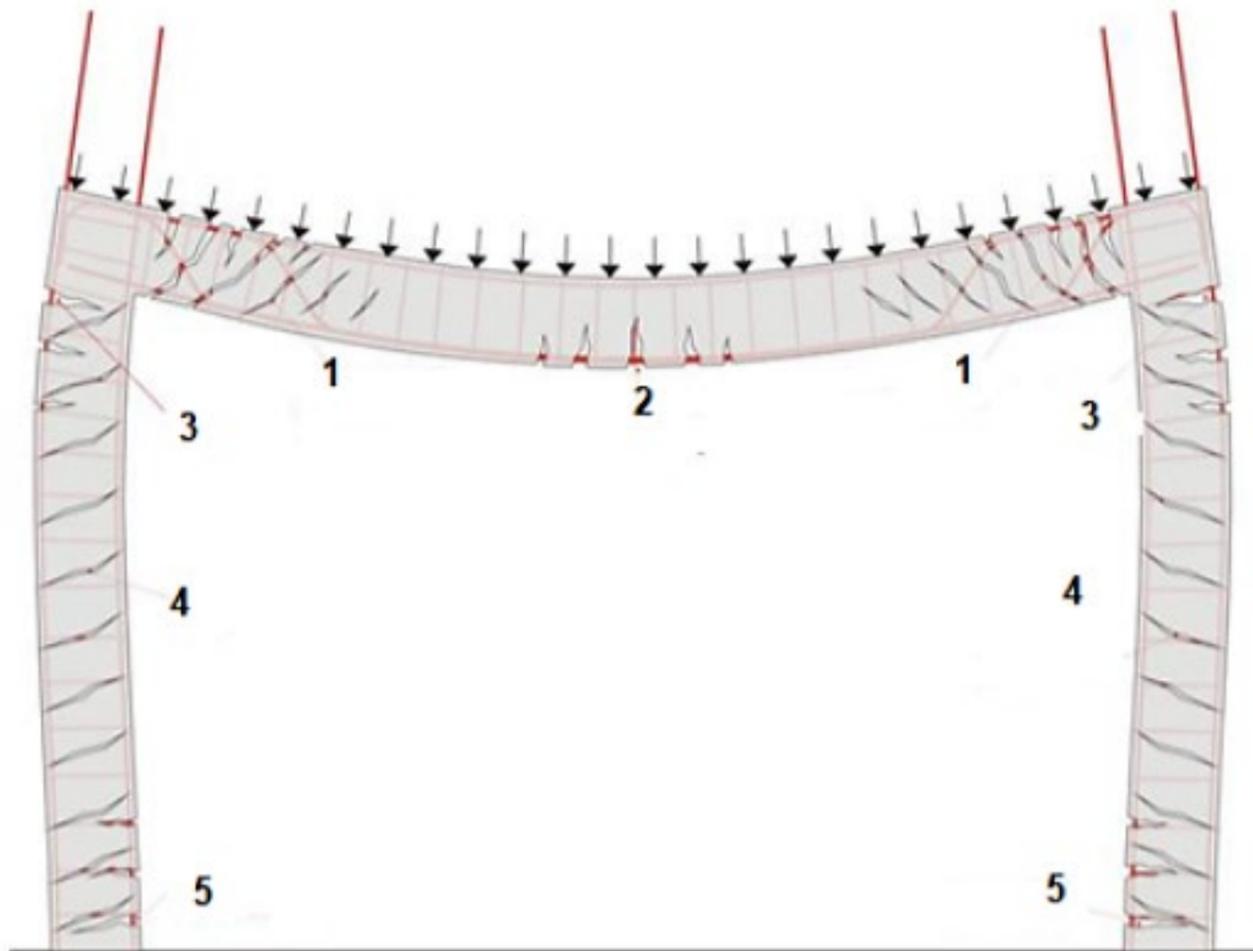
Розподіл сейсмічного прискорення



Графік розподілу сейсмічного прискорення.

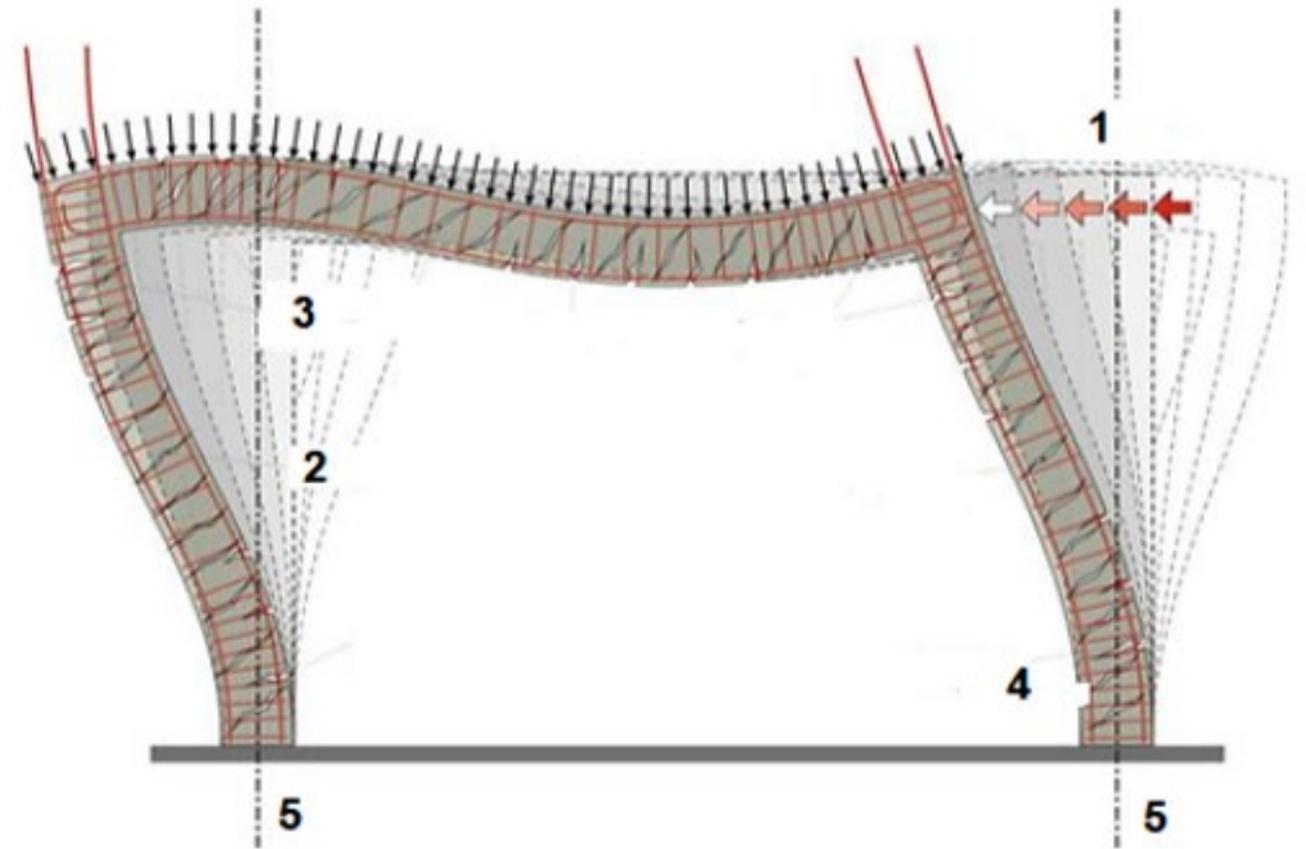
Порівняння сейсмічного навантаження із вітровим

Характерні особливості впливу сейсмічних навантажень



- 1 - діагональні тріщини в балках
- 2 - тріщини в балці від розтягу
- 3 - тріщини в опорних частинах колони
- 4 - тріщини вздовж колони
- 5 - тріщини в опорних частинах колони

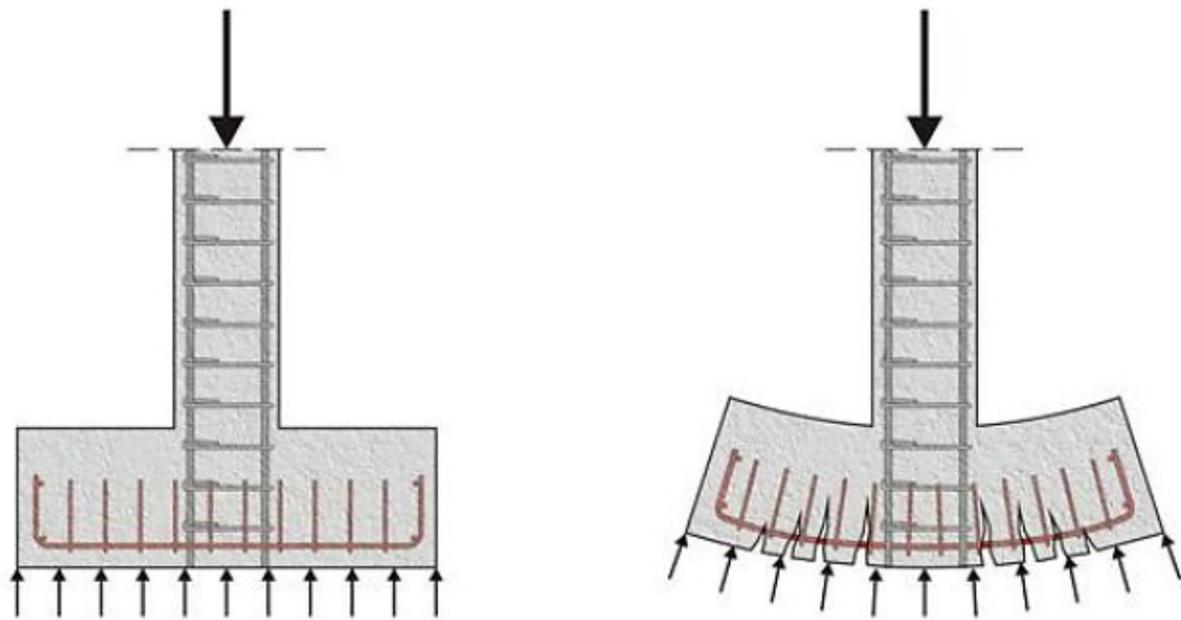
Деформації бетону та тріщини структурного каркасу



- 1 - дія сейсмічного навантаження
- 2 - відхилення центральної частини колони
- 3 - діагональні тріщини в балці та колоні
- 4 - тріщини в опорній частині колони
- 5 - вісь прив'язки колони

Поведінка однопрогонової рами під час землетрусу

Армування елементів фундаментів в сейсмостійких будівлях



Деформаційна схема роботи фундаменту

Фундамент із зігнутою ступенькою

Фундамент з прямою ступенькою



Форми стовпчастого фундаменту

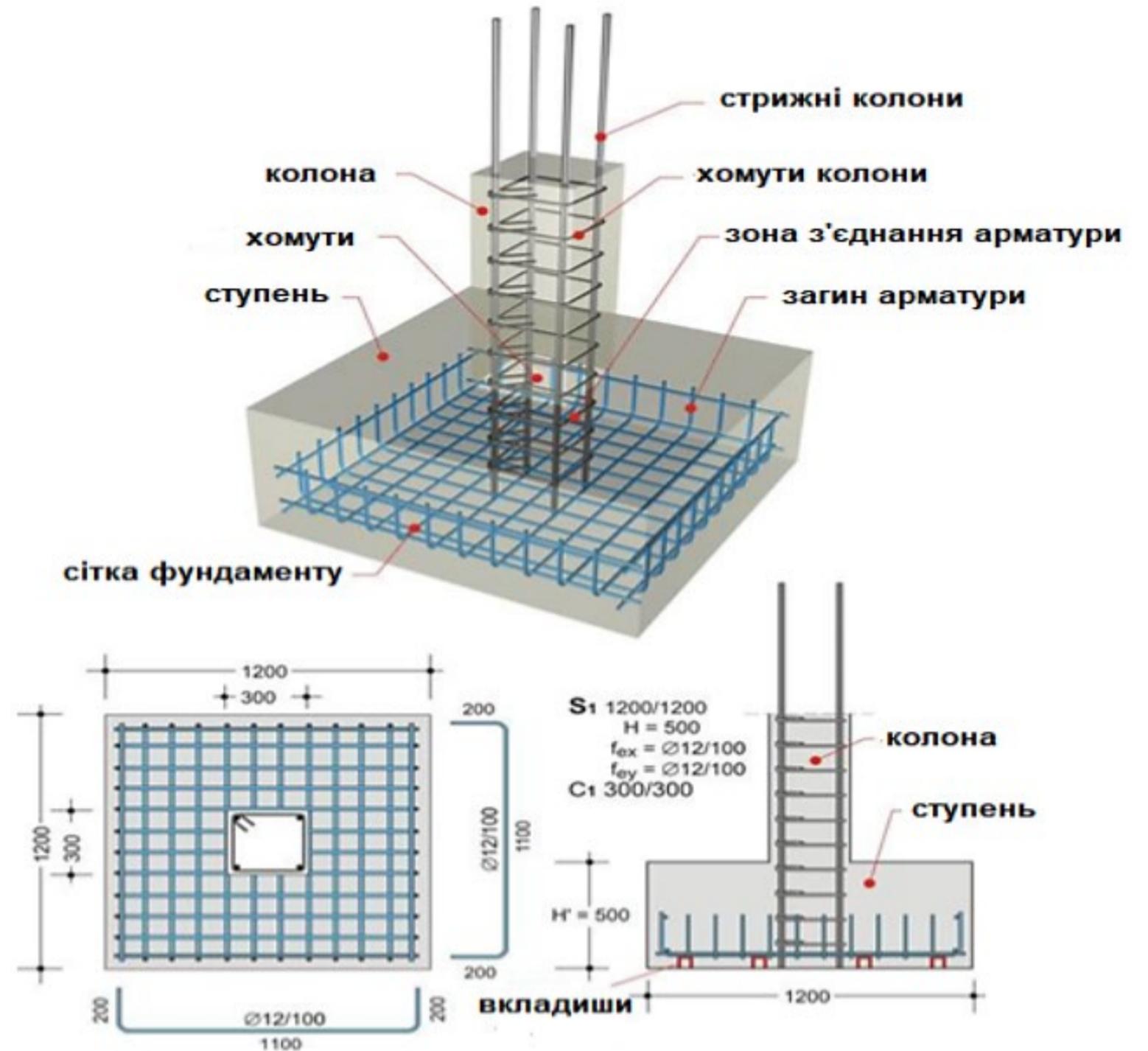


Схема армування стовпчастого фундаменту

Побудова залежностей між сейсмічною активністю та змінами в структурі будівель

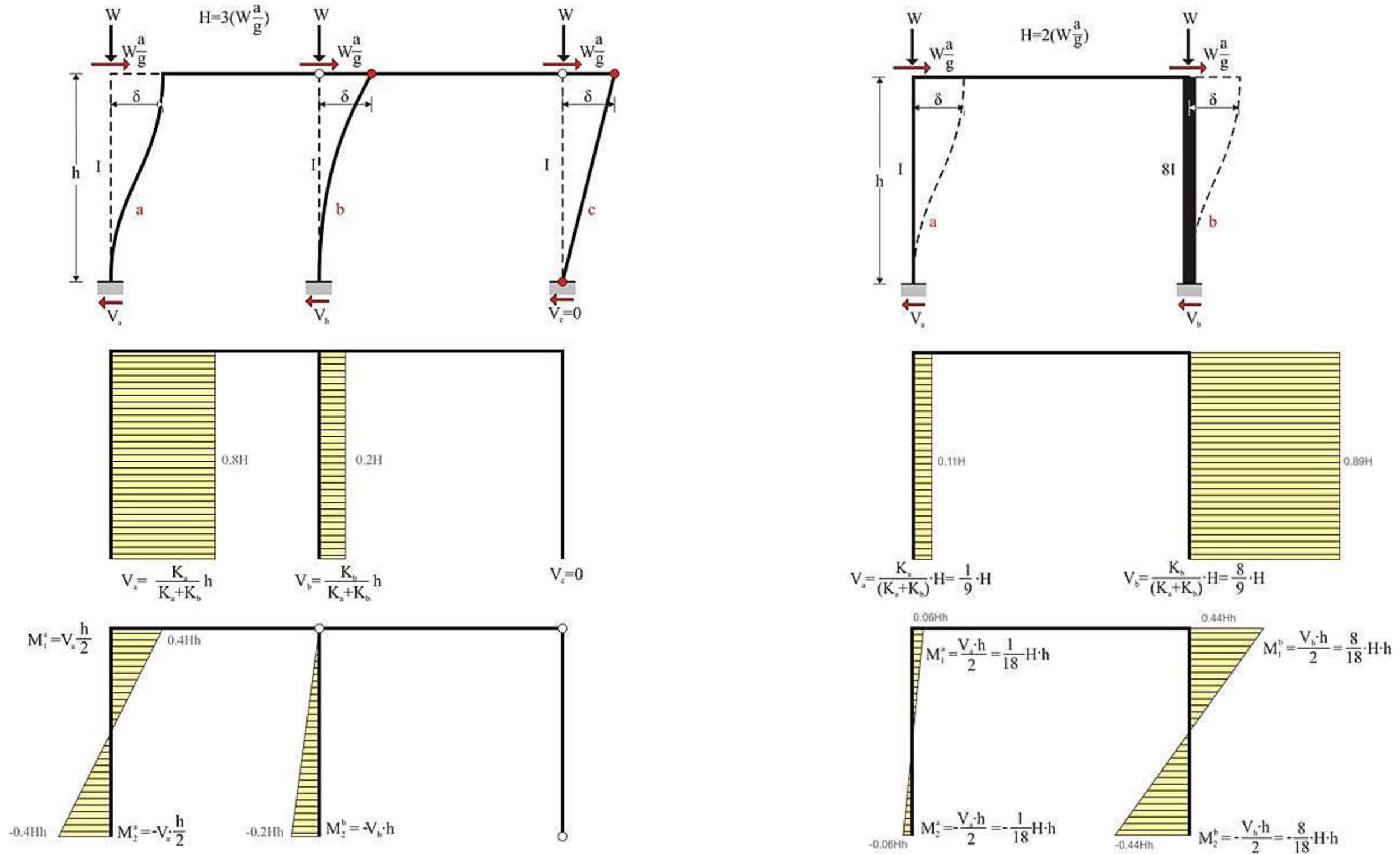
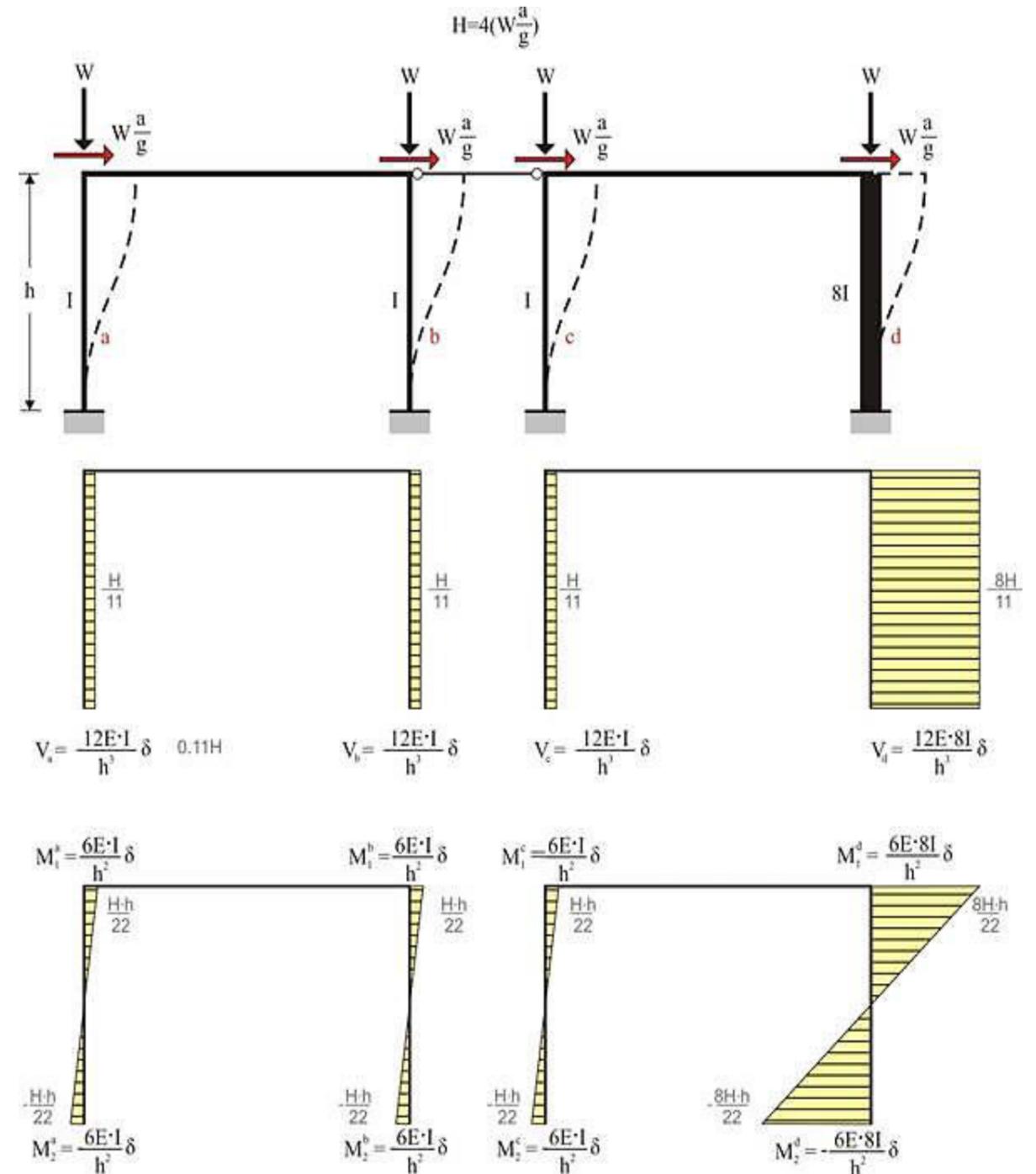
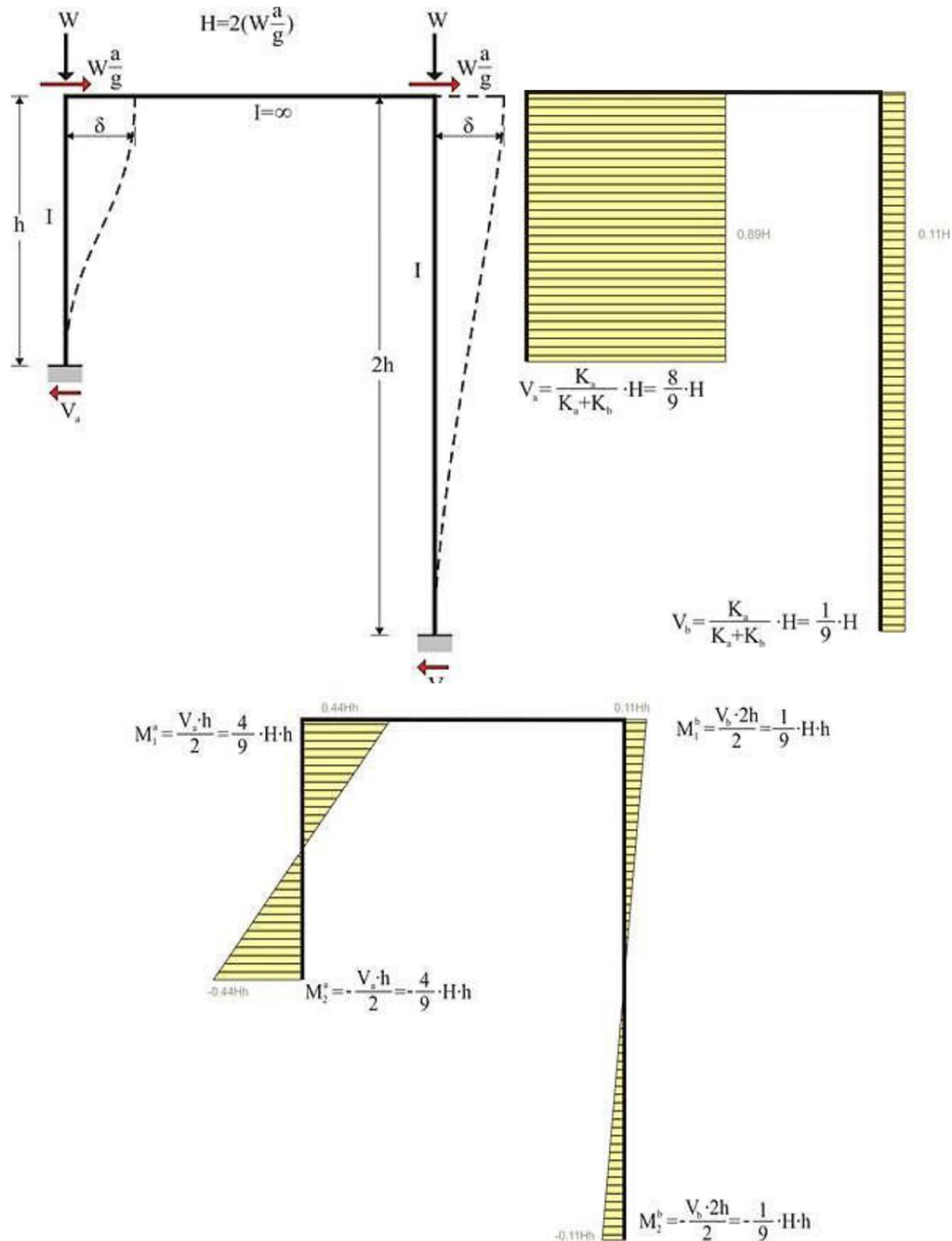


Схема плоскої рами з колонами з фіксованим кінцем

Вплив моменту інерції колони на сейсмічні впливи

Побудова залежностей між сейсмічною активністю та змінами в структурі будівель



Одноповерхова плоска рама зі спареним шпангоутом

Вплив різної висоти стійок на сейсмічні дії

і колоною підвищеного перерізу

Побудова залежностей між сейсмічною активністю та змінами в структурі будівель

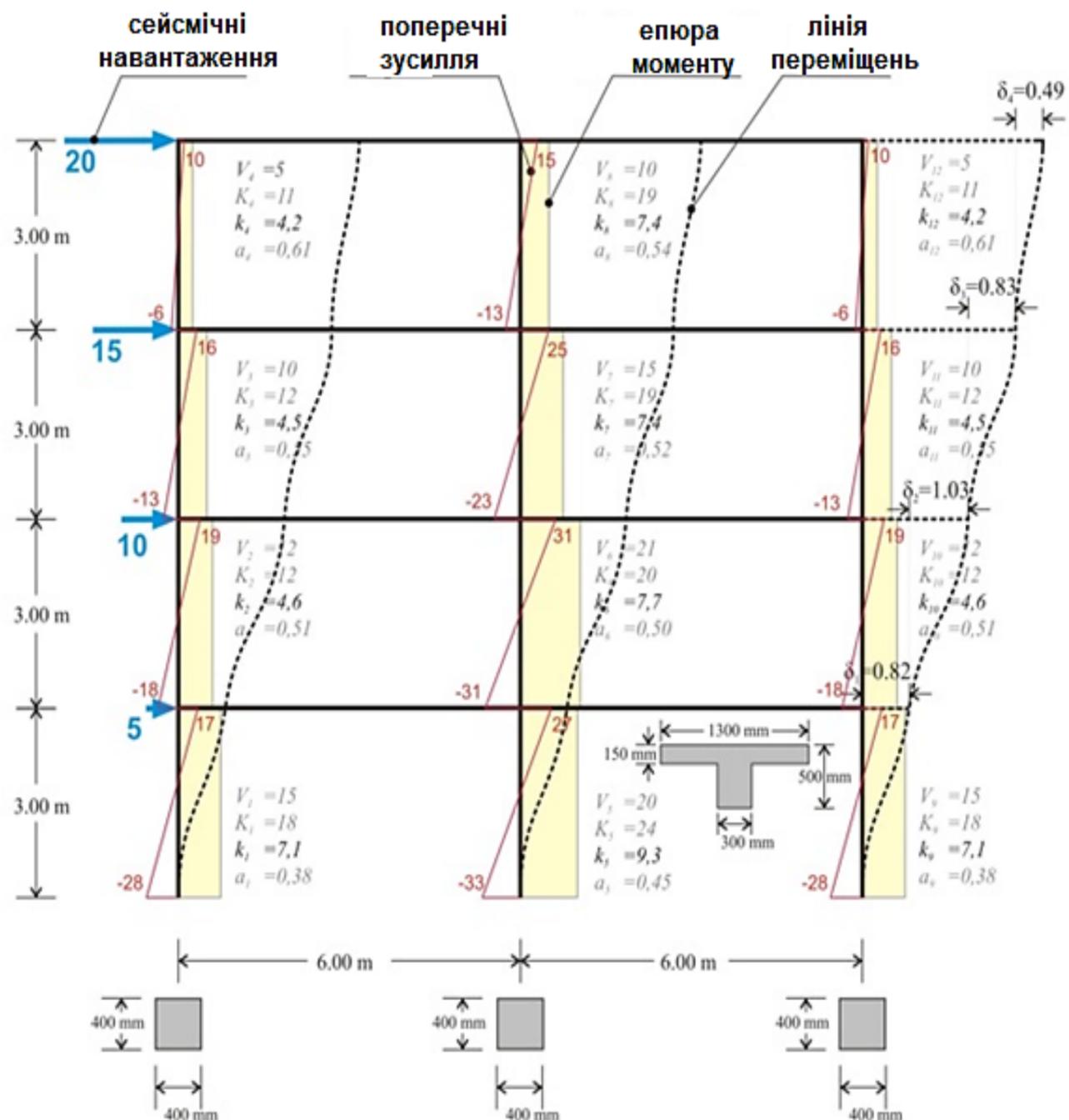


Схема багатоповерхової плоскої рами з колонами однакового перерізу

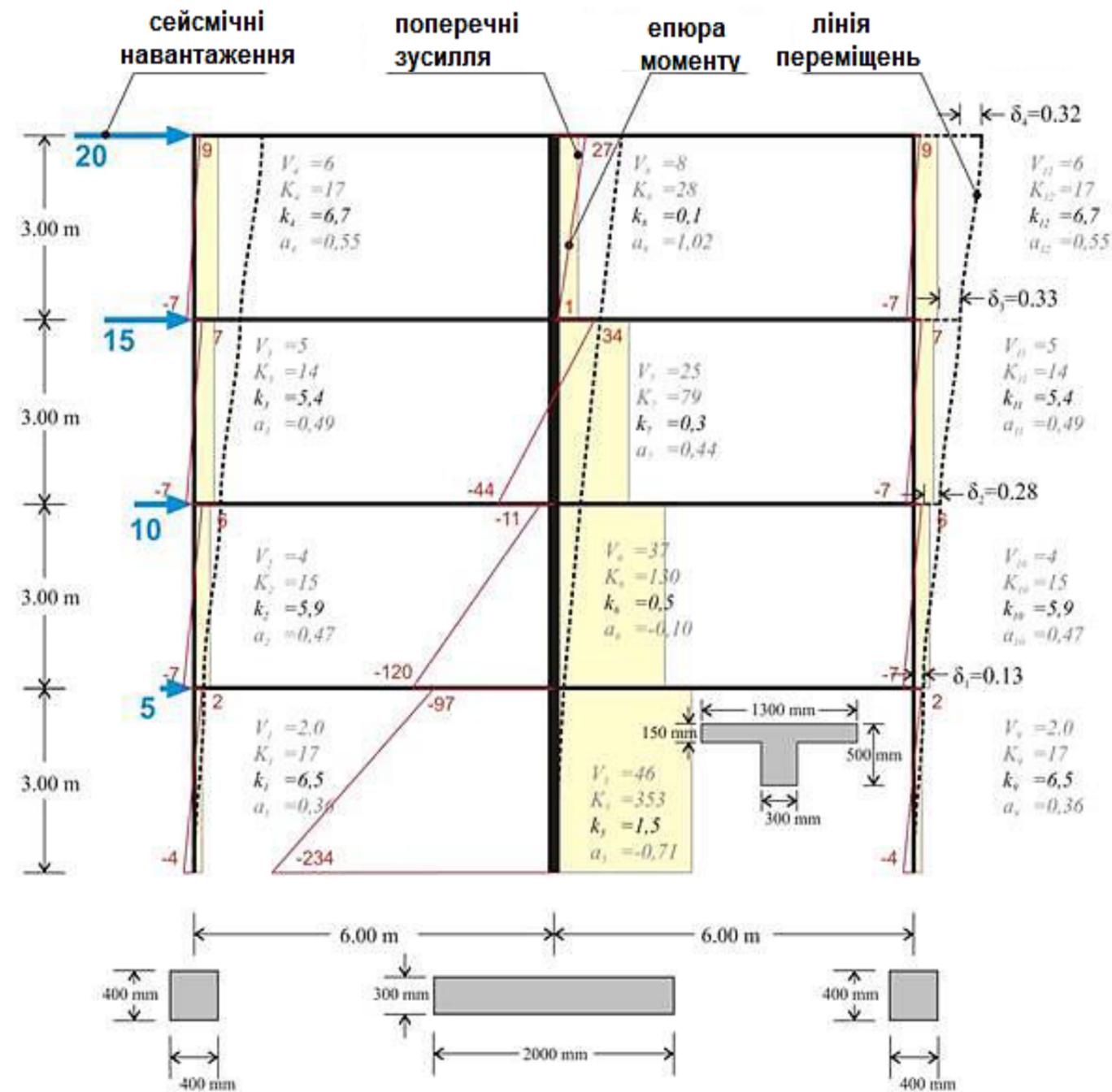


Схема багатоповерхової плоскої рами з колонами однакового перерізу по краях та стіною посередині

Порівняння каркасної та подвійної схеми будівлі

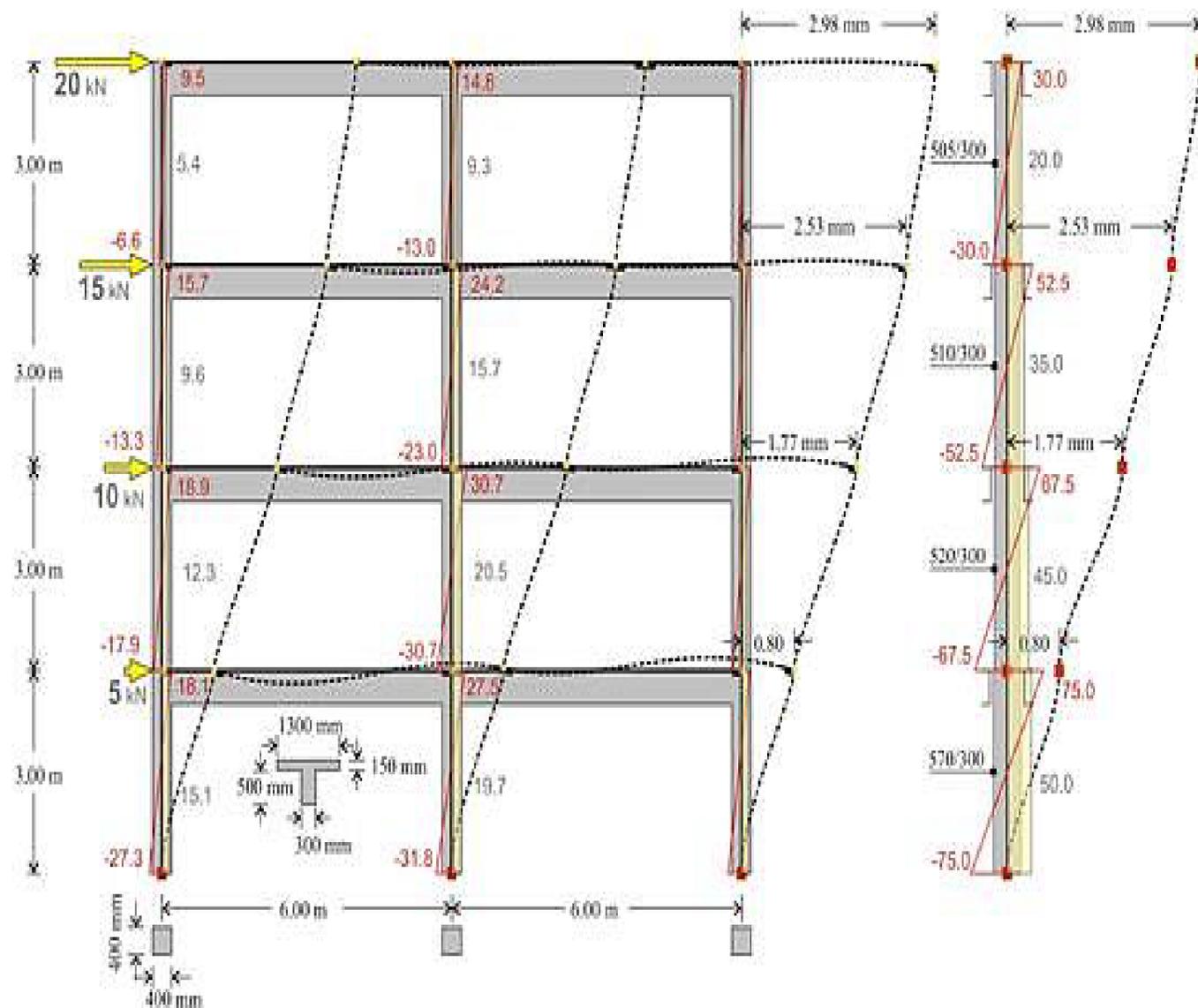


Схема 4-поверхової плоскої рами каркасного типу
під дією сейсмічного навантаження

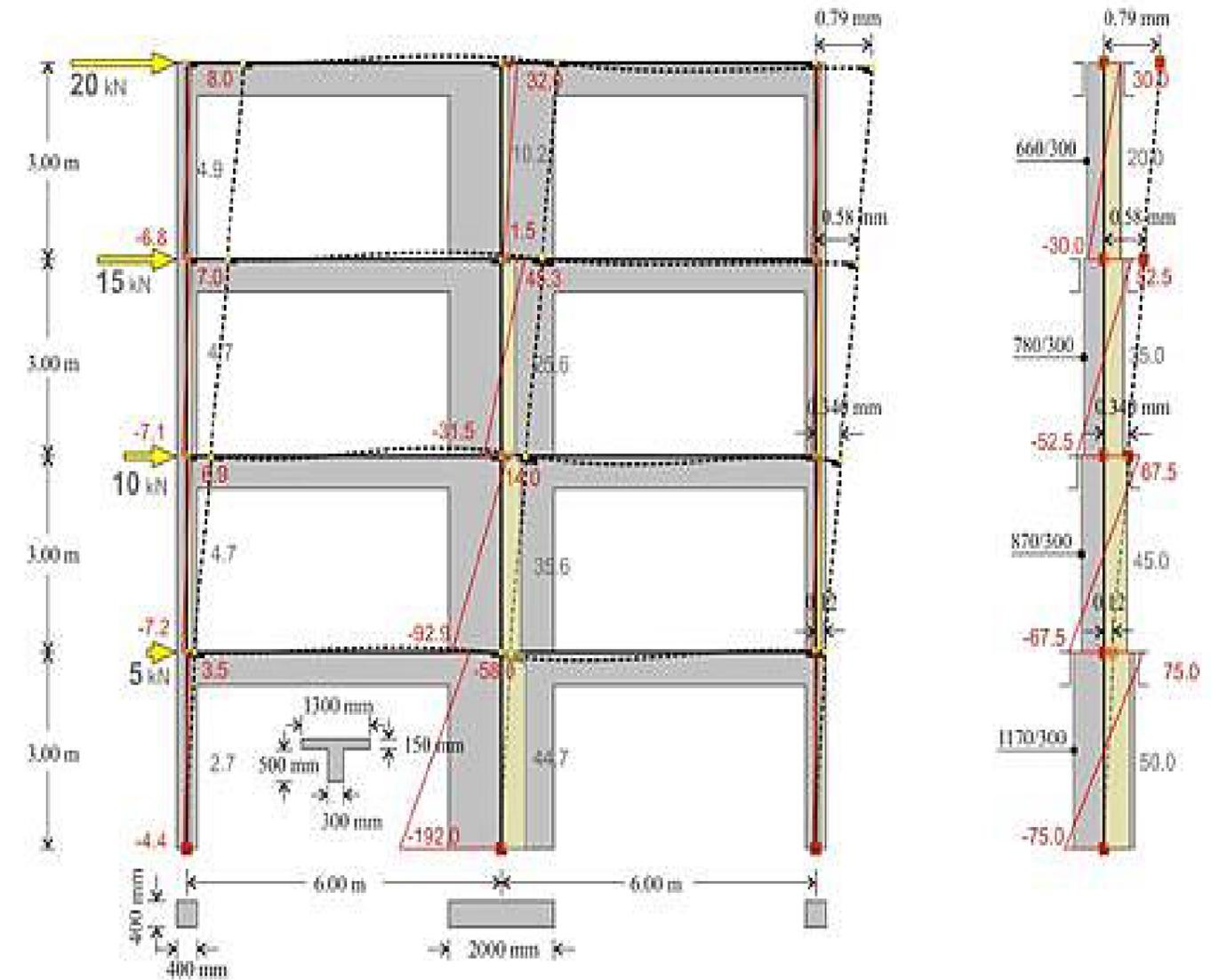


Схема 4-поверхової плоскої рами подвійного типу
під дією сейсмічного навантаження

Порівняння каркасної та подвійної схеми будівлі

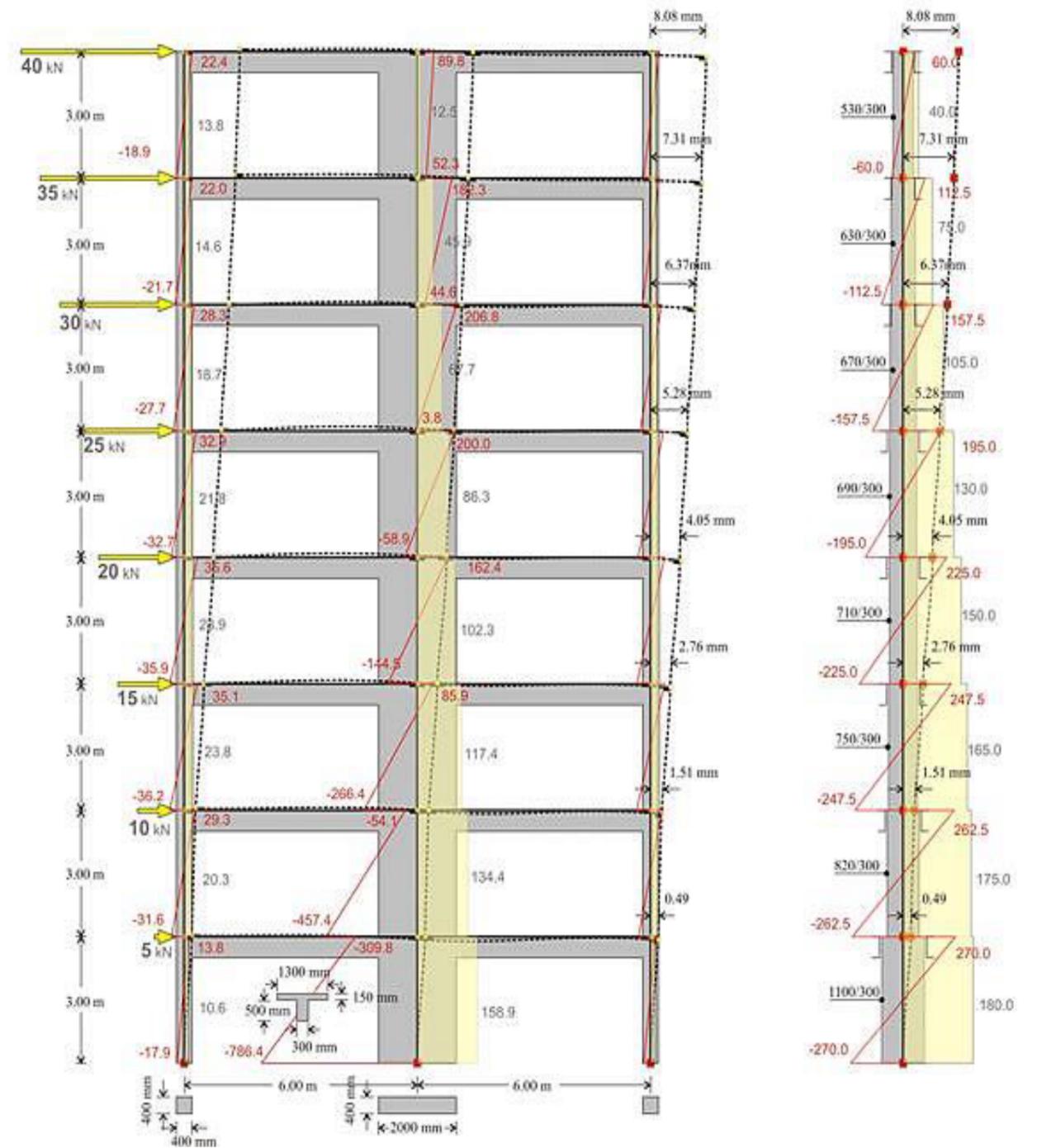
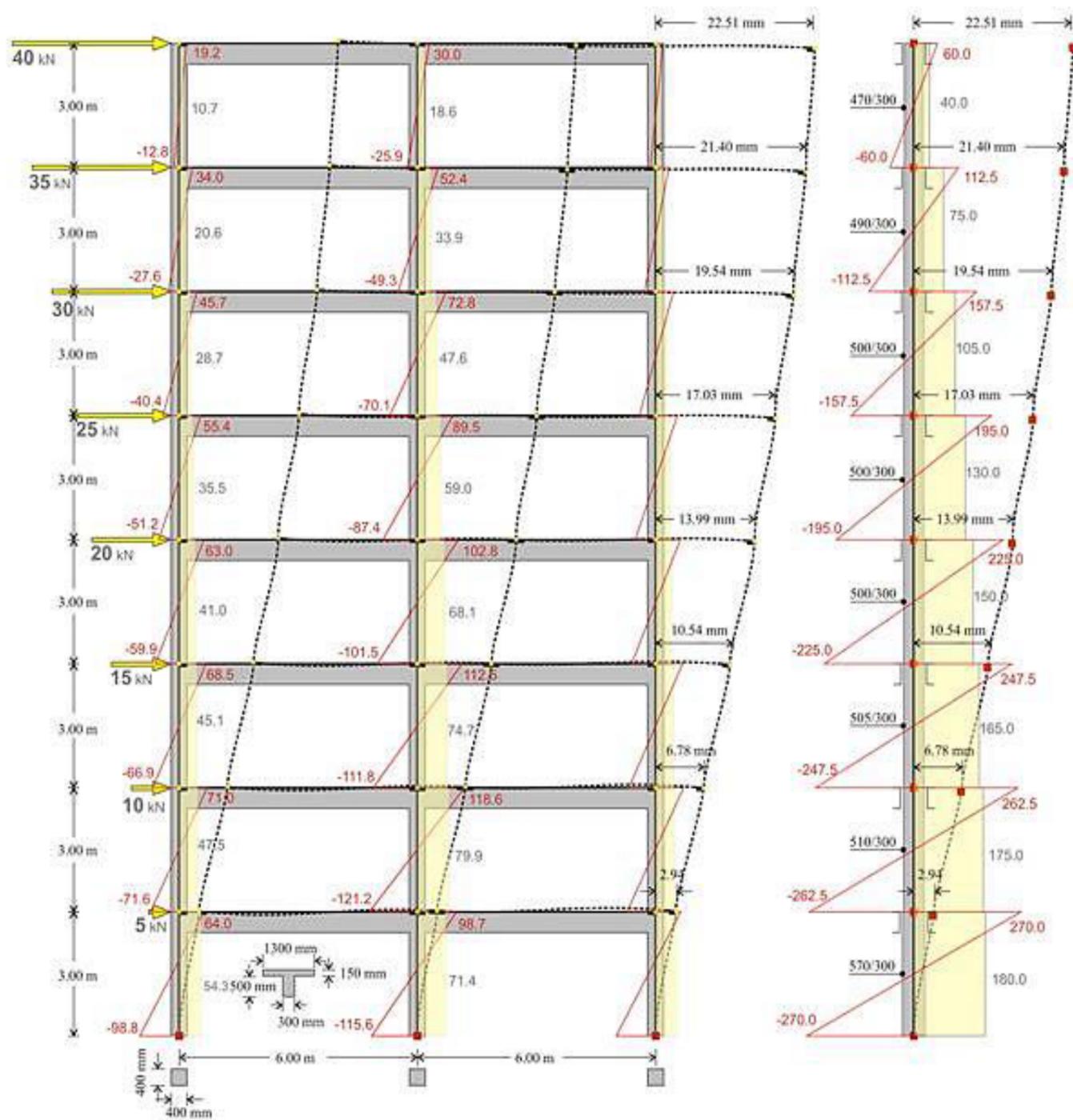


Схема 4-поверхової плоскої рами каркасного типу
під дією сейсмічного навантаження

Схема 4-поверхової плоскої рами подвійного типу
під дією сейсмічного навантаження

Порівняння каркасної та подвійної схеми будівлі

Порівняльна таблиця рамних каркасів

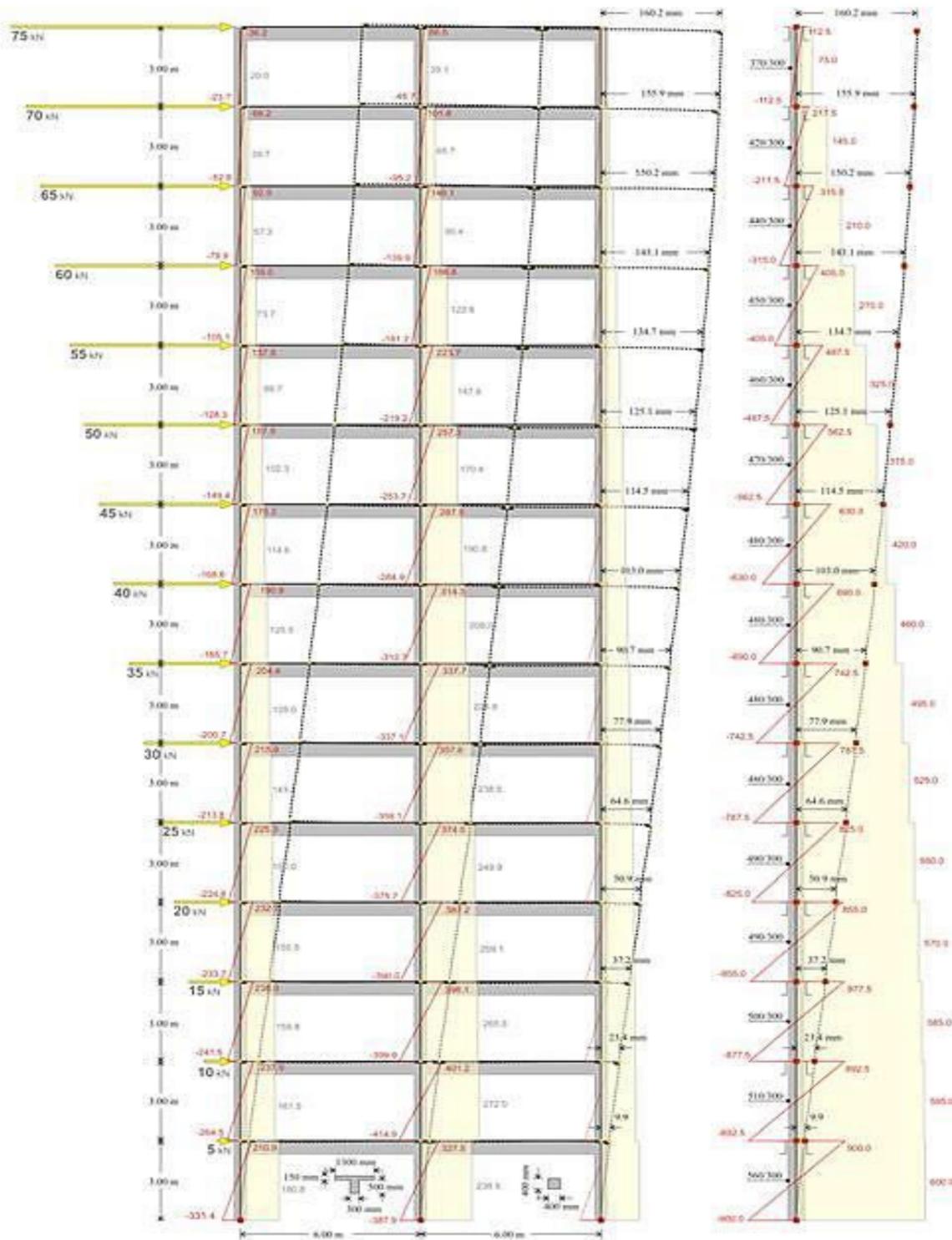
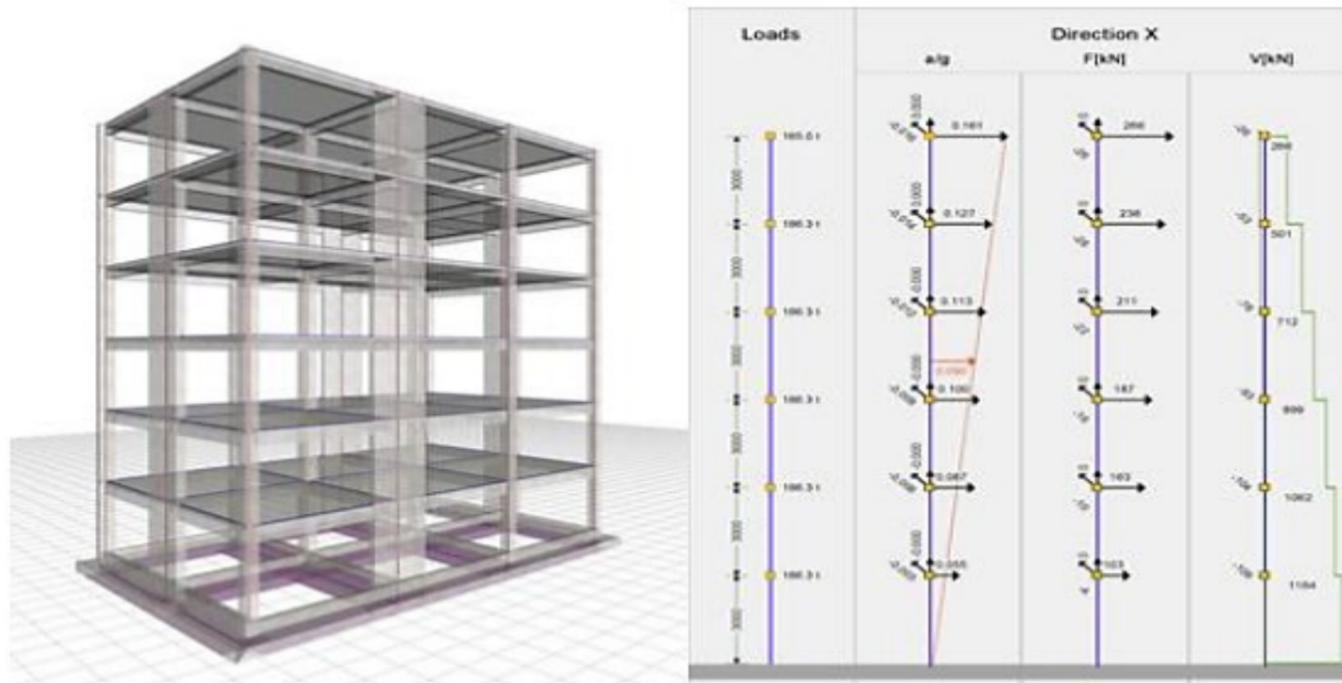


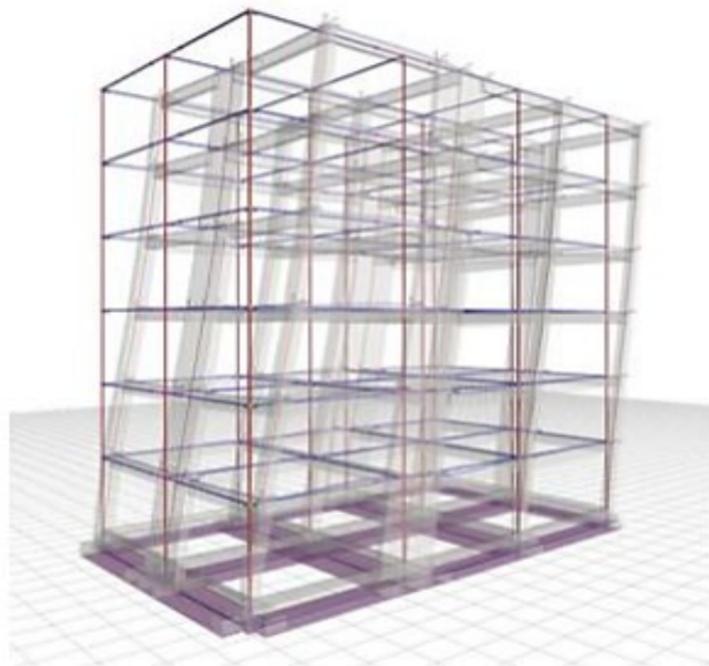
Схема 15-ти поверхової плоскої рами каркасного типу

Наслідки	Структурна схема будівлі		Практичні висновки
	Каркасна	Подвійна	
Величина переміщень	значна	незначна	Необхідність широкого сейсмічного шва між будинками в каркасних системах.
Сейсмостійкість цегляних стін	незначна	значна	Норми взагалі забороняють використання крихких стін
Коливання міжповерхових відносних переміщень та жорсткостей	незначне	значне	У подвійних системах стіни розвивають сприятливу поведінку на нижніх поверхах, а рами на верхніх поверхах. Для цього необхідне забезпечення сумісної роботи каркасів та стін у конструкції (дуальна система).
Ефект фундаменту	незначний	значний	Стіни мають бути закладені на фундаментних балках високої твердості. Більш раціональним способом основи для стін є стіни підвалу, що забезпечують фіксацію у їх основи
Ефект зсуву	незначний	значний	Ефект зсуву слід враховувати при проектуванні подвійних систем на відміну від проектування каркасних систем, де його можна не враховувати
Ефект твердих тіл	незначний	значний	Ефект твердих тіл необхідно враховувати при проектуванні подвійних систем, тоді як при проектуванні каркасних систем його можна не враховувати

Підбір раціональної схеми фундаменту

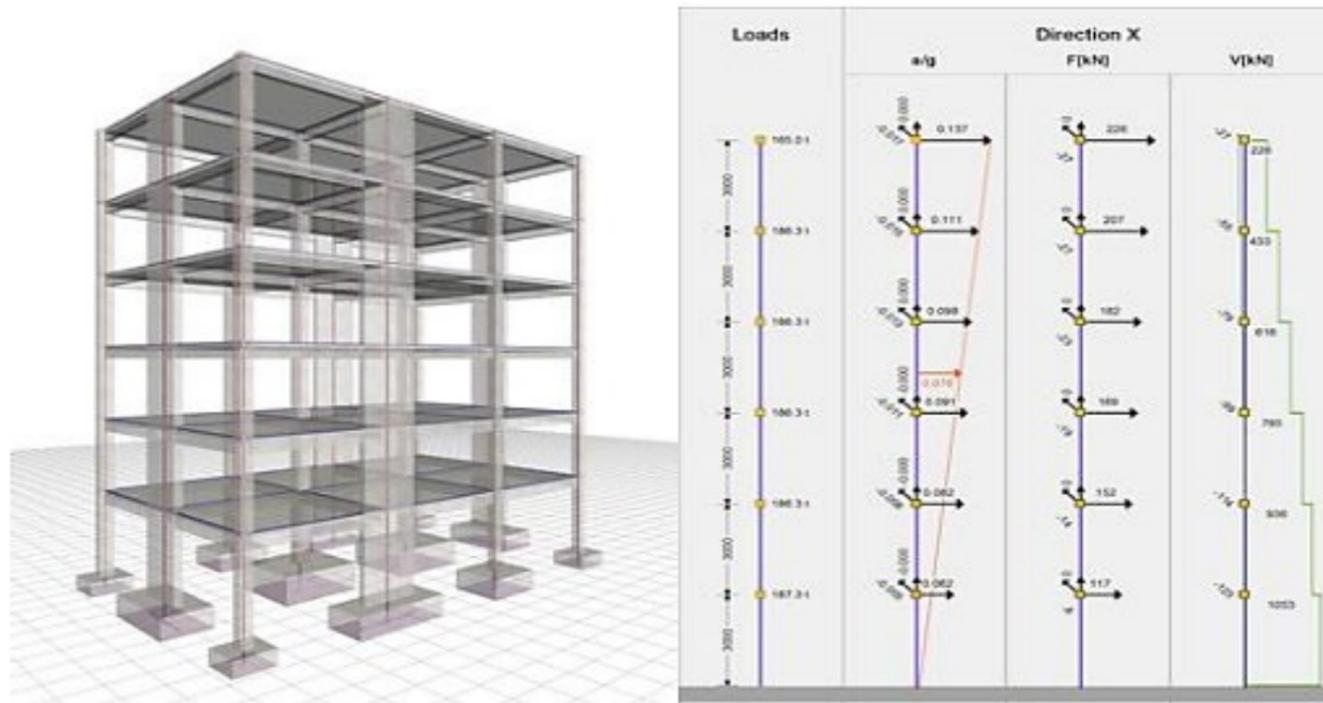


При моделюванні каркасу будівлі зі стінами на балочному фундаменті, визначено що поперечні перерізи опорних балок недостатньо міцні, щоб витримувати високі згинальні моменти стін по периметру, внаслідок чого система вздовж у зміщується до еквівалентної стіні подвійної системи із загальним $q = 3,00$. При цьому зміщення цієї системи по осі x дорівнює 21,3 мм порівняно з 25,7 мм у відповідній рамної системи.



Модель каркасу будівлі зі стінами на балочному фундаменті

Підбір раціональної схеми фундаменту



При моделюванні каркасу будівлі зі стінами на стовпчастому фундаментів в обох напрямках конструкція функціонує як подвійна система, еквівалентна стіні, через послаблення поведінки стіни, що викликана низькою здатністю ґрунту протистояти обертанню. В даному випадку ситуацію можна значно поліпшити використовуючи міцні стрічкові балки.

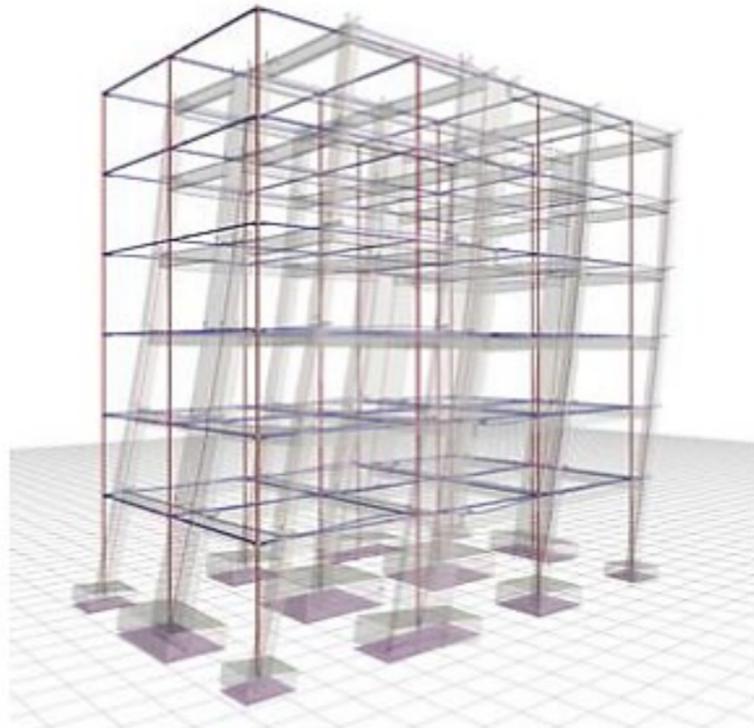
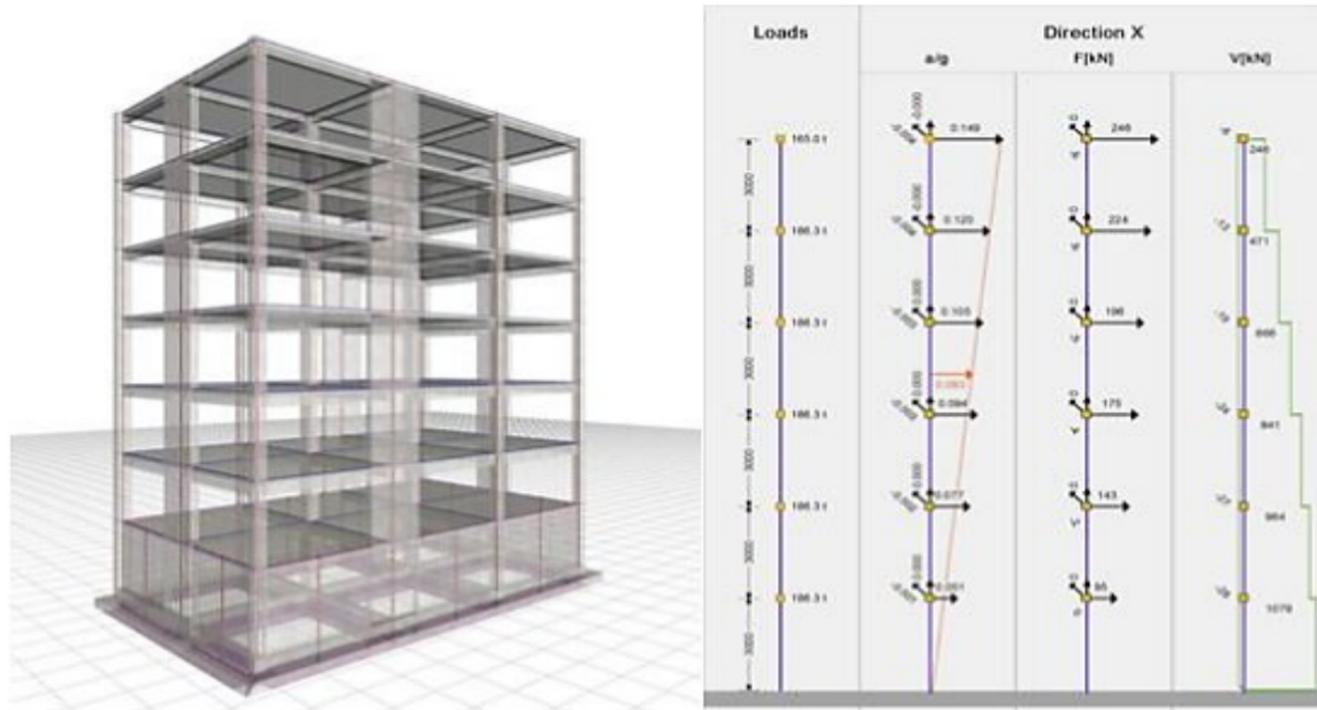


Схема каркасу будівлі зі стінами на стовпчастому фундаменті

Підбір раціональної схеми фундаменту



Варто зазначити, що у всіх випадках власний період форми коливань становить приблизно 0,70 сек. Якщо жорсткості елементів прийняти за 100% пружності, то значення періодів коливань буде близько 0,50 с. Поведінка стінової системи явно краща, ніж поведінка каркасної системи, особливо за наявності підвалу зі стінами по периметру.

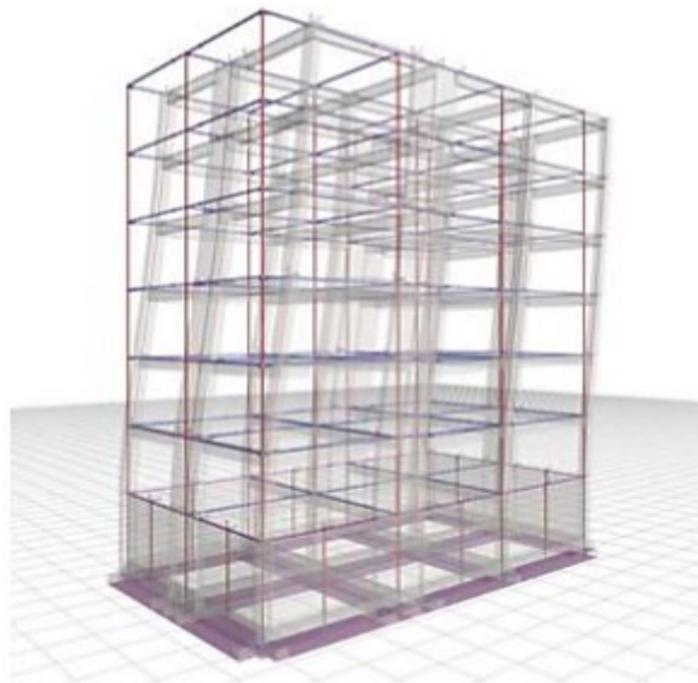
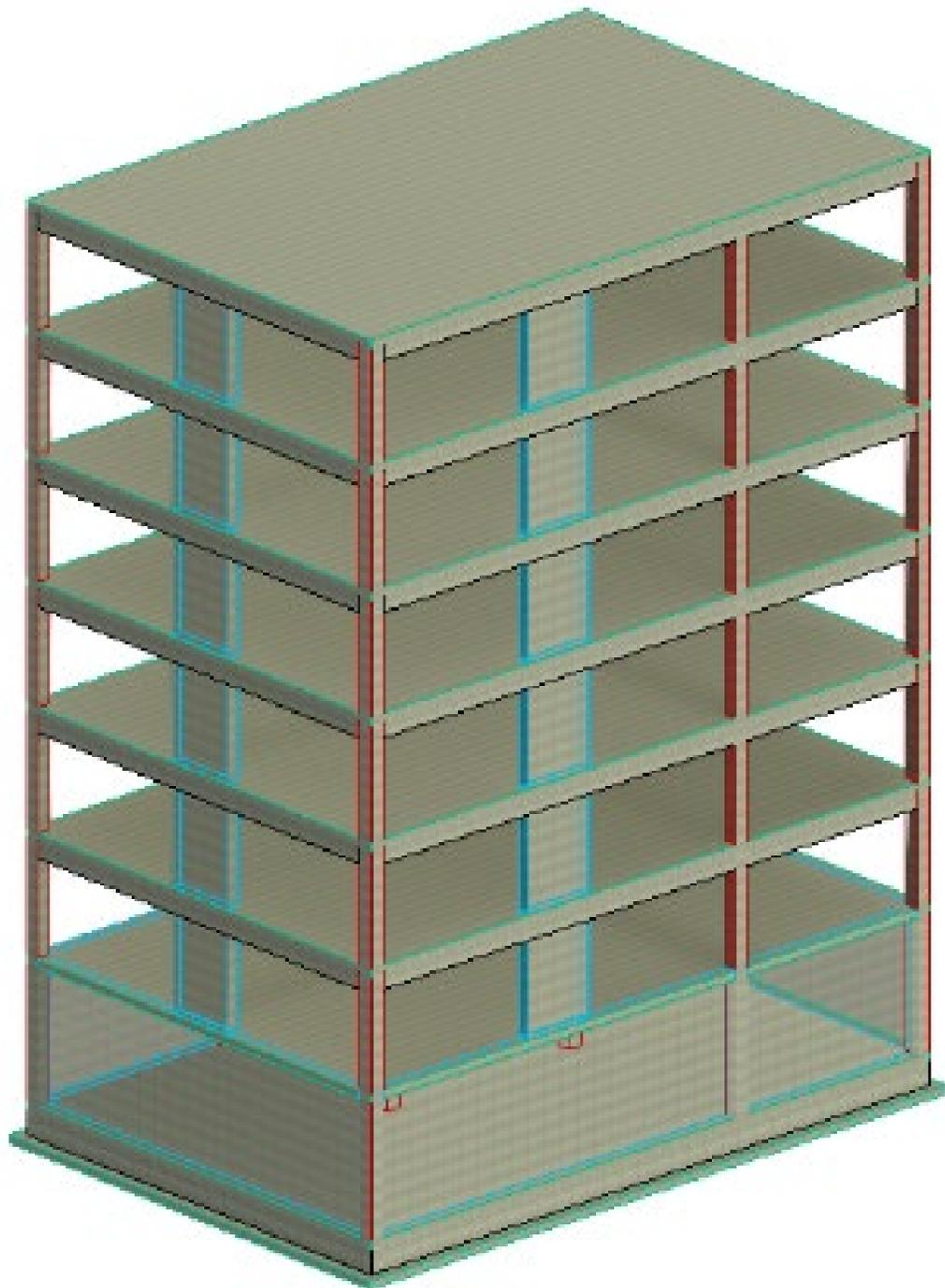
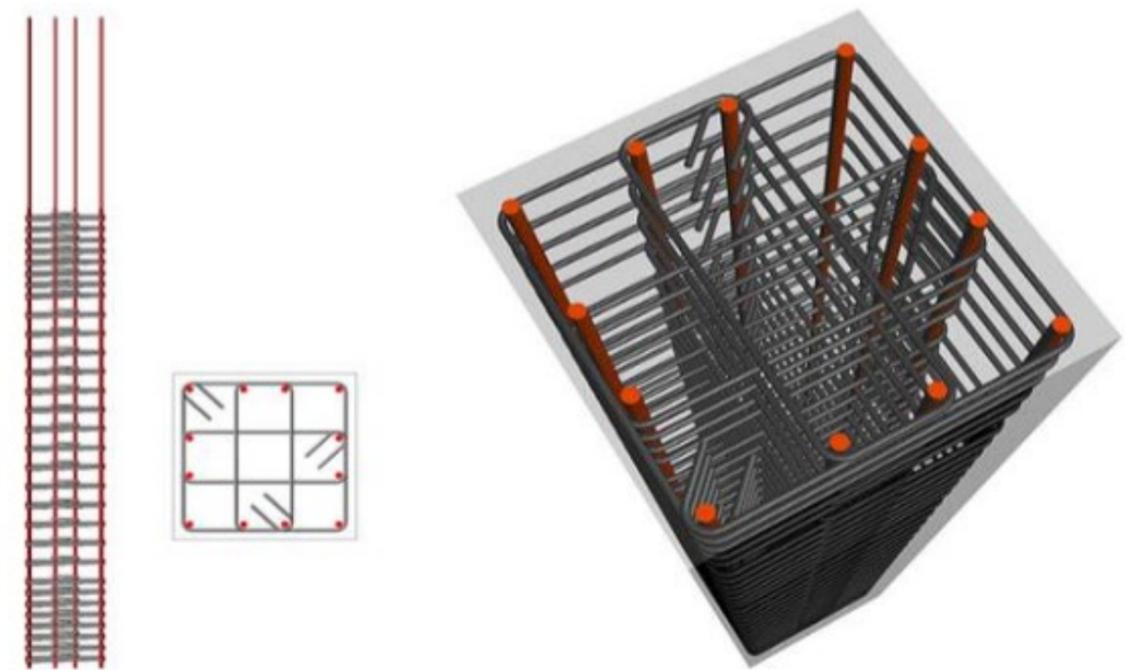


Схема каркасу будівлі зі стінами із підвалом по периметру

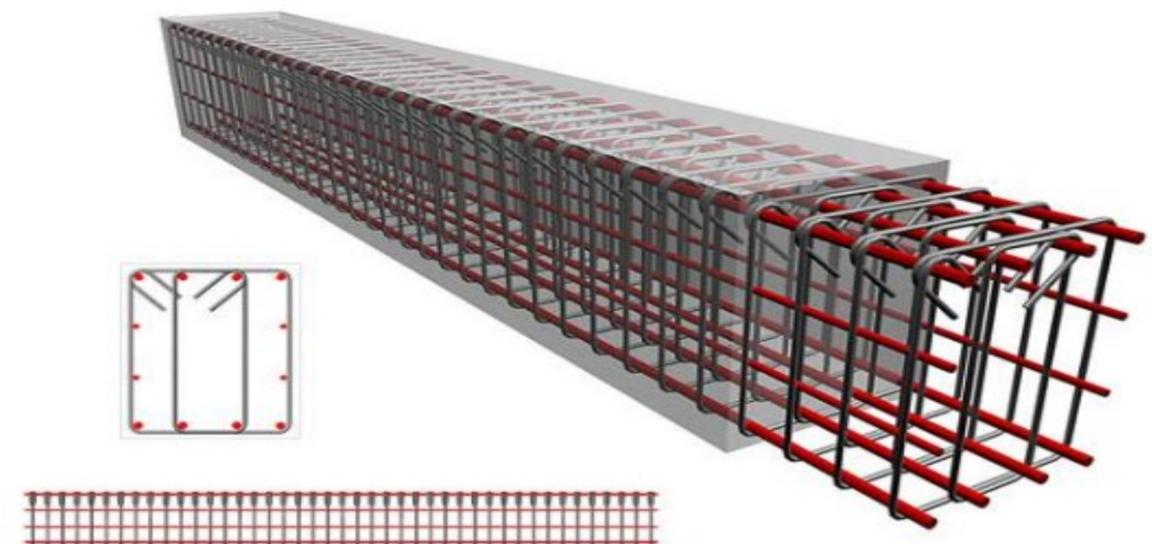
Впровадження сучасних принципів протидії сейсмічним впливам у досліджувану модель будівлі



3D-модель об'єкту дослідження у Revit Structures

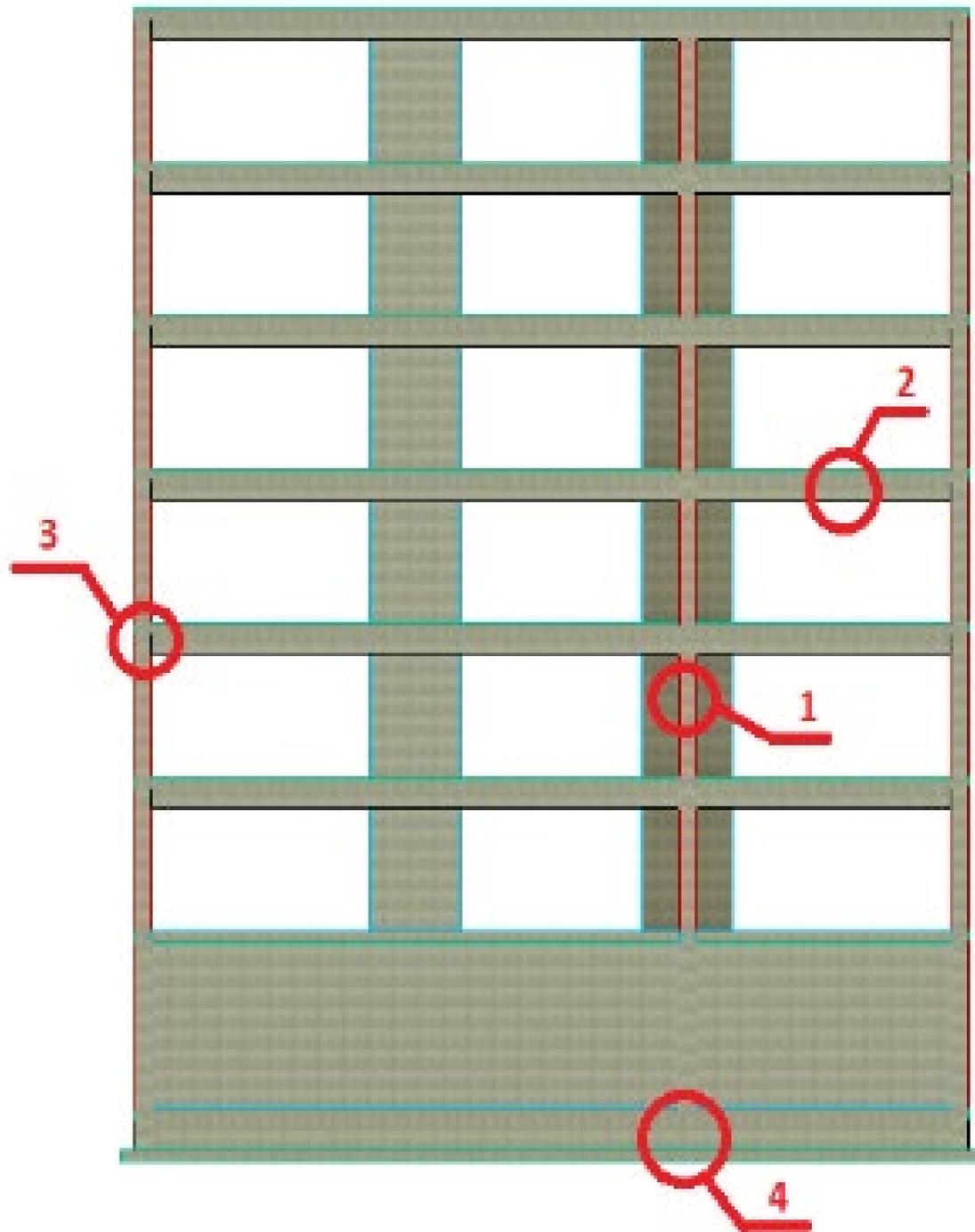


Модель армування колони, яка відповідає вимогам пластичності

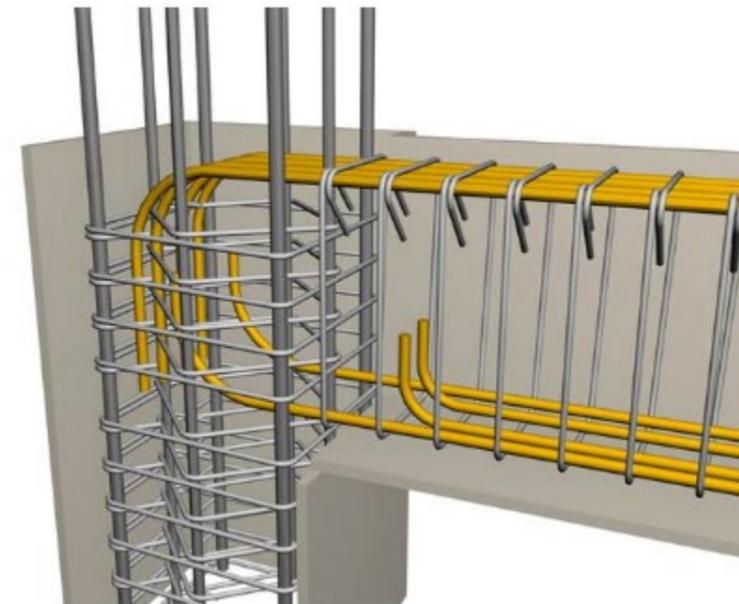


Модель армування балки з високими вимогами до пластичності

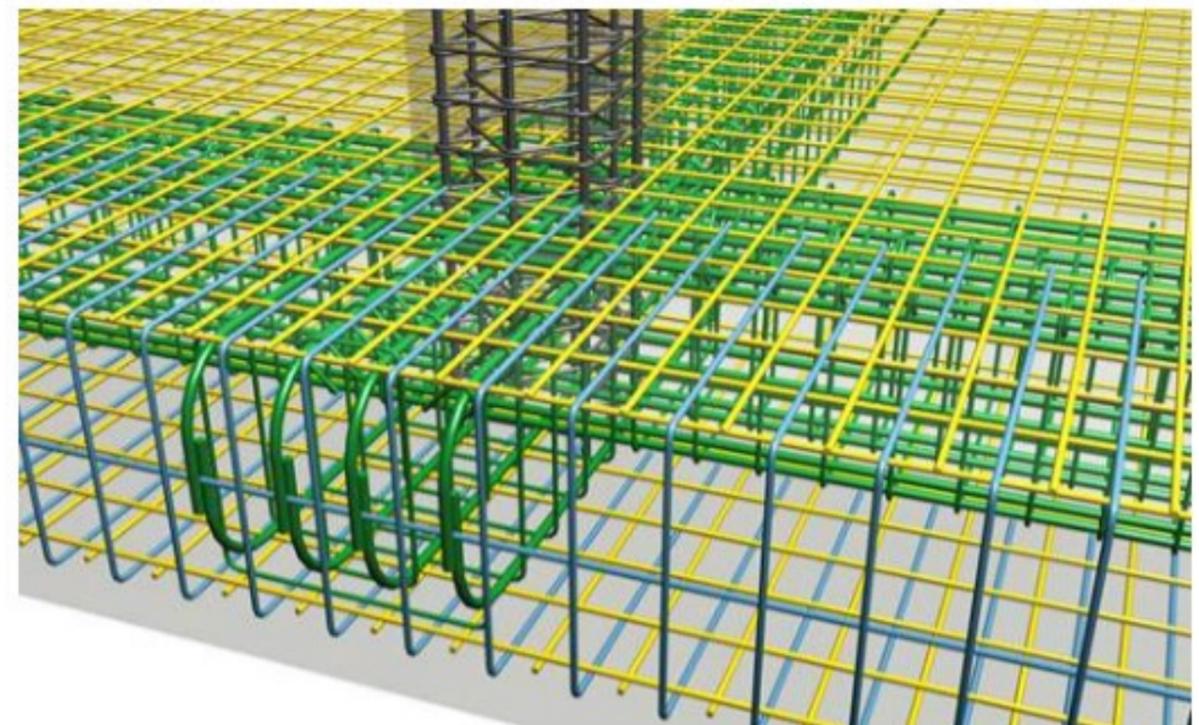
Впровадження сучасних принципів протидії сейсмічним впливам у досліджувану модель будівлі



2D-схема будівлі



Вузол спільного армування колони та балки



Вузол армування стрічкового фундаменту

1. Проведено всебічне дослідження особливостей впливу сейсмічних навантажень на споруди, враховуючи їхню геометричну форму, місцезнаходження, тип основних несучих конструкцій та вид фундаменту.
2. У середовищі RFEM 6 виконано варіативне моделювання поведінки будівлі з плоскою рамою різної поверховості (4, 8 та 15 поверхів відповідно) під дією сейсмічного навантаження. Під час моделювання розглянута поведінка двох варіантів плоских рам: за каркасною схемою (складається тільки з колон) та за подвійною схемою (складається з колон та стін в центральній частині будівлі).
3. При моделюванні дії сейсмічних сил встановлено, що максимальне переміщення 15-ти поверхової конструкції каркасного типу складає 160 мм, що майже вдвічі більше ніж у конструкції подвійного типу (75 мм). Це свідчить про необхідність подальшого улаштування широкого сейсмічного шва між багатоповерховими будинками за каркасною схемою.
4. За результатами моделювання визначено, що у подвійних системах стіни розвивають сприятливу поведінку на нижніх поверхах, а колони – на верхніх. Для цього на практиці необхідне забезпечення надійної сумісної роботи каркасів та стін.
5. Найбільш раціональною схемою фундаменту під обрану модель є фундамент зі стінами із підвалом по всьому периметру будівлі (власний період форми коливань 0,7 с).
6. Досліджувана модель будівлі була експортована із RFEM 6 в середовище Autodesk Revit, де додатково була впроваджена низка ефективних конструктивних рішень, що відповідають сучасним загальноприйнятим принципам протидії сейсмічним впливам. Було запроєктовано підсилене армування колон зі встановленням хомутів на відстані 200 мм один від одного, застосування балок з високими вимогами до пластичності, армування плит перекриття зі спеціальними пластиковими підставками, різні види підсиленого армування фундаментів тощо.