

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

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

Магістра

(назва освітнього ступеня)

на тему: Моделювання напружено-деформованого стану бетонної балки
підсиленої композитною арматурою

Виконав: студент _____ 6 курсу, групи МБ_{нм}-61
спеціальності _____ 192

Будівництво та цивільна інженерія

(шифр і назва спеціальності)

_____ Бурлак Д. І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник _____ Ясній П. В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль _____ Данильченко С. М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри _____ Ясній В. П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент _____ Янковий С.Ю.
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

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

Кафедра Будівельної механіки
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Ясній В. П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« » _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня Магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія
(шифр і назва спеціальності)

студенту Бурлак Дмитро Іванович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Моделювання напружено-деформованого стану бетонної балки підсиленої композитною арматурою

Керівник роботи Ясній Петро Володимирович, д.т.н. професор.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «___» _____ 20__ року № _____

2. Термін подання студентом завершеної роботи _____

3. Вихідні дані до роботи Завдання на кваліфікаційну роботу

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ; Властивості та виготовлення композитної арматури. Застосування композитної арматури в будівництві; Метод дослідження напружено-деформованого стану бетонної балки підсиленої композитною арматурою; Напружено-деформований стан балки підсиленої композитною арматурою; Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуація при арматурних роботах; Загальний висновок; Бібліографія.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Каспрук В.Б. к.т.н., доц.		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	Стручок В.С. ст. викл.		
Нормоконтроль	Данильченко С.М. ст. викл.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Властивості та виготовлення композитної арматури. Застосування композитної арматури в будівництві	05.12.2020	
2	Методи дослідження напружено-деформованого стану бетонної балки підсиленої композитною арматурою	08.02.2021	
3	Напружено-деформований стан балки підсиленої композитною арматурою	03.05.2021	
4	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуація при арматурних роботах	10.05.2021	
5	Загальний висновок	15.05.2021	

Студент _____
(підпис)

Бурлак Д. І.
_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Ясній П. В.
_____ (прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 ВЛАСТИВОСТІ ТА ВИГОТОВЛЕННЯ КОМПОЗИТНОЇ АРМАТУРИ. ЗАСТОСУВАННЯ КОМПОЗИТНОЇ АРМАТУРИ В БУДІВНИЦТВІ	8
1.1 Композитна арматура. Класифікація і види	8
1.2 Історія винайдення композитної арматури.....	9
1.3 Технологічний процес виготовлення композитної арматури	9
1.4 Сфера застосування композитної арматури.....	12
1.5 Особливості застосування композитної арматури.....	15
1.6 Технічні характеристики композитної арматури	18
1.7 Переваги та недоліки композитної арматури	20
1.8 Особливості проектування.....	21
1.9 Висновок до розділу 1	22
РОЗДІЛ 2 МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ЗАЛІЗОБЕТОННОЇ БАЛКИ ПІДСИЛЕНОЇ КОМПОЗИТНОЮ АРМАТУРОЮ ..	23
2.1 Вибір програмного комплексу для аналізу напружено-деформованого стану.....	23
2.2 Введення вихідних даних.....	24
2.3 Створення просторової моделі досліджуваної балки	34
2.4 Створення розрахункової моделі балки	37
2.5 Висновок до розділу 2	44
РОЗДІЛ 3 НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН БЕТОННОЇ БАЛКИ ПІДСИЛЕНОЇ КОМПОЗИТНОЮ АРМАТУРОЮ.....	45
3.1 Аналіз переміщення і деформації по осі Y	45

	5
3.2 Аналіз напруженого стану	49
3.3 Аналіз утворення тріщин	54
3.4 Висновок до розділу 3	58
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ ПРИБАРАТУРНИХ РОБОТАХ.....	59
4.1 Інструкція з охорона праці для арматурних робіт. Загальні положення	59
4.2 Вимоги безпеки перед початком роботи.	61
4.3 Вимоги безпеки під час виконання робіт.	62
4.4 Вимоги безпеки після закінчення роботи	64
4.5 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях	65
4.6 Висновок до розділу 4.....	65
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	66
БІБЛІОГРАФІЯ.....	67

ВСТУП

Цікавість до композитної арматури як матеріалу почала проявлятися в середині ХХ століття в зв'язку з рядом обставин. Збільшилось застосування армобетонних конструкцій на відповідальних об'єктах, де потрібно було забезпечити конструкціям експлуатацію в агресивному середовищі, в якому сталевій арматурі важко гарантувати надійну стійкість від корозії. Виникла необхідність забезпечити деяким конструкціям діелектричну та антимагнітну властивість.

Врешті до уваги можна взяти економію природних ресурсів землі, запасів руди та враховуючи той факт що чорна металургія займає друге місце за кількістю викидів забруднюючих речовин, враховується і екологічний фактор.

Сталева арматура досягла піку свого вдосконалення. На сьогоднішній момент її механічні і технологічні властивості дозволяють виконати більшість задач з мінімальною собівартістю. Проте існує ряд робіт в яких як альтернативу сталевій більш економічно доцільно використати композитну арматуру – діелектрик, має високу стійкість до агресивного середовища та є радіопрозорою.

В основі композитної арматури є матеріал, який формується з композитного волокна (базальтового, скляного, арамідного, карбонового) та в'язучого – термоактивної синтетичної смоли (пластика). В зв'язку з вищою вартістю арматури з арамідного та карбонового волокна ми розглянемо армування з склопластиковою арматурою.

Метою дипломної роботи є дослідити напружено-деформований стан бетонної балки підсиленої композитною арматурою

Об'єктом дослідження є бетонна вільно обперта балка армована композитною арматурою та навантажена не симетрично.

Предметом дослідження є напружено-деформований стан бетонної балки підсиленої композитною арматурою

Метод дослідження полягає у створенні моделі напружено-деформованого стану армованої балки в програмному комплексі ANSYS 19.2 методом скінченних елементів

Наукова новизна отриманих результатів полягає в використанні композитної арматури для покращення властивостей бетонних конструкцій. Результати відкривають подальшу перспективу для дослідження та розкриття потенціалу матеріалу шляхом збільшення кількості стержнів, діаметру стержнів, їх форму або використання спарених стержнів.

Апробація результатів магістерської роботи. Виконана на IV Міжнародній студентській науково-технічній конференції «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання» (Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 23-24 квітня 2021 року).

Публікація результатів магістерської роботи здійснена у збірнику тез вищезазначеної конференції.

Робота виконана згідно з тематикою науково-дослідних робіт кафедри будівельної механіки ТНТУ та державними програмами надійності і економічності будівельних виборів, матеріалів і конструкцій.

Ключові слова: *Композитна арматура, напружено-деформований стан, метод скінчених елементів, армована балка.*

РОЗДІЛ 1 ВЛАСТИВОСТІ ТА ВИГОТОВЛЕННЯ КОМПОЗИТНОЇ АРМАТУРИ. ЗАСТОСУВАННЯ КОМПОЗИТНОЇ АРМАТУРИ В БУДІВНИЦТВІ

1.1 Композитна арматура. Класифікація і види

Композитна арматура - неметалеві стержні, що складаються із скляних, базальтових, вуглецевих або арамідних волокон. Жмут цих волокон об'єднується в монолітний прут за допомогою синтетичних смол (епоксидної, епоксифенольної, поліефірної та ін.). Арматуру виготовлену із скляних волокон, прийнято називати склопластиковою (АСП), із базальтових волокон - базальтопластиковою (АБП), із вуглецевих волокон - вуглепластиковою (рис. 1.1) [1].

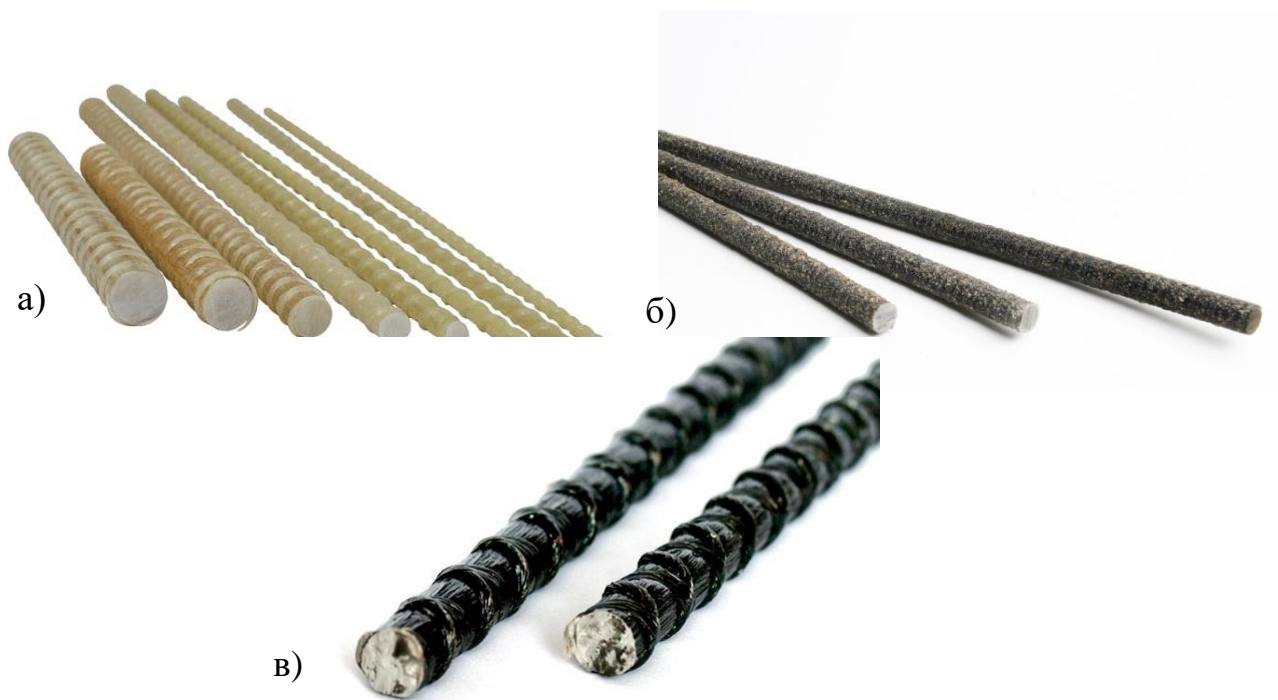


Рисунок 1.1 Композитна арматура: а) склопластикова арматура; б) базальтопластикова арматура; в) вуглепластикова арматура

1.2 Історія винайдення композитної арматури

В 60-х роках минулого століття в будівельній індустрії постало питання - чи зможе полімерна арматура замінити металеву. Це було зумовлено тим, що деяким будівельним об'єктам доводилось експлуатуватись в агресивному середовищі. Застосування металевої арматури в умовах агресивного середовища не було доцільним через її схильність до корозії, а також через здатність проводити електричний струм .

В цей час з'явилась ідея створення високоміцної не металевої арматури, основою якої є суцільне лугостійке скляне волокно діаметром 10-15 мікрон. Жмут таких волокон об'єднується в монолітний прут за допомогою синтетичних смол (епоксидної, поліефірної, епоксифенольної та ін.) Тоді дана арматура була задіяна в конструкціях хімічних складів, в низці покриттів які розміщені на жорсткій основі (підлоги цехів, складів, дорожні покриття), у полімербетонних ваннах в цехах електролізу на підприємствах кольорової металургії. Та до масового виробництва такої арматури не дійшло .

Навіть в наш час питання про неметалеву арматуру залишаються актуальними. Вчені різних країн світу проводять дослідження, створюють зразки, випробовують її задля покращення характеристик [2].

1.3 Технологічний процес виготовлення композитної арматури

Технологічний цикл виробництва здійснюється на спеціалізованих лініях. Стандартний комплект обладнання для випуску композитної арматури:

- шпулярник, на якому встановлюють бобіни із склоровінгу;
- натяжний механізм включає вузол нагріву сировини і ванну для просочення;
- обмотувальник призначений для формування і обмотки (навивки) стержня;
- верстат для розподілу піщаної посипання;

- тунельна піч служить для прогріву пучка ниток після просочення епоксидною смолою;
- ванна для водяного охолодження джгута після печі;
- притискний пристрій з приводом, автоматичний різак.

Довжина приміщення для монтажу лінії повинна становити не менше 22 метрів. Кожен з верстатів по ширині займає близько метра. Середня пускова потужність - 12 кВт, робоча - 4 кВт (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 Верстат для виготовлення композитної арматури

Технологія пред'являє дві вимоги до оснащення цеху:

1. До печі підводиться примусова витяжка.
2. У цеху потрібно встановити припливну (примусову або природну) вентиляцію.

На ринку представлено обладнання різних компаній, Розраховане на різну продуктивність і обсяги продукції зі скловолкна, отже, різний за ціною.

Короткий технологічний процес підготовки склоровінгу:

- підготовка вихідної сировини - для додання матеріалу тягучість його розплавляють;
- витяжка ниток товщиною до 20 мкм;
- нанесення на нитки епоксидної смоли;
- формування пучків з безлічі ниток, тобто власне, склоровінгу.

Ровінг - це основа майбутньої арматури (рис. 1.3). Від нього залежать міцність і інші технічні характеристики арматури. Тому для виготовлення композитної арматури дуже важливо використовувати якісну сировину. Для зниження вартості виробів допустимо додавати скло, отримане в результаті рециклінгу. Процес підігріву і поділу ниток здійснюється на агрегатах лінії. Устаткування налаштовується на виробу певної довжини і діаметру.



Рисунок 1.3 Змотування просоченого смолами ровінгу в пучок верстаком.

Етапи процесу формування композитної арматури:

1. Заправлені в шпулярник нитки надходять на пристрій натягу, який виконує кілька функцій. Верстат рівномірно розподіляє виниклу в нитках внутрішню напругу і розміщує їх у формі пучка.
2. Зв'язки з нанесеним масляним складом обсушують і прогрівають нагрітим повітрям.
3. Підготовлені зв'язки ниток опускають в ванни, заповнені нагрітим вяжучим.
4. Калібрувальний механізм формує стрижень заданого діаметра. У разі виготовлення арматурних стержнів з ребрами, на основу додатково намотуються нитки, що формують ребра.
5. Заготовки надходять в тунельну піч. Попередньо по поверхні виробів без навивки розподіляється пісок дрібної фракції (рис. 1.4).

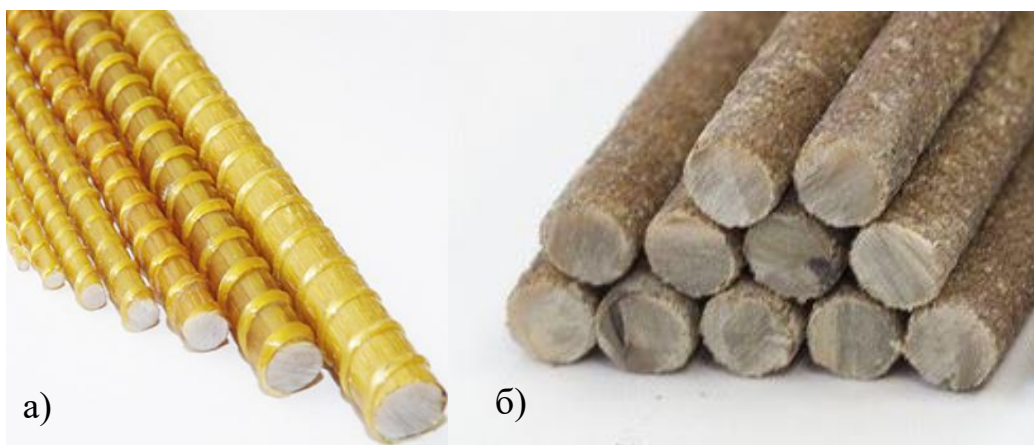


Рисунок 1.4 Метод підсилення зчеплення з композитною арматурою: а) формування ребер з ровінгу; б) нанесення покриття із піску

Для виходу готового продукту залишається тільки охолодити стержні проточною водою, нарізати або змотати в бухти [3].

1.4 Сфера застосування композитної арматури

Незважаючи на фактор економічної привабливості АСП і АБП композитних арматур, через перелік деяких своїх технологічних і фізичних властивостей, їх використання є обмеженим. Поки що повністю замінити звичайну сталеву арматуру в багатьох технологіях їй не вдається. Проте в сферах будівництва де її застосування дозволене вона значно заощаджує кошти замовника, при збереженні прийнятних (а за деякими параметрами – навіть кращих) механічних і фізико-хімічних характеристик інженерних споруд.

Сферами в яких застосування композитної арматури найбільш поширене є:

- будівництво малоповерхових дачне і котеджів (рис. 1.5);
- армування стрічкових фундаментів, кладки легких (зазвичай – пінобетонних) стін, для будівель промислового або господарського призначення (ангари, склади, бокси, тваринницькі сараї, і т.д.) (рис. 1.6);



Рисунок 1.5 Будівництво приватного будинку з армування композитною арматурою



Рисунок 1.6 Використання композитної арматури для армування срічкового фундаменту та газобетонної кладки

- при будівництві в галузі гідротехніки, для будівництва підірних стін, водоочисних споруд, причальних, берегоукріплювальних стінок, дамб, для створення штучних водойм (басейнів, відстійників, фонтанів, ставків, відстійників, дренажів). За умов контакту з хімічно агресивним середовищем (солоною морською водою, промисловими, каналізаційними, відстійними стоками) найкраще застосовувати базальтопластик (АБП) (рис. 1.7);



Рисунок 1.7 Армування басейну на очисній станції води в м. Вац, Угорщина

- в будівництві доріг, для влаштування міцного дорожнього полотна із армуванням, зміцнення укосів дороги арморешітками, в протизсувних підпірних стінках (рис. 1.8);
- в сільському господарстві, квітникарстві – для теплиць і парників, в якості дешевих та легких рамних елементів.



Рисунок 1.8 Застосування композитної сітки для влаштування дорожнього полотна

1.5 Особливості застосування композитної арматури

На вітчизняному ринку найбільшого поширення отримали склопластикові та базальтопластикові арматури. Випускаються в прутах лімітованого діаметра від 4мм до 20мм (4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20). Зарубіжні виробники можуть виготовляти діаметром до 40 мм (для зрівняння – у будівельній сталевій арматурі класу А400с перетин може сягати до 80мм). Композитна арматура невеликого поперечного діаметру випуску відразу ж виказує її обмежену сферу застосування – будівлі і споруди низького класу відповідальності СС1, їх елементи, що експлуатуються в умовах порівняно невеликих навантажень.

Використання АСП і АБП здатне значно здешевити будівництво. Так, якщо у ваговому відношенні вартість АСП арматури в 2 рази менша за сталеву, то в об'ємному вираженні (за 1 погонний метр, за однакового діаметру) вона вже дешевше приблизно в 4 рази. Якщо порівняти вартість АСП із залізною за вагою, в об'ємному вираженні (при умові однакового поперечного перерізу) все одно ціна буде приблизно в двічі менша.

Може використовуватись із заниженням по діаметру у відповідних армобетонних конструкціях (стрічкових фундаментах, підпірних стінках, несучих та внутрішніх стінах). Що ще більше знижує вартість будівництва при її застосуванні.

Таблиця 1.1

Таблиця допустимої заміни при поздовжніх навантаженнях:

Сталева арматура А-III	Композитна арматура
6А-III (d = 6мм)	АСП-4, АБП-4 (d = 4мм)
8А-III (d = 8мм)	АСП-6, АБП-6 (d = 6мм)
10А-III (d = 10мм)	АСП-8, АБП-8 (d = 8мм)
12А-III (d = 12мм)	АСП-8, АБП-8 (d = 8мм)
14А-III (d = 14мм)	АСП-10, АБП-10 (d = 10мм)
16А-III (d = 16мм)	АСП - 12, АБП-12 (d = 12мм)

Проте в конструкціях, які експлуатуються з поперечно-пружними напруженнями (навантажені поперечні балки, незакріплені опори, плити перекриття, колони (стовпи) на яких є дія сильного вітрового навантаження) дозволено замінювати сталеву арматуру на композитну із двократним збільшенням діаметру [4].

Таблиця 1.2

Таблиця заміни при поперечно-пружних навантаженнях:

Сталева арматура А-III	Композитна арматура
6А-III (d = 6mm)	АСП-12, АБП-12 (d = 12mm)
8А-III (d = 8mm)	АСП-16, АБП-16 (d = 16mm)
10А-III (d = 10mm)	АСП-20, АБП-20 (d = 20mm)

Одною із відмінностей пластикової арматури є те, що для її монтажу не застосовується звичний метод з'єднання електрозварюванням, як для сталеві арматури. Для виготовлення просторового арматурного каркасу з композитної арматури існує, практично, єдиний спосіб - з'єднання в місцях (вузлах) перетину арматурних стержнів. При цьому для з'єднання, в вузлах, арматурного каркасу потрібно використати надійний матеріал - він повинен мати достатню міцність, щоб витримати навантаження, що виникають при подачі бетону в опалубку, та при його ущільненні.

В подальшому, після застигання бетону, роль міцності вузлів зв'язки втрачає свій сенс. Так, арматурний каркас бетонного моноліту міг би продовжувати виконувати свою функцію, навіть якби всі його вузлові зв'язки раптово зникли.

Найбільш поширеними варіантами в'язання такої арматури є:

1. Сталевим м'яким в'язальним дротом. З практичного досвіду можна відзначити, що його оптимальна товщина повинна бути в межах 0,8 - 1,2 мм. Водночас існують варіації в плані механізації праці:

- вручну (при малих обсягах робіт), за допомогою кусачок і щипців. Варіант вузла зав'язування не має особливого значення, аби було міцно та надійно;
- за допомогою спеціального в'язального гачка;
- за допомогою напівавтоматичного в'язального пістолета (при великих обсягах робіт).

2. В'язальним шпагатом із поліпропілену. Цей варіант також виконується ручною роботою, що оптимально підходить для не великих обсягів робіт. Також цей спосіб в'язання композитної арматури дешевий.

3. Пластиковими хомутами (стяжками) (рис. 1.9). Ця робота також є ручною, та не піддається автоматизації, але при цьому має порівняно високу швидкістю виконання. Чим була з'єднана арматура, пластиковим хомутом чи дротом, на показники міцності не впливає. Пластикові хомути можуть забезпечити навіть вищу міцність, а також вони дешевші, що дозволить знизити вартість робіт.

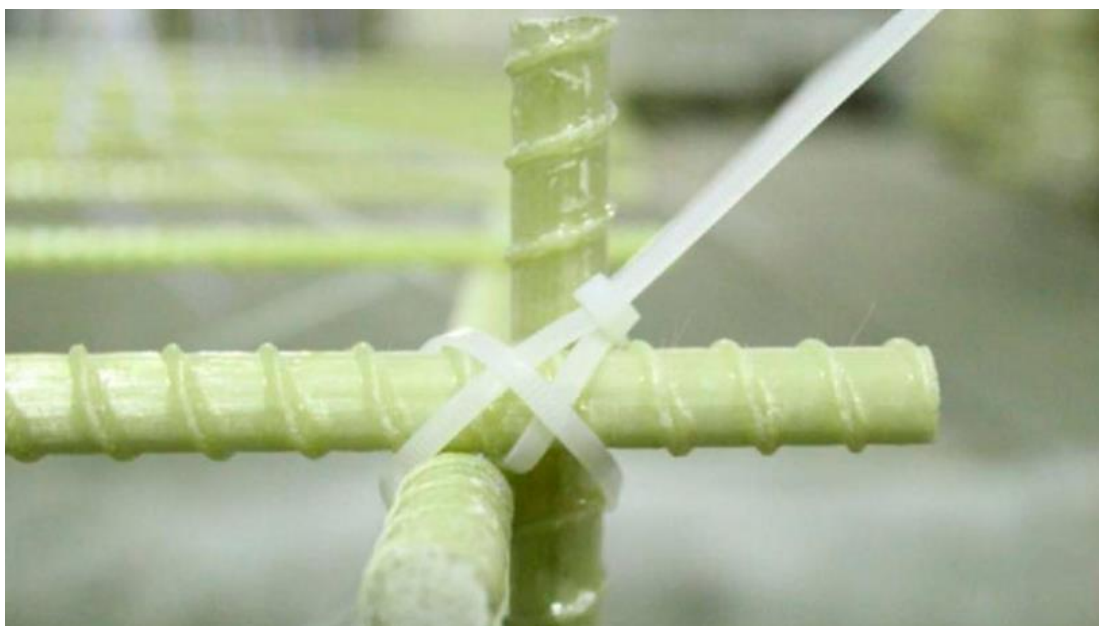


Рисунок 1.9 Використання пластикових хомутів для в'язання

4. За допомогою спеціальних пластикових затискачів, фіксаторів та кліпс (рис. 1.10). Цей спосіб далеко не найдешевший (через порівняно високу вартість пластикових кліпс). Однак, він користується популярністю у професіоналів, оскільки дозволяє із легкістю, швидкістю й точністю взаємно розмістити і з'єднати арматурні стержнів між собою. Монтаж арматури пластиковими фіксаторами дозволяє звести трудовитрати до мінімуму, підвищити швидкість монтажу, забезпечити правильну геометричну форму арматурного поясу при великих обсягах і масштабах робіт [5].

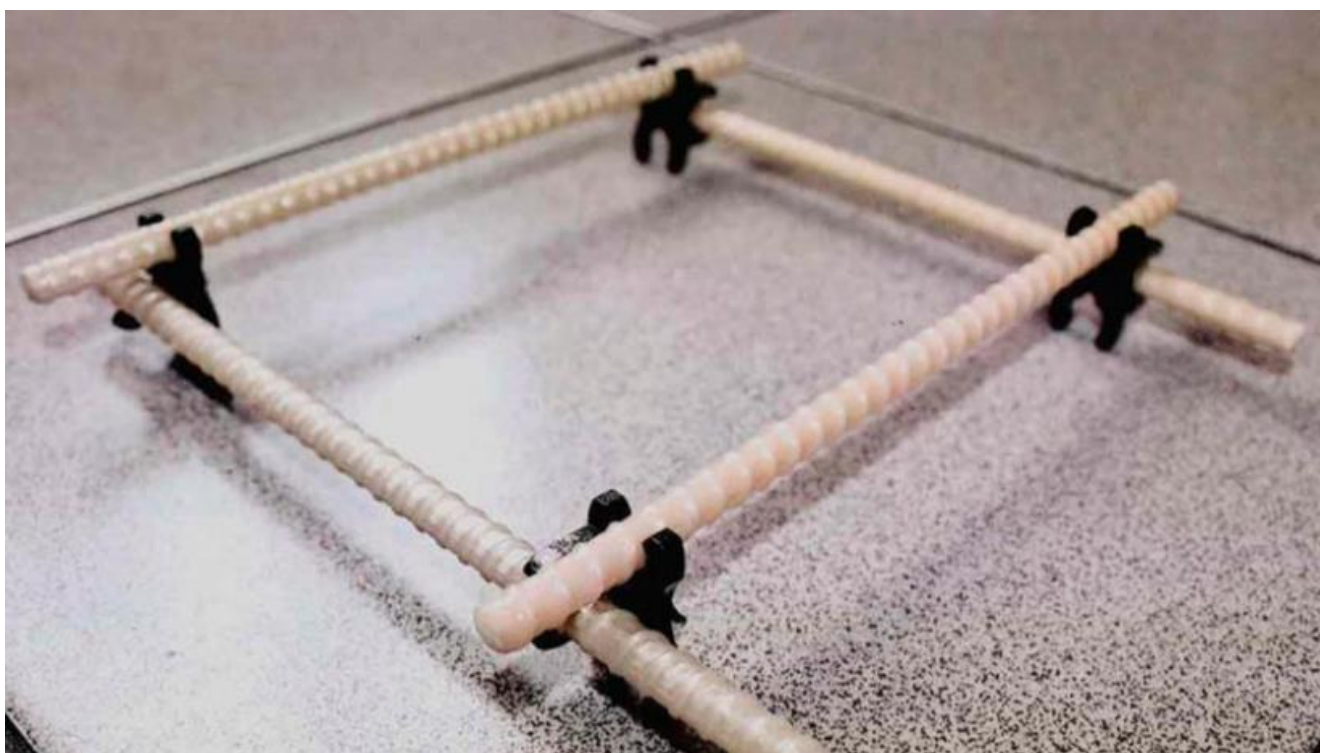


Рисунок 1.9 Використання пластикових хомутів для в'язання

1.6 Технічні характеристики композитної арматури

Для порівняння основних фізико-механічних властивостей композитної та металевої арматури створено таблицю 1.3. Порівняно арматуру класу А400с і склопластикову арматуру (АСП).

Таблиця 1.3

Характеристики композитної і металевої арматури [6]

1	2	3
	Склопластикова арматура (АСП)	Металева арматура
Сировина	Ровінг скляний лугостійкий, смола епоксидна	Метал
Пружність	Максимально пружний	Пружно-пластичний
Діаметр продукції, мм	4-20 мм	6-80 мм
Міцність за розтягу, МПа	800-1300 МПа	390-490 МПа
Подовження, %	2,2%	25%
Пружність в МПа	50 000-55 000 МПа	210 000 МПа
Щільність готової продукції в кг / м ³	1400-1900 кг/м ³	7850 кг/м ³
Теплопровідність, Вт / (м ⁰ оС)	0,35 Вт/(м ⁰ оС)	46 Вт/(м ⁰ оС)
Лінійне розширення, ах-5 / С	9-12 ах-5/С 9-12	13-15 ах-5/С 13-15
Стійкість до агресивного середовища	Нержавіючий матеріал, кислотостійкий	Корозіє, низька стійкість
Теплопровідність	Нетеплопровідний	Теплопровідний
Діелектричні властивості	Не проводить електрику	Електропровідна
Довжина продукції в м	В залежності з заявкою замовника	Стрижні 11,7 м
Термін експлуатації	Не менше 80 років	Згідно ГОСТу

1.7 Переваги та недоліки композитної арматури

Стосовно будь-якого будматеріалу можна назвати як переваги, так і недоліки.

Переваги:

- легка вага;
- висока розривна міцність;
- економічність;
- енергоефективність;
- довговічність;
- радіопрозорість;
- простота монтажу;
- низька теплопровідність;
- не піддається корозії;
- стійкість до агресивного середовища;
- легкість транспортування;
- не проводить електрику і не піддається дії електромагнетизму;
- коефіцієнт розширення, схожий з бетоном.

Недоліки:

- низький модуль пружності;
- низька термостійкість;
- не можливо виготовити гнуті вироби на буд майданчику;
- не можливо зварювати;
- складність виробництва [7].

1.8 Особливості проектування

Основною характеристикою міцності композитної арматури є характеристичне значення опору на розтяг. Розрахункові значення опору композитної арматури на розтяг f_{fd} визначають за формулою 1.1.

$$f_{fd} = \frac{f_{fk}}{\gamma_{sf}}, \quad (1.1)$$

де f_{fk} -характеристичне значення опору на розтяг;

γ_{sf} -коефіцієнт надійності для композитної арматури, який дорівнює 1,5.

Основними деформаційними характеристиками не металевої композитної арматури є значення:

-модуля пружності арматури E_f

-відносних деформацій видовження арматури ε_{f0} при досягненні напружень

розрахункової міцності на розтяг f_{fd} ;

-граничних відносних деформацій видовження арматури ε_{fu}

Елементи з неметалевою композитною арматурою в рамках першої групи граничних станів слід розраховувати за несучою здатністю згідно з ДБН В.2.6-98 і ДСТУ Б В.2.6-156 з урахуванням додаткових положень з ДСТУ-Н Б В.2.6-185:2012.

При розрахунку бетонних елементів з неметалевою композитною арматурою за другою групою граничних станів слід керуватись вимогами 7.1 ДБН В.2.6-98 з обмеження рівня напружень в бетоні, контролю тріщиноутворення та ширини розкриття тріщин, контролю прогинів. При обмеженні рівня напруження в бетоні слід керуватись вимогами 5.2 ДСТУ Б В.2.6-156. При контролі тріщиноутворення та ширини розкриття тріщин, а також контролі прогинів слід керуватись 5.3 і 5.4 ДСТУ Б В.2.6-156 з урахуванням додаткових положень з ДСТУ-Н Б В.2.6-185:2012 [7].

1.9 Висновок до розділу 1

На ринку матеріалів композитна арматура з'явилась відносно недавно. Вона є надзвичайно приваблива для застосування через свою дешевизну і низьку масу. Також в композитній арматурі зустрічаються властивості які ніколи раніше не були присутні в металевій арматурі: радіопрозорість, стійкість до корозії, не провідність струму і не піддавання дії електромагнетизму. Тому на даний момент композитна арматура не широкого застосування. На сьогодні її прийнято використовувати в будівництві дорожнього покриття, стрічкових фундаментах малоповерхових будівель, берегових укріплень, силосних ям, водоочисних споруд, резервуарів для зберігання речовин які мають згубний вплив на метали (луги, кислоти тощо), а також в конструкціях які піддаються постійному впливу магнітного поля. Тому, на мою думку, з наступним розвитком технологій енергетики і радіотехнологій композит здобуде значно більшої популярності серед матеріалів.

РОЗДІЛ 2 МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ЗАЛІЗОБЕТОННОЇ БАЛКИ ПІДСИЛЕНОЇ КОМПОЗИТНОЮ АРМАТУРОЮ

2.1 Вибір програмного комплексу для аналізу напружено-деформованого стану

Для створення і аналізу моделі навантаженої балки використано програмний комплекс ANSYS 19.2 (рис. 2.1). Даний програмний пакет є універсальною програмою, яка використовує метод скінчених елементів (МСЕ). Програмне забезпечення для аналізу кінцевих елементів Ansys Mechanical використовується для моделювання конструкцій чи її елементів, електроніки або машинних компонентів, для аналізу міцності, в'язкості, еластичності, розподілу температури, електромагнетизму, потоку рідини та інших атрибутів. ANSYS використовується для визначення того, як продукт буде функціонувати з різними технічними характеристиками.



Рисунок 2.1 – Запуск програмного комплексу ANSYS 19.2

Після запуску програми Workbench в робочому середовищі з'являється вкладка project. В ній присутнє вікно інструментів Toolbox і вікно схем проєкту Project Schematic. Для початку роботи необхідно задати одиниці вимірювання

фізичних і механічних величин, які будуть використовуватися в даному проєкті, вибравши в рядку меню Units > Metric (kg,m,s,°C,A,N,V) (рис. 2.2).

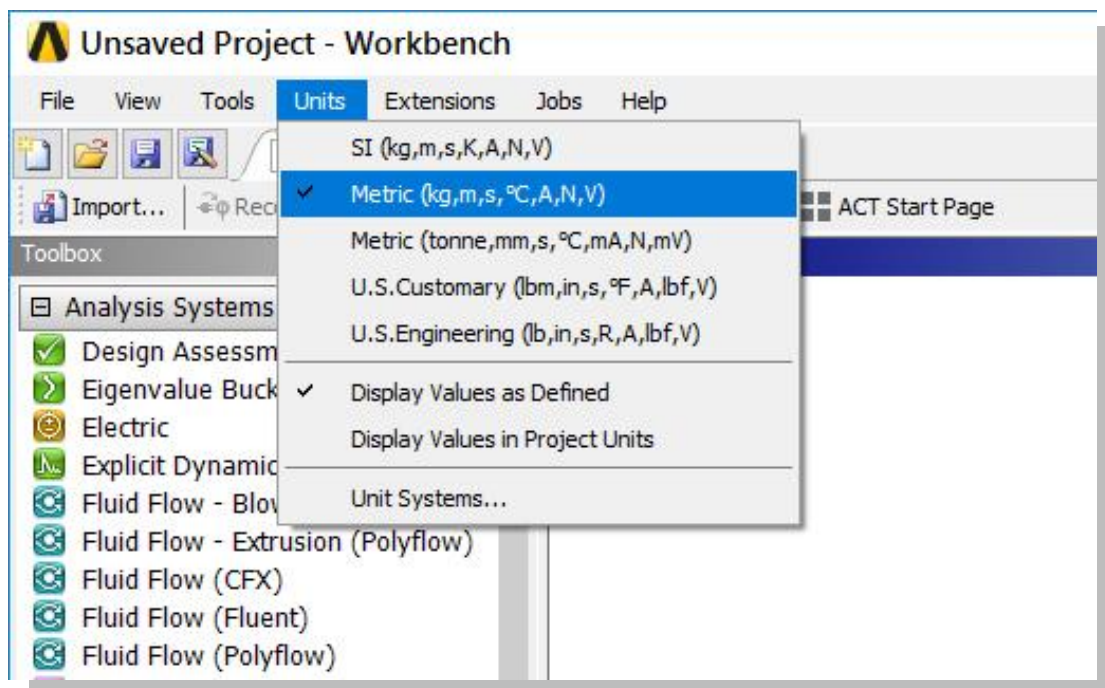


Рисунок 2.2 – Вибір одиниць вимірювання для розрахунку в комплексі ANSYS 19.2

Для створення розрахункової системи у вікні Toolbox зі списку систем для аналізу обрано модуль аналітичної системи Static Structural (рис.2.3). Static Structural це система, яка передбачає статичний структурний аналіз, а саме визначає зміщення, напруження, деформації та зусилля в конструкціях або компонентах, спричинені прикладеними навантаженнями.

2.2 Введення вихідних даних

В розділі Engineering Data створюємо теки для застосовуваних матеріалів задаємо їм властивості і метод розрахунку. Для створення моделі потрібно використати такі матеріали: бетон C20/25, робоча арматура 400С, робоча арматура АКС800, монтажна арматура 240С (рис. 2.4 - 2.8). Для створення матеріалу бетону використано матеріал «concrete» в стандартному наборі матеріалів «General Material», із заміною модуля пружності відповідно до марки

бетону (рис. 2.5). Для матеріалу сталеві арматури обрано стандартний матеріал «Structural Steel», також із зміною модуля пружності (рис. 2.6, 2.8). Для матеріалу композитної арматури створено копію «Structural Steel» і замінено густину, модуль пружності, міцність на стиск і розтяг, що відповідають показникам арматури склопластикової АКС800 (рис. 2.7).

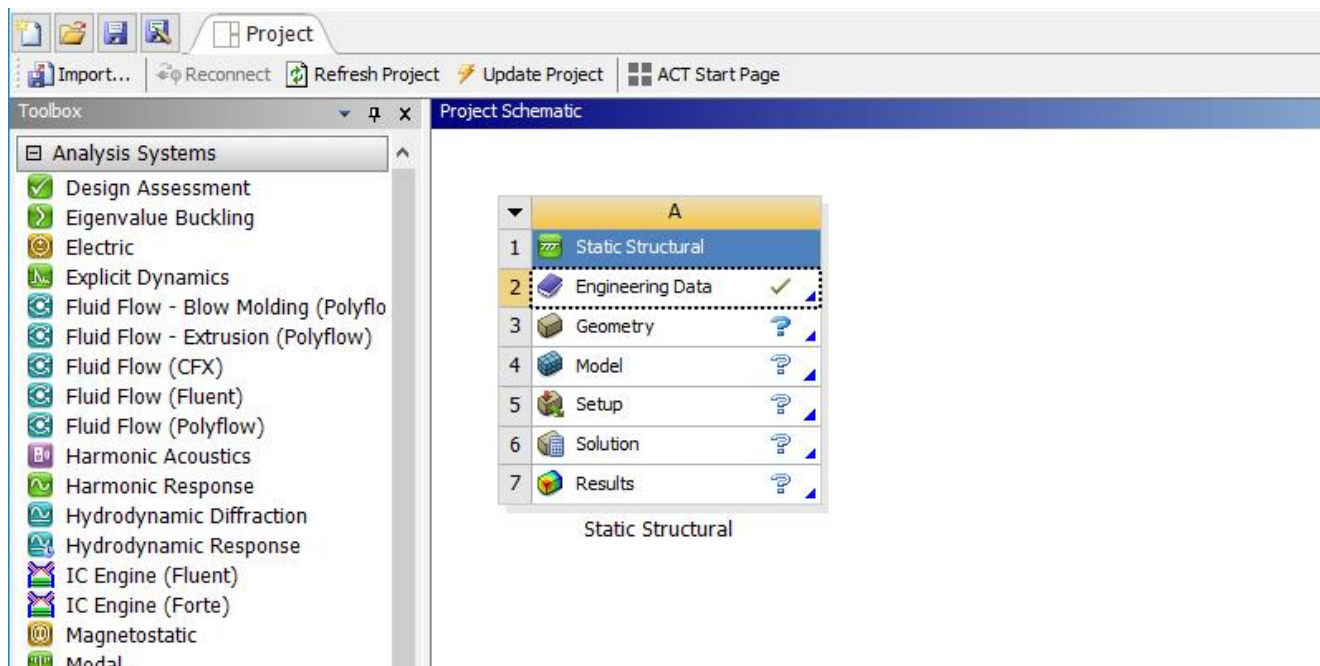


Рисунок 2.3 – Робоче середовище ANSYS 19.2 з вибраною аналітичною системою Static Structural

Outline of Schematic A2: Engineering Data					
	A	B	C	D	E
1	Contents of Engineering Data			Source	Description
2	Material				
3	Structural Steel			General_Materials.xml	Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1
4	АКС800			General_Materials.xml	Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1
5	Арматура 240с			General_Materials.xml	Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1
6	Арматура 400с			General_Materials.xml	Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1
7	Бетон 20/25			General_Materials.xml	

Рисунок 2.4 – Таблиця з даними характеристик матеріалів які будуть задіяні в моделюванні конструкції

Properties of Outline Row 7: Бетон 20/25

	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	2300	kg m ⁻³		
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion				
5	Coefficient of Thermal Expansion	1,4E-05	C ⁻¹		
6	Isotropic Elasticity				
7	Derive from	Young's Modulus and Poisson's Ratio			
8	Young's Modulus	23000	MPa		
9	Poisson's Ratio	0,2			
10	Bulk Modulus	1,2778E+10	Pa		
11	Shear Modulus	9,5833E+09	Pa		
12	Uniaxial Compression Test Data	Tabular			
13	Has Lateral Strain	No			
14	Scale	1			
15	Offset	0	MPa		

Рисунок 2.5 – Властивості бетону C20/25

Properties of Outline Row 6: Арматура 400c

	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	7850	kg m ⁻³		
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion				
5	Coefficient of Thermal Expansion	1,2E-05	C ⁻¹		
6	Isotropic Elasticity				
7	Derive from	Young's Modulus and Poisson's Ratio			
8	Young's Modulus	2,1E+05	MPa		
9	Poisson's Ratio	0,3			
10	Bulk Modulus	1,75E+11	Pa		
11	Shear Modulus	8,0769E+10	Pa		
12	Bilinear Isotropic Hardening				
13	Yield Strength	365	MPa		
14	Tangent Modulus	4000	MPa		

Рисунок 2.6 – Властивості арматури 400C

	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	1400	kg m ⁻³		
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion				
5	Coefficient of Thermal Expansion	1,2E-05	C ⁻¹		
6	Isotropic Elasticity				
7	Derive from	Young's Modulus and Poisson's Ratio			
8	Young's Modulus	50000	MPa		
9	Poisson's Ratio	0,22			
10	Bulk Modulus	2,9762E+10	Pa		
11	Shear Modulus	2,0492E+10	Pa		
12	Strain-Life Parameters				
20	Tensile Yield Strength	530	MPa		
21	Compressive Yield Strength	130	MPa		
22	Tensile Ultimate Strength	530	MPa		
23	Compressive Ultimate Strength	130	MPa		

Рисунок 2.7 – Властивості арматури АКС800

	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	7850	kg m ⁻³		
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion				
5	Coefficient of Thermal Expansion	1,2E-05	C ⁻¹		
6	Isotropic Elasticity				
7	Derive from	Young's Modulus and Poisson's Ratio			
8	Young's Modulus	2,1E+05	MPa		
9	Poisson's Ratio	0,3			
10	Bulk Modulus	1,75E+11	Pa		
11	Shear Modulus	8,0769E+10	Pa		
12	Bilinear Isotropic Hardening				
13	Yield Strength	225	MPa		
14	Tangent Modulus	2500	MPa		

Рисунок 2.8 – Властивості арматури 240С

Для створення реалістичної моделі нелінійної поведінки бетону в списку матеріалів обрано Бетон С20/25. У вікні Toolbox, далі розділі Hyperplastic Experimental Data, робочого вікна інструментів (рис.2.9), обрано опцію Uniaxial Compression Test Data.

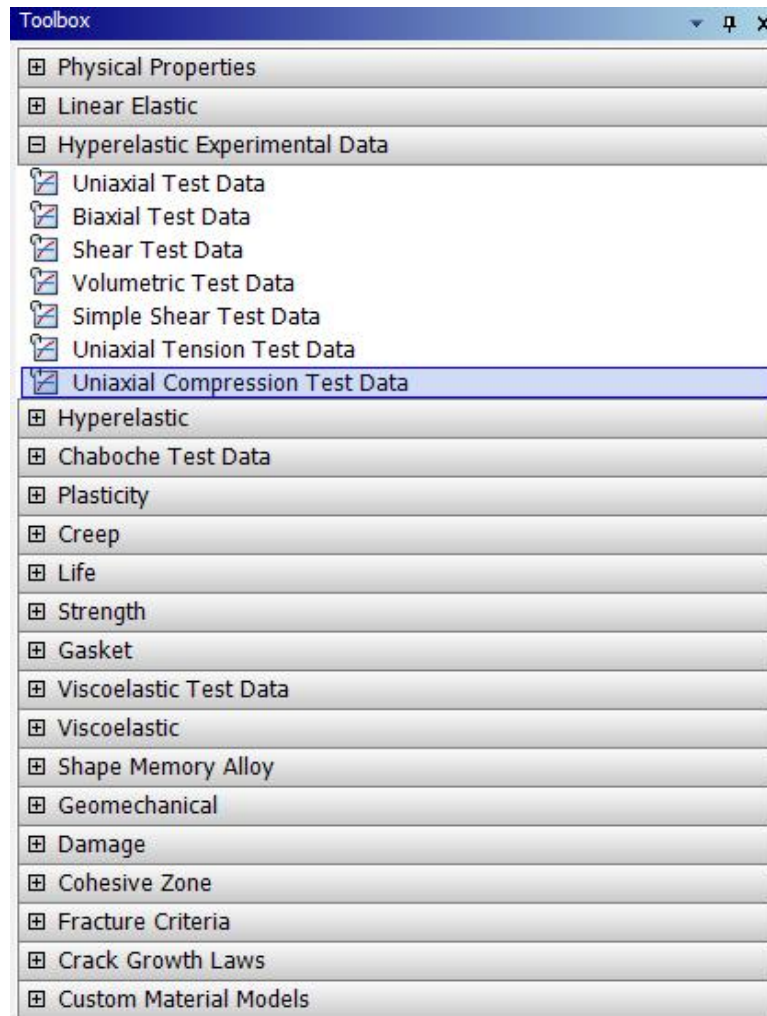


Рисунок 2.9 – вибір опції Uniaxial Compression Test Data в вікні Toolbox

В даному випадку нелінійна поведінка стискання бетону буде представлена у вигляді ізотропної полілінійної моделі поведінки бетону, яка подана Уільямом і Варнке (William & Warnke)[8].

Згідно моделі Уільяма і Варнке полілінійну діаграму деформування бетону за стискання можна вивести за відомими значеннями механічних властивостей бетону, зокрема:

- значення міцності бетону на стиск (напруження руйнування бетону) f_{cd} ;
- початковий модуль пружності бетону E_{cd} .

Для моделі нелінійної поведінки деформування бетону на стиск створюємо діаграму за допомогою формул (2.1-2.3):

$$f = \frac{E_{cd} \cdot \varepsilon}{1 + \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}\right)^2}, \quad (2.1)$$

$$\varepsilon_0 = \frac{2 \cdot f_{cd}}{E_{cd}}, \quad (2.2)$$

$$E_{cd} = \frac{f}{\varepsilon}, \quad (2.3)$$

де f – напруження за довільної деформації ε ; ε_0 – деформація при напруженні руйнування бетону на стиск f_{cd} .

Пункт 1 початок діаграми деформування бетону при нульовому навантаженні.

Пункт 2 дорівнює початковій (30%) стадії руйнування бетону.

Пункт 3-5 відповідає проміжним пунктам деформації 45%, 60%, 80% від максимального значення ε_0 і визначається за формулою (2.1).

Пункт 6 значення деформації в бетоні досягає критичного значення $\varepsilon = \varepsilon_0$.

Отримані результати обчислення переміщення подані в таблиці 2.1 та у вигляді діаграми (рис. 2.10).

Таблиця 2.1 Дані нелінійної зміни деформації бетону на стиск згідно моделі Уільяма - Варнке

№ з/п	Деформація ε , мм/мм	Напруження f , МПа
1	0	0
2	0,000189	4,35
3	0,000567	10,8
4	0,000756	12,8
5	0,00100	14,1
6	0,00126	14,5

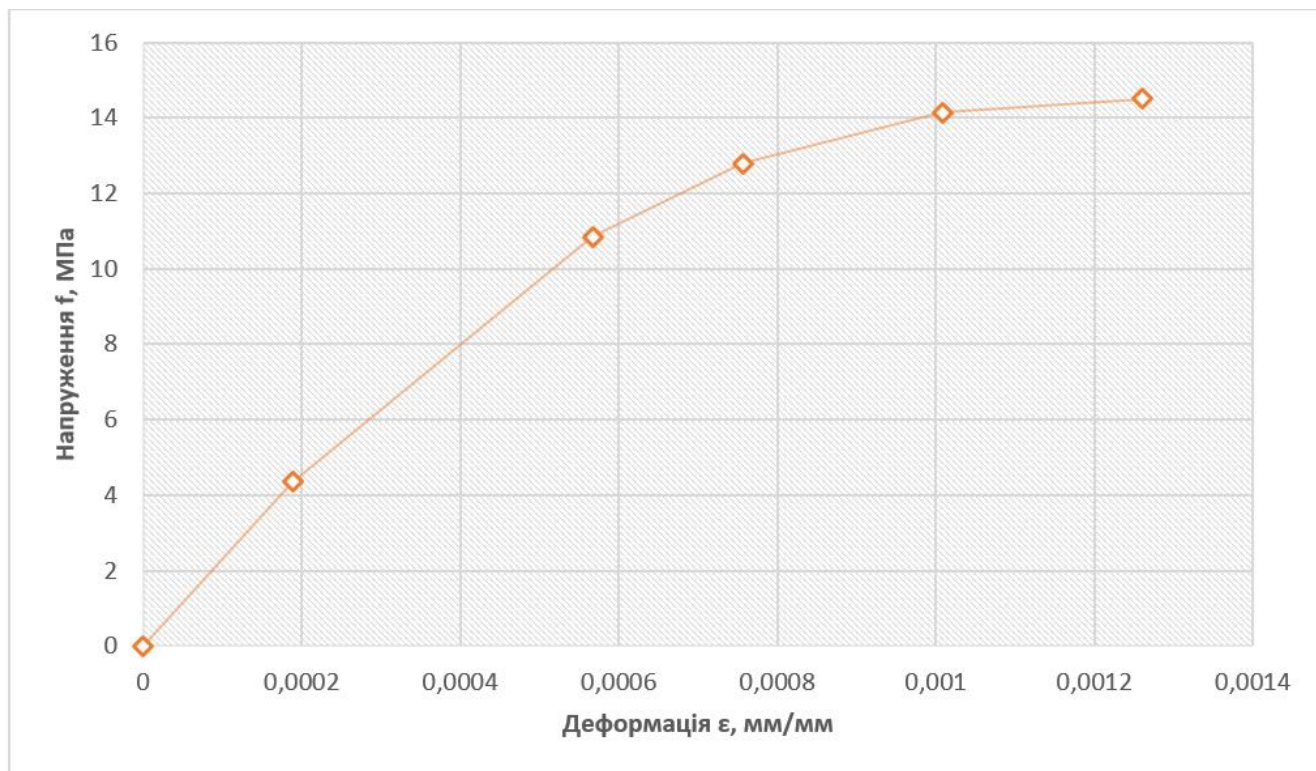


Рисунок 2.10 – Полілінійна ізотропна діаграма деформування бетону за умов стиску (згідно моделі Уільяма - Варнке)

Дану нелінійну модель поведінки бетону додано в розділ ANSYS Engineering Data (рис. 2.11-2.13). В робочому вікні Properties of Outline для властивості Uniaxial Compression Test Data вводимо дані нелінійної деформації бетону на стиск з таблиці (2.1).

Properties of Outline Row 7: Бетон 20/25				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	
2	Material Field Variables	Table		
3	Density	2300	kg m ⁻³	
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion			
5	Coefficient of Thermal Expansion	1,4E-05	C ⁻¹	
6	Isotropic Elasticity			
7	Derive from	Young's Modulus and Poisson's Ratio		
8	Young's Modulus	23000	MPa	
9	Poisson's Ratio	0,2		
10	Bulk Modulus	1,2778E+10	Pa	
11	Shear Modulus	9,5833E+09	Pa	
12	Uniaxial Compression Test Data	Tabular		
13	Has Lateral Strain	No		
14	Scale	1		
15	Offset	0	MPa	

Рисунок 2.11 – Рядок властивостей бетону для введення даних нелінійної деформації бетону на стиск

Table of Properties Row 12: Uniaxial Compression Test Data

A		B		C	
1	Temperature (C)	1	Strain (mm mm ⁻¹)	1	Stress (MPa)
2	22	2	0	2	0
*		3	0,00018913	3	4,35
		4	0,00056739	4	10,852
		5	0,00075652	5	12,794
		6	0,0010087	6	14,146
		7	0,0012609	7	14,5
		*			

Рисунок 2.12 – Таблиця для даних властивості Uniaxial Compression Test Data

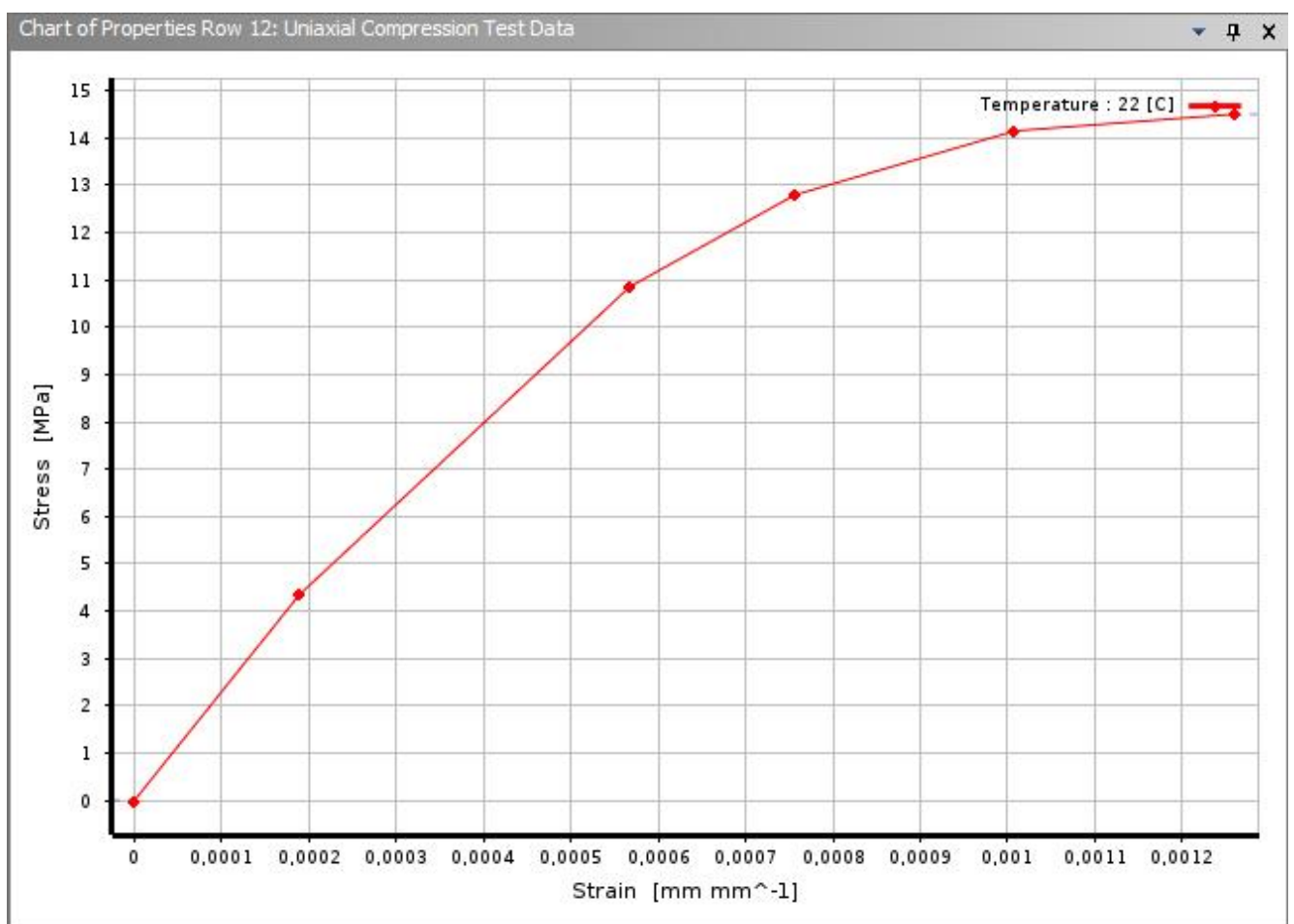


Рисунок 2.13 – Графічне поле властивості Uniaxial Compression Test Data для бетону

C20/25

Для моделювання нелінійної поведінки робочої (А 400С) та монтажної (А 240С) арматур у ANSYS додано в рядок властивостей Bilinear Isotropic Hardening з розділу Plasticity вікна Toolbox (рис. 2.12 -2.16).

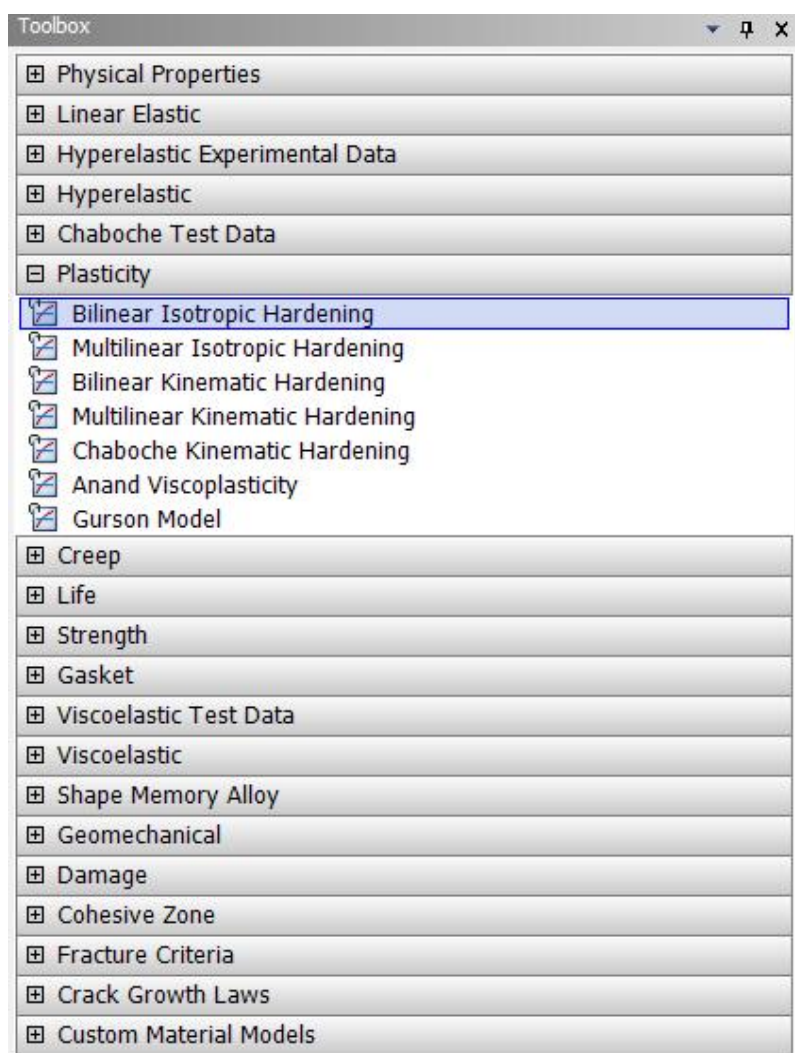


Рисунок 2.12 – Вибір властивості Bilinear Isotropic Hardening у вікні Toolbox

Table of Properties Row 12: Bilinear Isotropic Hardening			
	A	B	C
1	Temperature (C)	Yield Strength (MPa)	Tangent Modulus (MPa)
2		365	4000
*			

Рисунок 2.13 – Таблиця для задання нелінійних властивостей для А400С

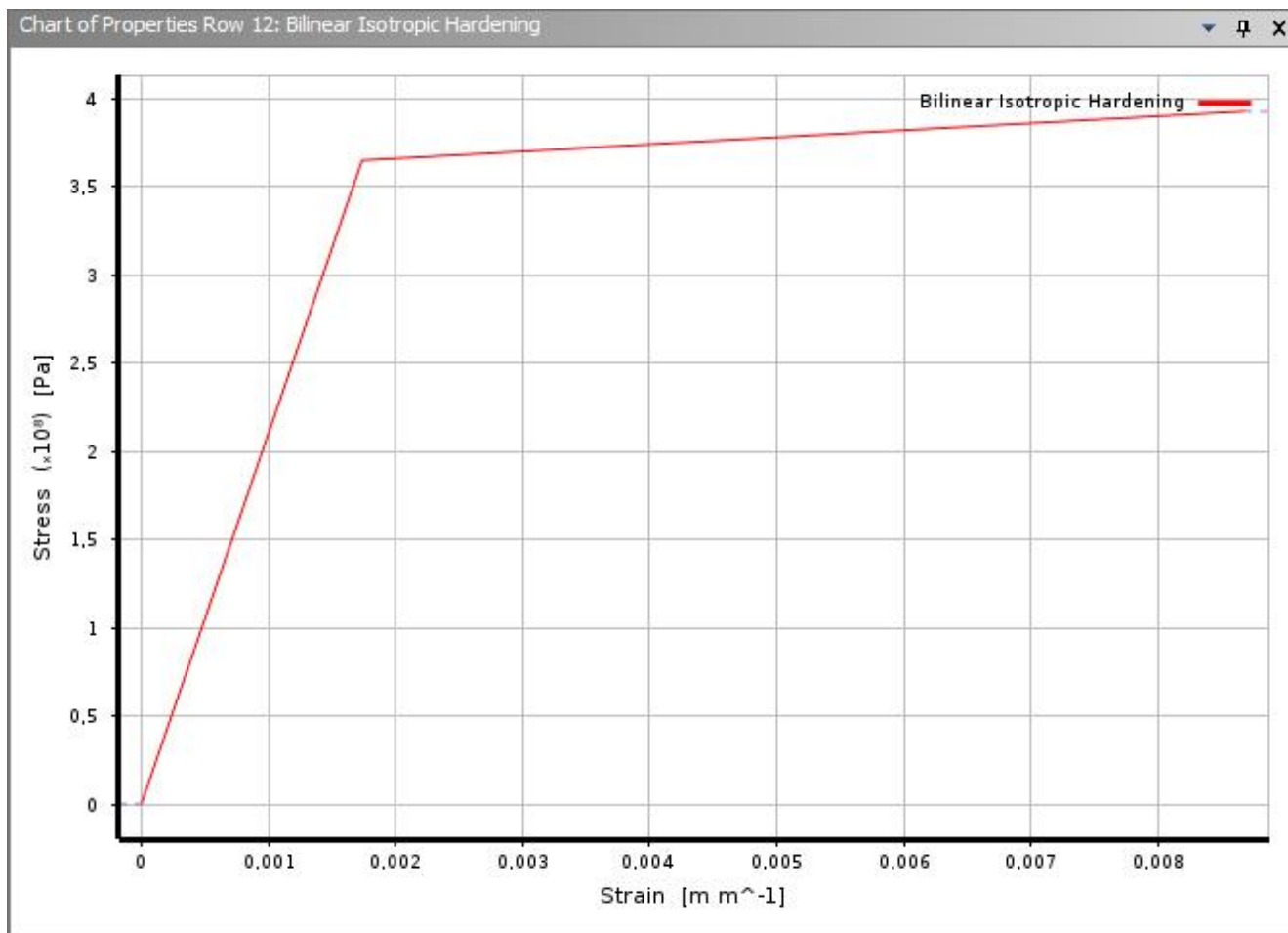


Рисунок 2.14 – Білінійна діаграма пружно-пластичного деформування робочої арматури А 400С

Table of Properties Row 12: Bilinear Isotropic Hardening			
	A	B	C
1	Temperature (C) <input type="text"/>	Yield Strength (MPa) <input type="text"/>	Tangent Modulus (MPa) <input type="text"/>
2	<input type="text"/>	225	2500
*	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Рисунок 2.15 – Таблиця для задання нелінійних властивостей для А240С

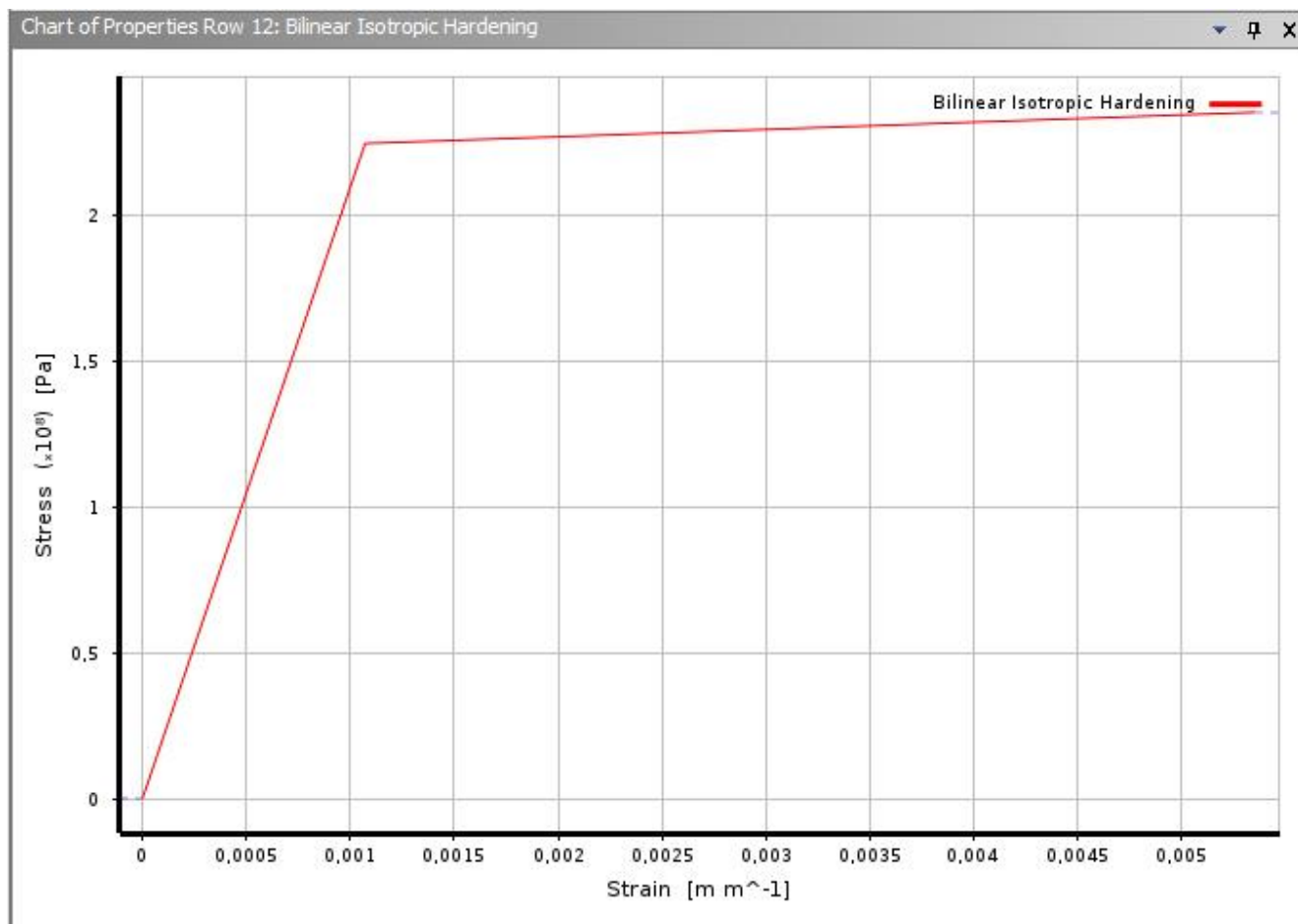


Рисунок 2.16 – Білінійна діаграма пружно-пластичного деформування робочої арматури А 240С

Внесені дані властивостей бетону та арматури відповідають: ДБН [9] та ДСТУ [10], [11].

2.3 Створення просторової моделі досліджуваної балки

Тривимірну модель балки створено в програмі SpaceClaim. SpaceClaim - це програмне забезпечення яке було створене в 2005 році для моделювання твердих тіл. Пізніше його було інтегровано в комплекс ANSYS.

Перейшовши у робоче середовище для створення геометрії тіла Geometry (рис. 2.17), на робочому столі Workbench, Project schematic (рис 2.3), було запущено програму SpaceClaim (рис. 2.18).

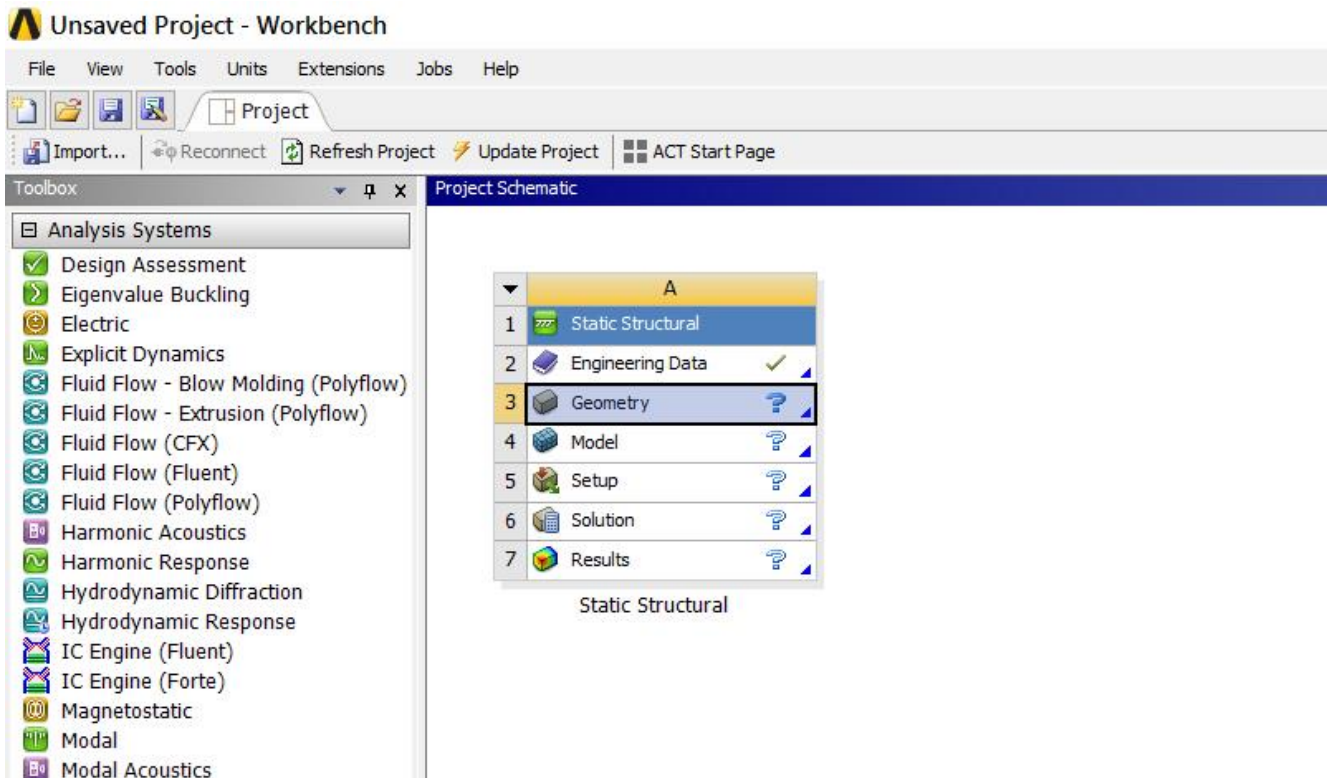


Рисунок 2.17 – Вибір розділу Геометри в схемі проекту

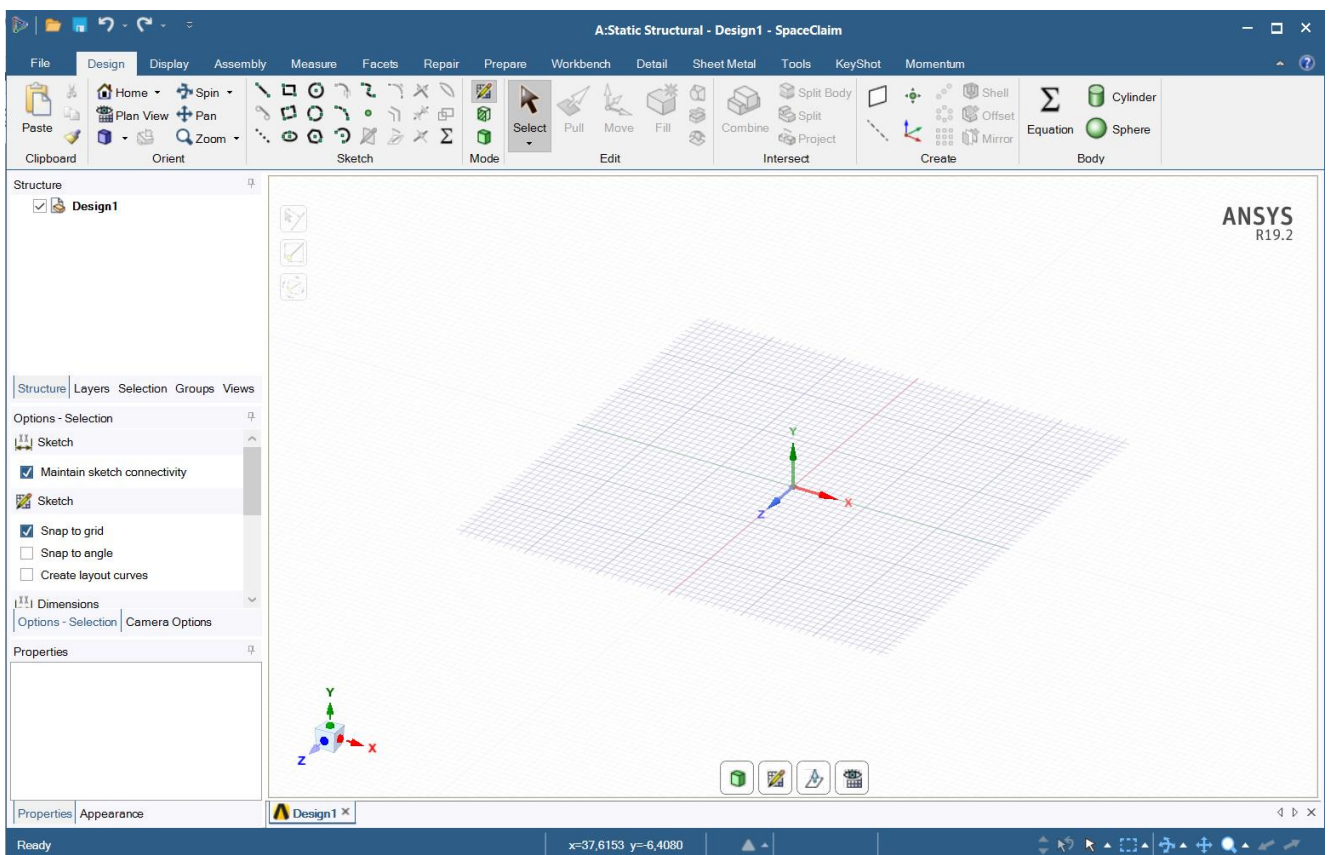


Рисунок 2.18 – Вигляд робочого простору в Space Claim

За допомогою програми SpaceClaim створено залізобетонну балку (рис.2.19). Характеристики конструкції: залізобетонна балка $b = 200$ мм, $h = 400$ мм, $L = 3300$ мм; арматура АКС800 $3\text{Ø}16$ мм; монтажна арматура А240С $2\text{Ø}8$ мм (рис. 2.20).

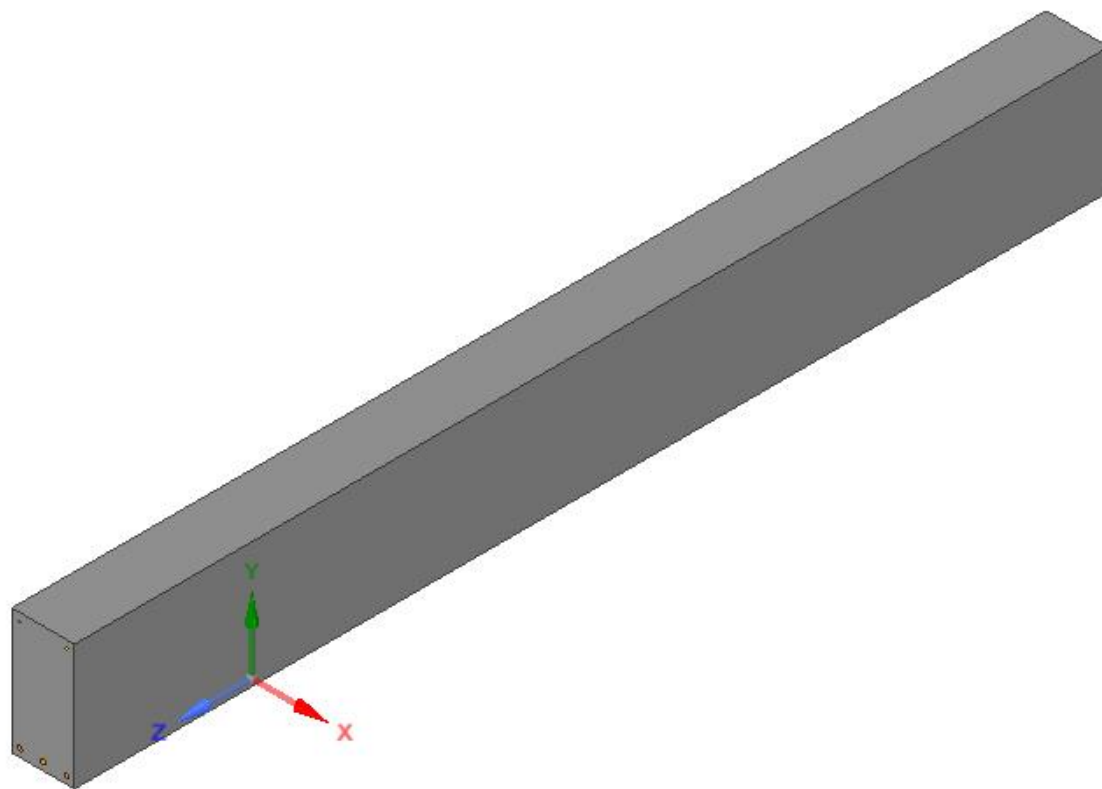


Рисунок 2.19 – Ізометрична проєкція балки

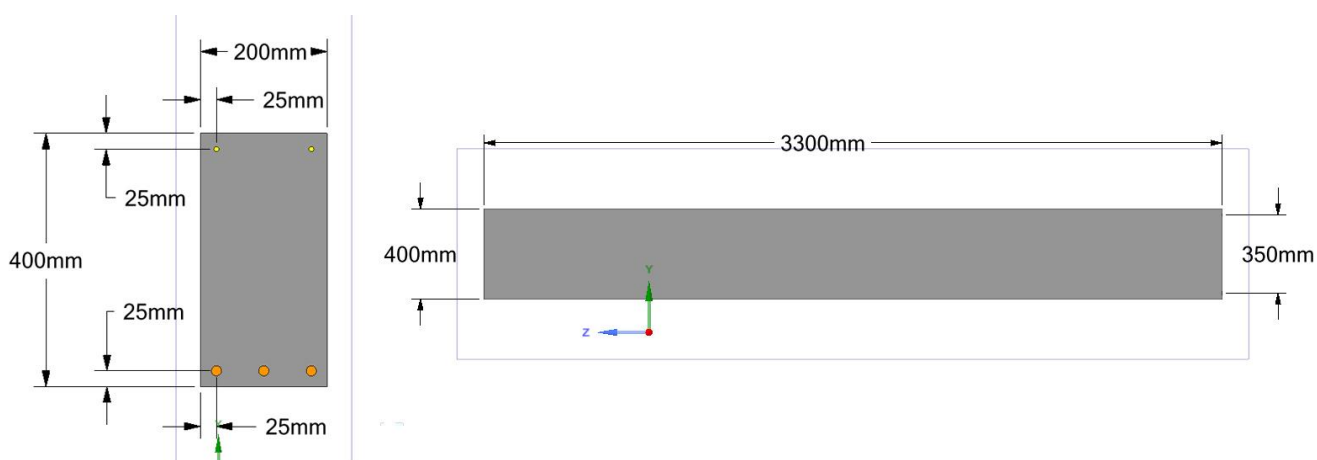


Рисунок 2.20 – Ортогональні проєкції балки

Для коректної роботи просторової моделі з об'єму бетону потрібно відняти об'єм арматурних стержнів (рис. 2.21).

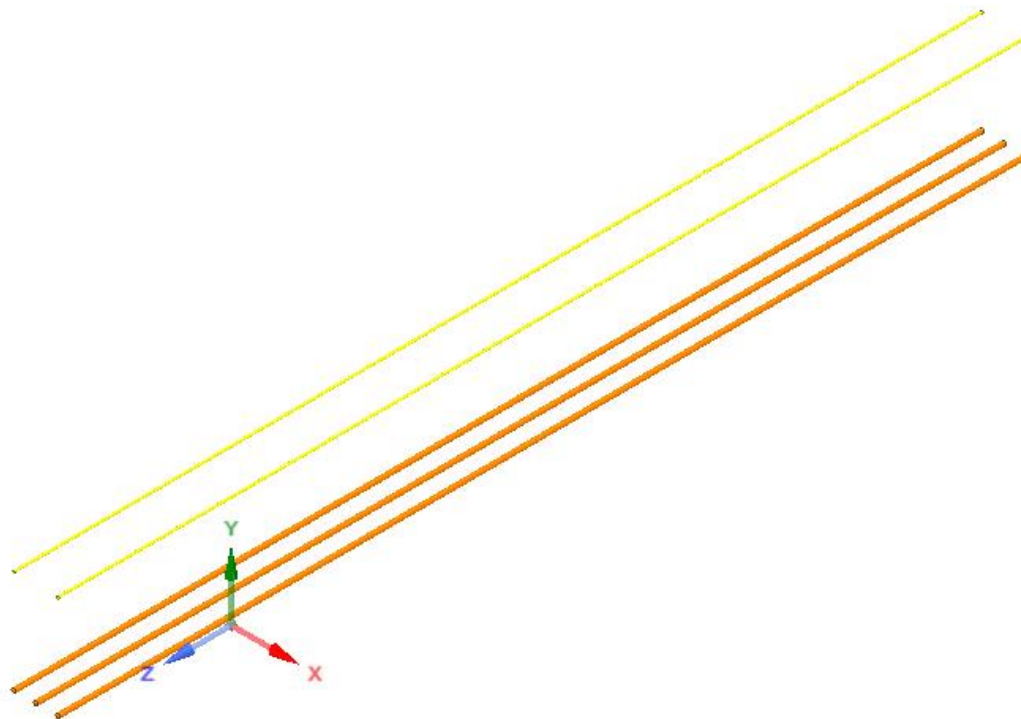


Рисунок 2.21 – Арматурні стержні в робочому середовищі Space Claim

2.4 Створення розрахункової моделі балки

Для створення розрахункової моделі використовується програмне забезпечення під назвою ANSYS Mechanical Enterprise, яке відкривається в четвертому компоненті схеми поректу (рис. 2.22). ANSYS Mechanical Enterprise (рис. 2.23) є флагманським програмним рішенням для машинобудування, яке використовує аналіз кінцевих елементів для виконання розрахунків на міцність з використанням інтерфейсу ANSYS Mechanical (середовище Workbench). Охоплює величезний спектр додатків і містить всі необхідні інструменти від підготовки геометрії до параметричної оптимізації проекту.

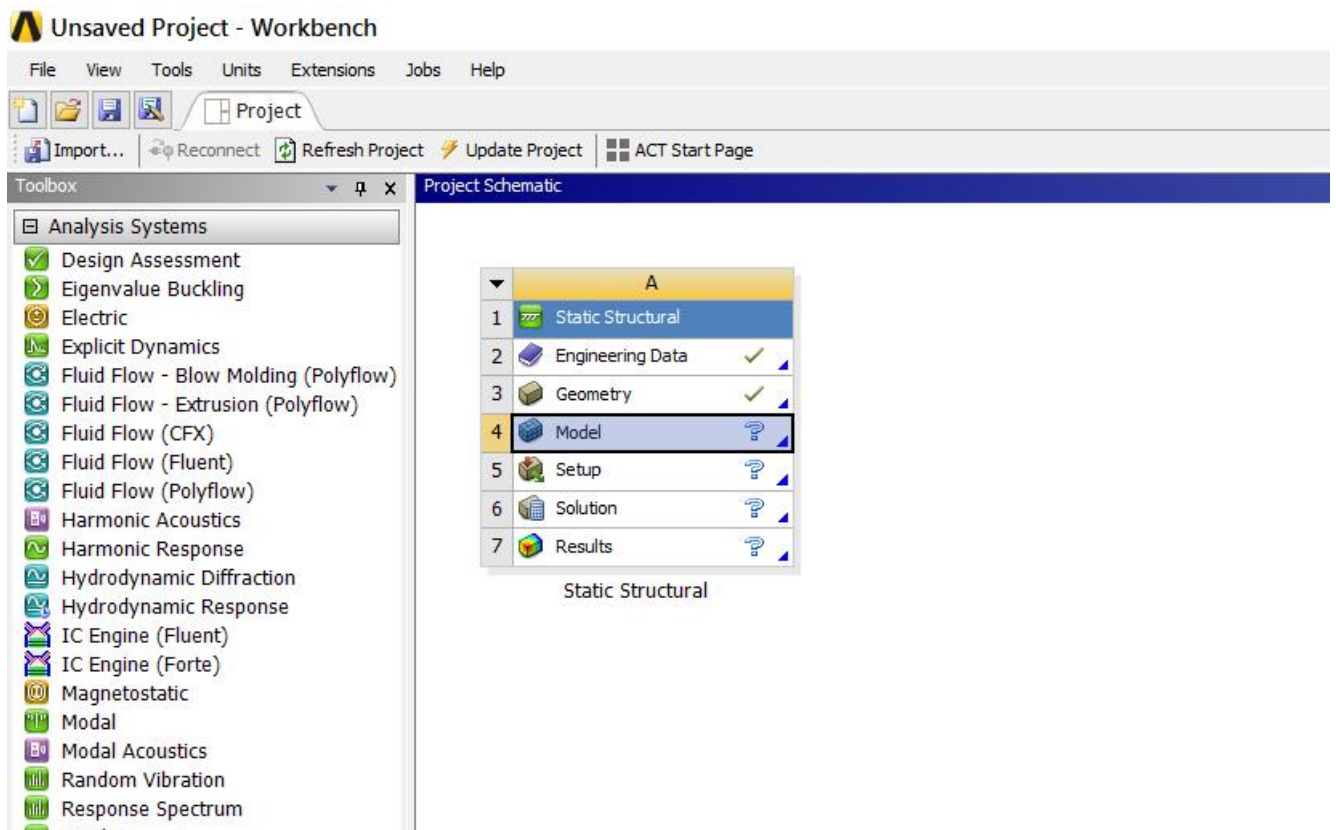


Рисунок 2.22 – Запуск Mechanical Enterprise в схемі проекту

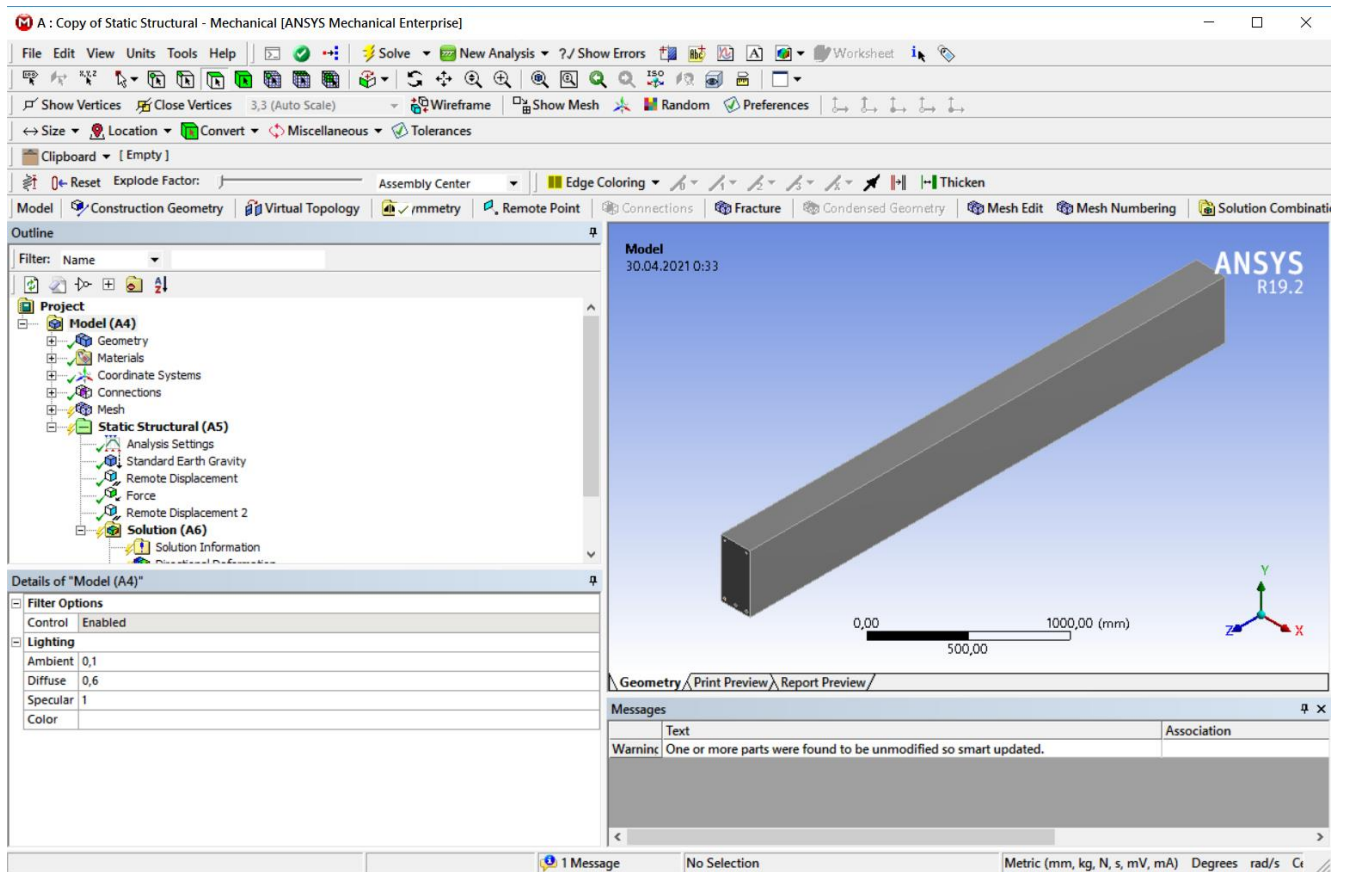


Рисунок 2.23 – Робоче середовище Mechanical Enterprise

Для присвоєння об'ємному тілу відповідних характеристик матеріалу потрібно у вікні Outline в гілці Geometry вибрати тіло, у вікні Details вибрати відповідний матеріал у рядку Assignment (рис. 2.24).

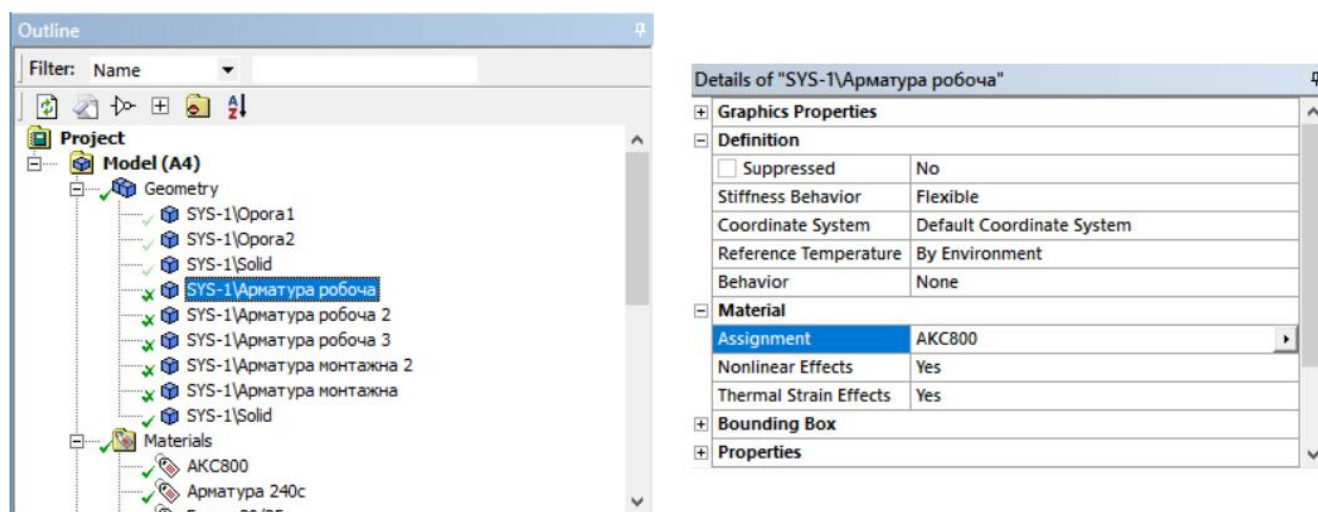


Рисунок 2.24 – Присвоєння тілам властивостей матеріалів

Гілка Connections відображає усі зони контакту тіл допомагає правильно налаштувати взаємодію і передачу навантажень між дотичними тілами. Вона створена програмою автоматично і виставлено тип з'єднання Bonded (рис. 2.25) (щільне з'єднання) для зон контакту арматури з бетоном, а для зон контакту балки з опорами і брусом, що навантажується, тип з'єднання Rough (рис. 2.26).

В гілці Mesh об'ємні тіла діляться на скінченні елементи. В цьому дослідженні користуючись інструментом Mesh Control, Sizing вибрано ребра балки і задано критерій поділу (рис. 2.27 - 2.28). Для ребра A Element Size 200 мм та для ребра B Element Size 100 мм. Арматурні стержні поділені вздовж із кроком 100 мм (рис.2.29).Такий поділ зумовлено обмеженнями студентської версії ANSYS.

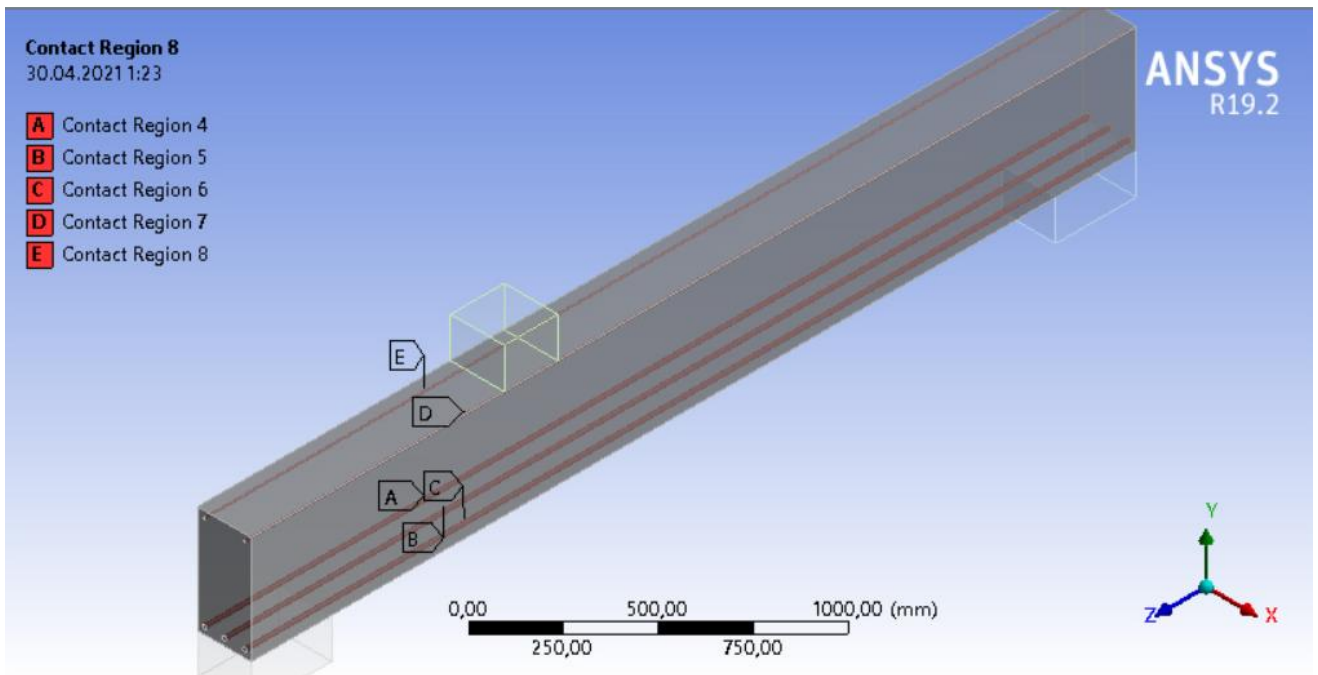


Рисунок 2.25 – Присвоєння типу з'єднання Bonded між арматурою та бетоном

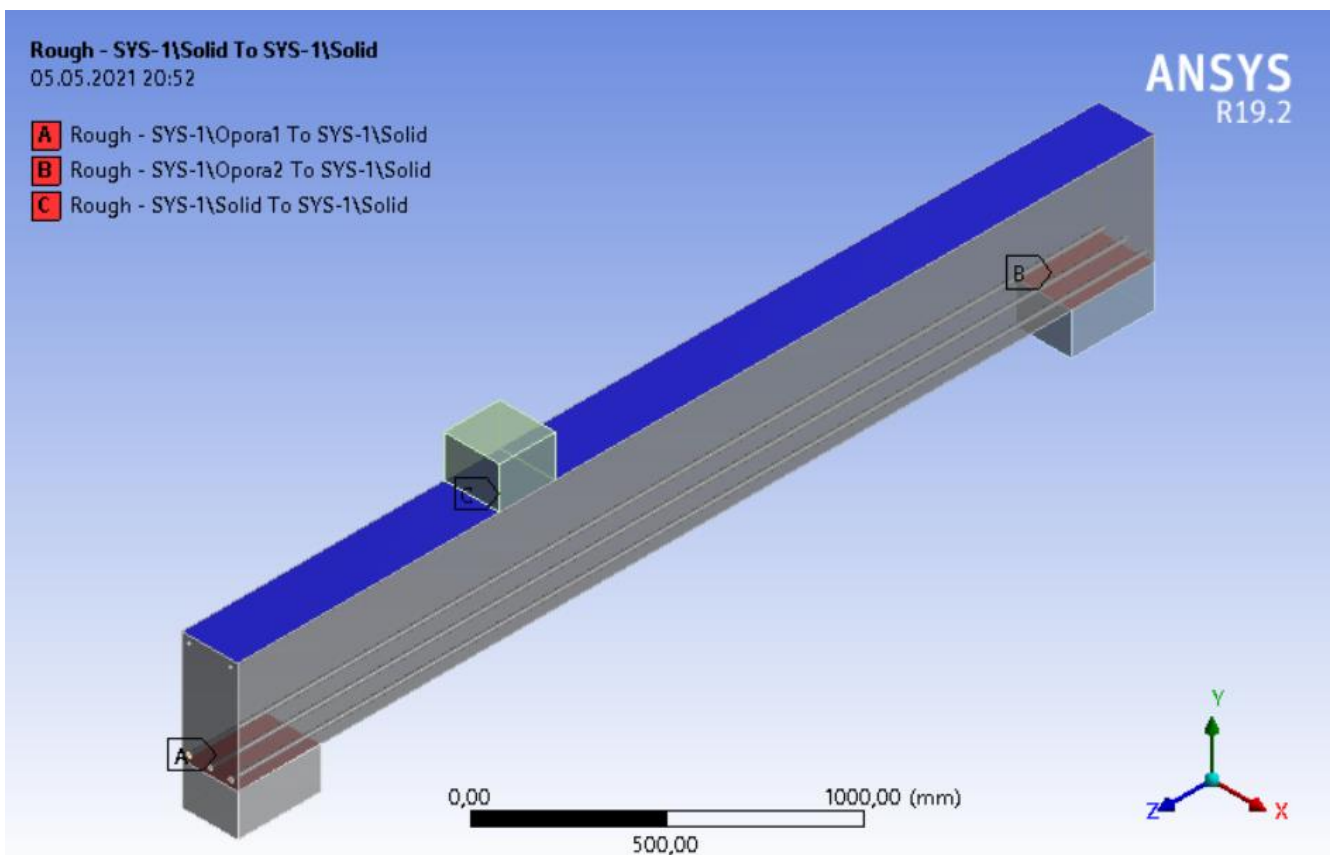


Рисунок 2.26 – Присвоєння типу з'єднання Rough між балкою та опорами

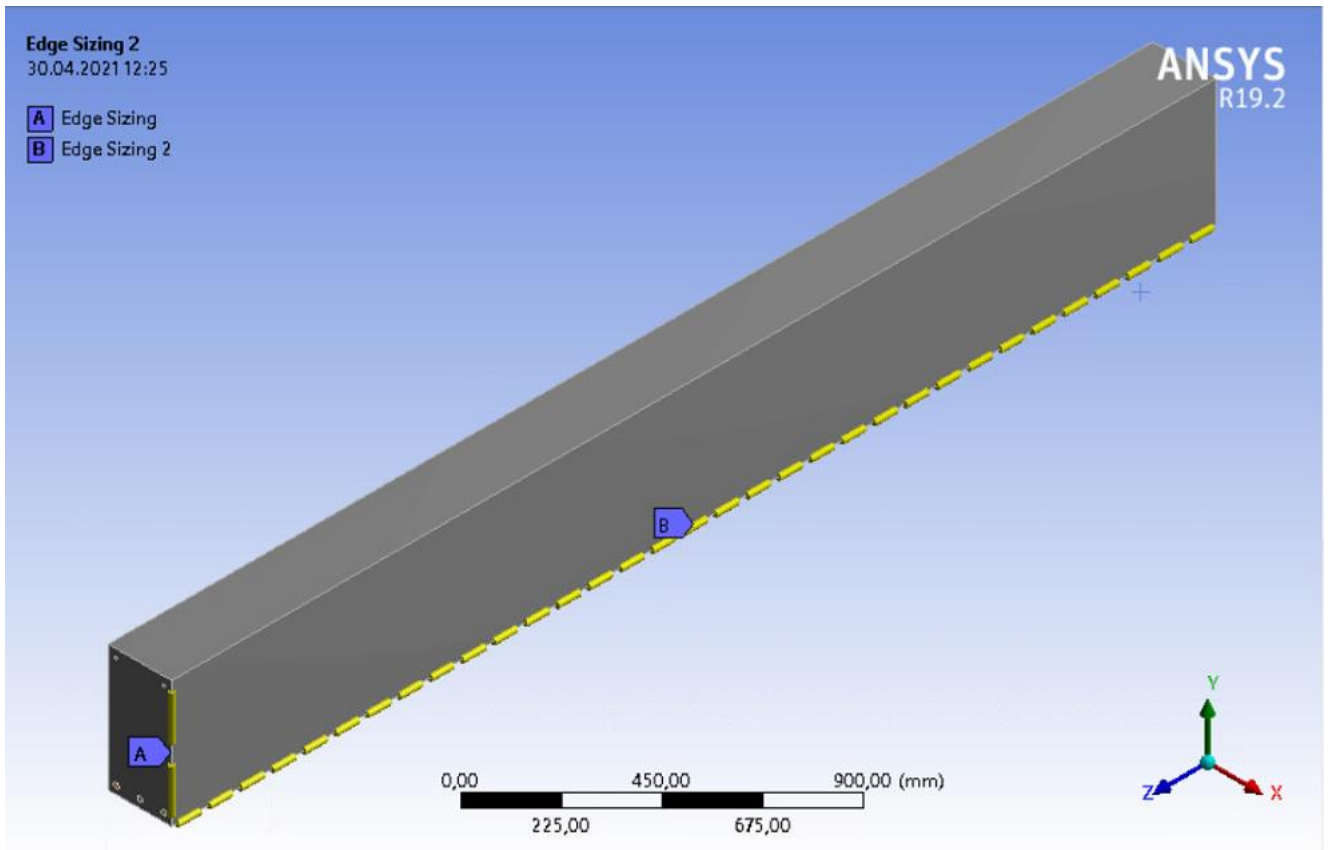


Рисунок 2.27 – Присвоєння тілу розмірів скінченних елементів

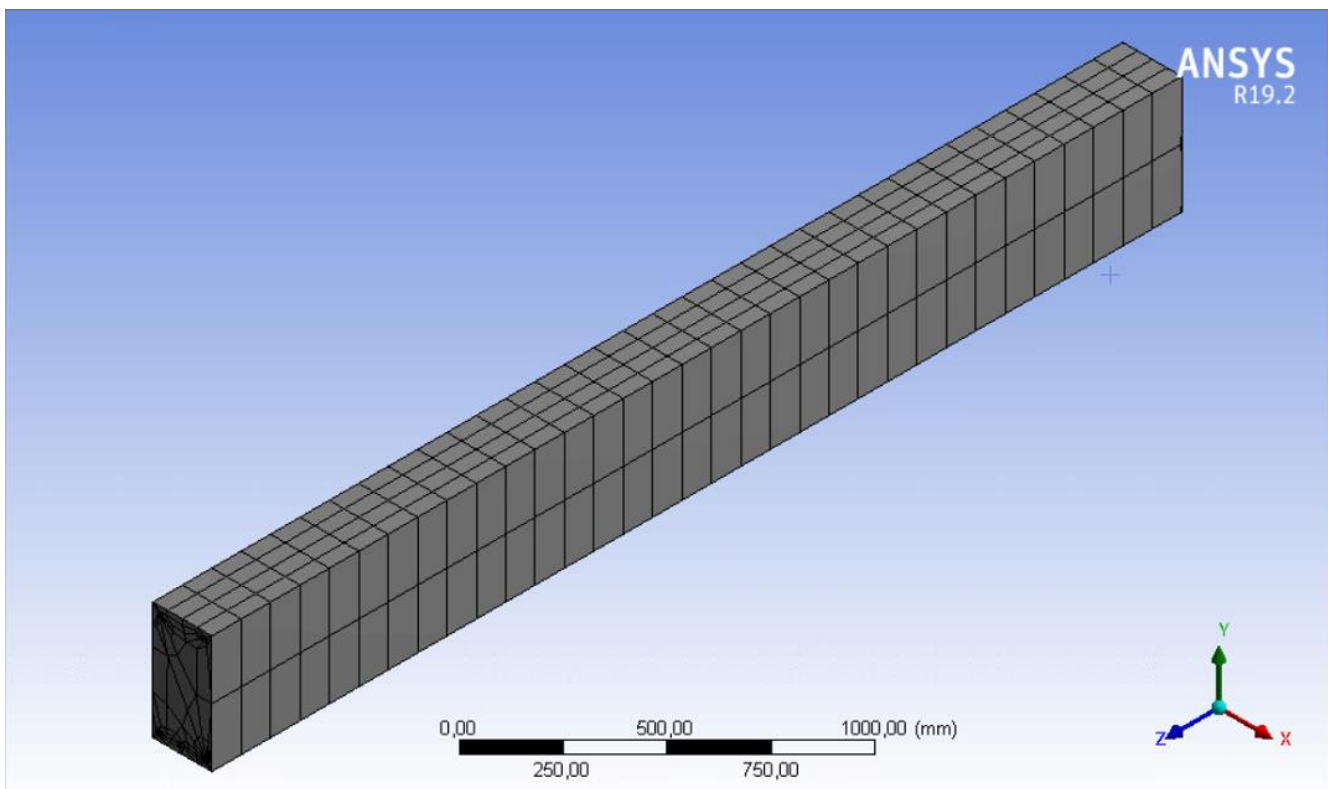


Рисунок 2.28 – Поділ тіла бетону на скінченні елементи

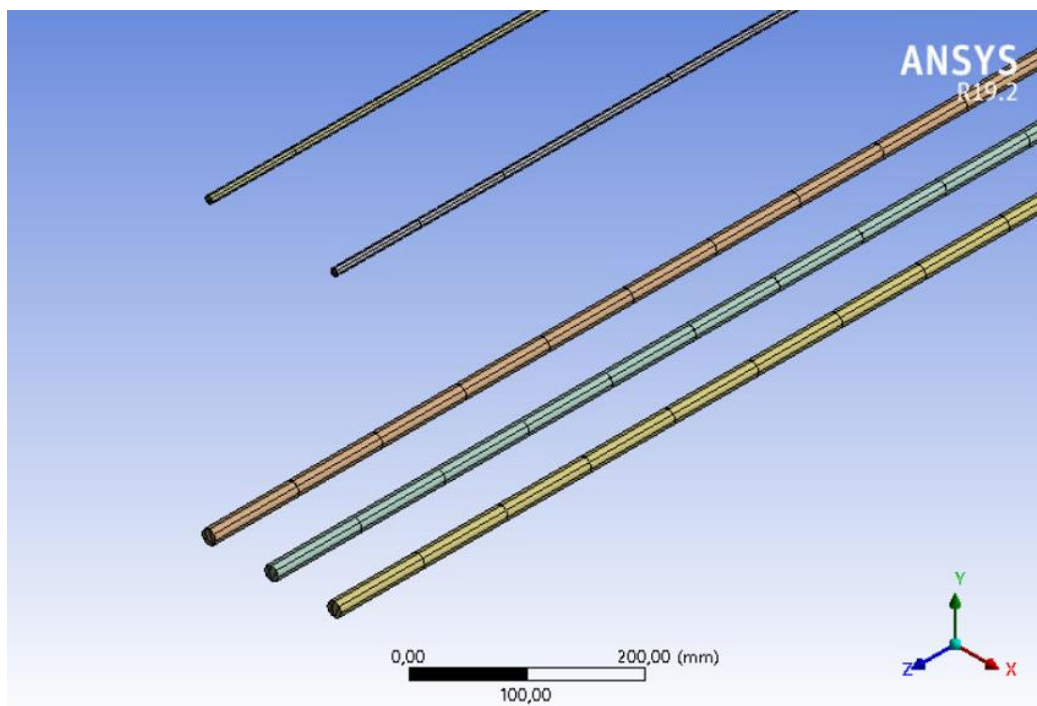


Рисунок 2.29 – Поділ арматури на скінченні елементи

Створено розрахункову модель вільно обпертої балки на яку діє сила земного тяжіння і асиметрично прикладене навантаження повздовж осі 0Y (Рис. 2.30)/

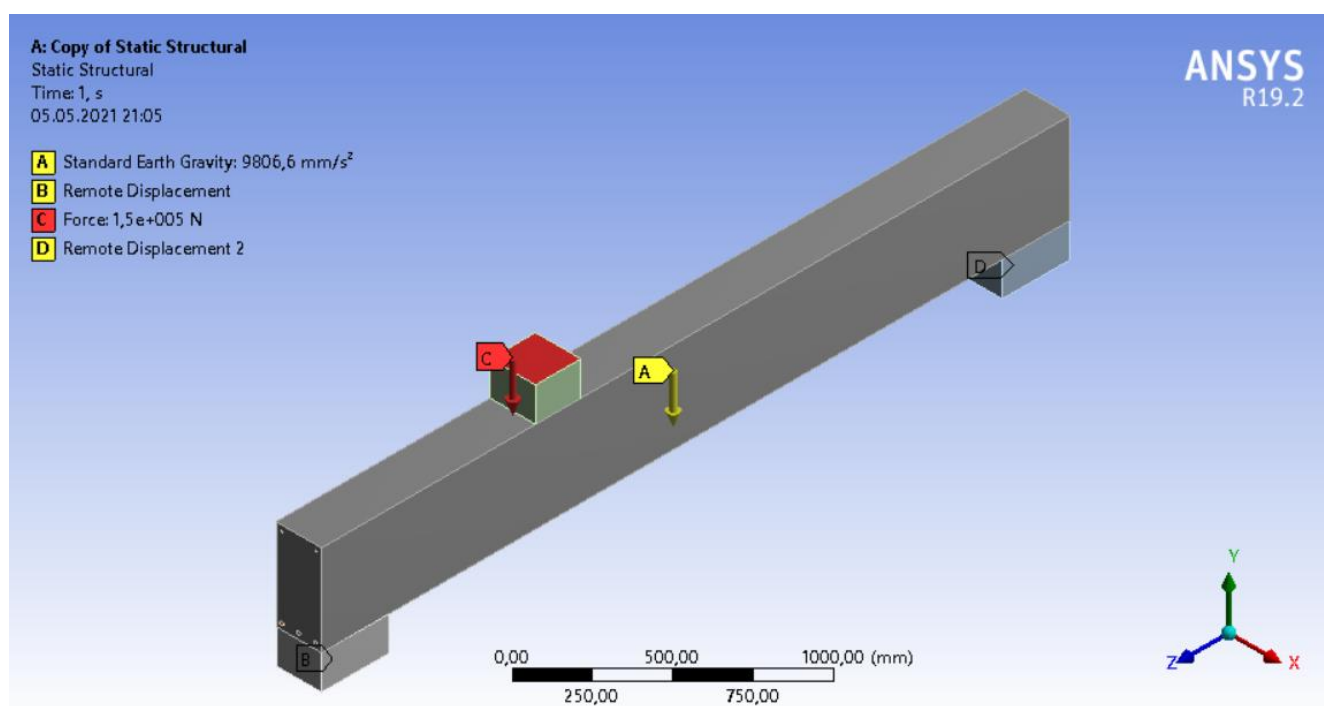


Рисунок 2.30 – Модель вільно обпертої балки

В даній розрахунковій моделі для опори дозволене переміщення по осі OZ (мітка В, рис. 2.30), та переміщення вздовж осі OX (мітка В, D, рис. 2.30). В розрахунок входить дія земного тяжіння (мітка А, рис. 2.30). Для відтворення навантаження на балці розміщено тіло зі зміщенням від центру балки по осі OZ розмірами $200 \times 200 \times 150$ мм, до якого прикладена сила 150 кН уздовж осі $-OY$ (мітка С, рис. 2.30).

У гілці Solution створено підпункти для запиту на розрахунок еквівалентних напружень, еквівалентних пластичних деформацій балки та, окремо, арматури, спрямованого переміщення балки вздовж осі OY , максимальної пружної деформації.

Для порівняння результатів розрахунку було створено копію схеми проекту і замінено матеріал арматури на А400с. Отже є створено дві ідентичні схеми проекту з різними матеріалами арматури (рис. 2.31).

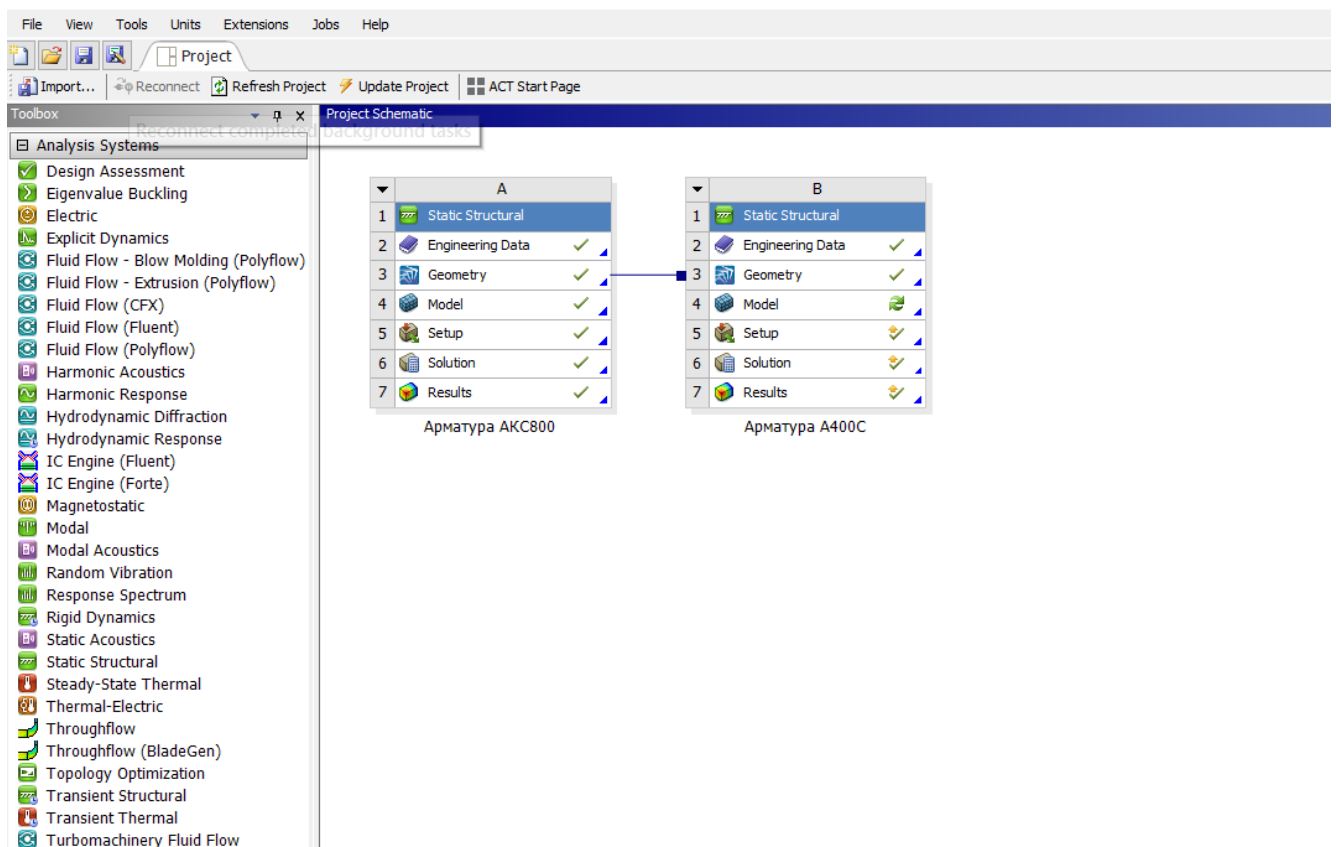


Рисунок 2.31 – Схеми проекту з композитною (А) та металевою (В) арматурою

2.5 Висновок до розділу 2

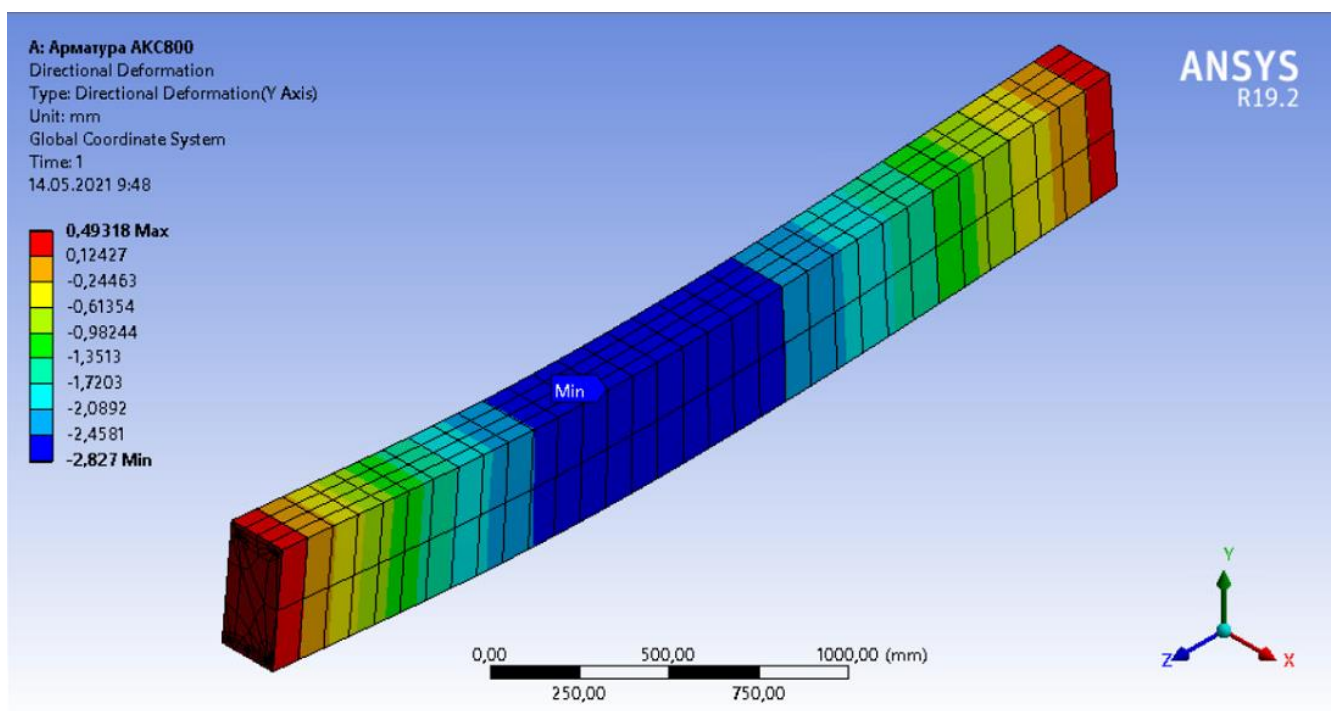
Розглянуто методику створення просторової моделі вільно обпертої балки з композитною арматурою в програмному комплексі ANSYS 19.2. Проаналізовано метод задання нелінійної поведінки бетону на стиск, запропонований Уільямом і Варнке, як полілінійну ізотропну модель. Побудовано полілінійну діаграму деформування бетону C20/25 на стиск, та білінійні діаграми деформування робочої 400С і монтажної А240С арматури за розтягу. Застосовано метод поділу побудовано скінченноелементні моделі компонентів (арматури і бетону) об'єкту.

РОЗДІЛ 3 НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН БЕТОННОЇ БАЛКИ ПІДСИЛЕНОЇ КОМПОЗИТНОЮ АРМАТУРОЮ

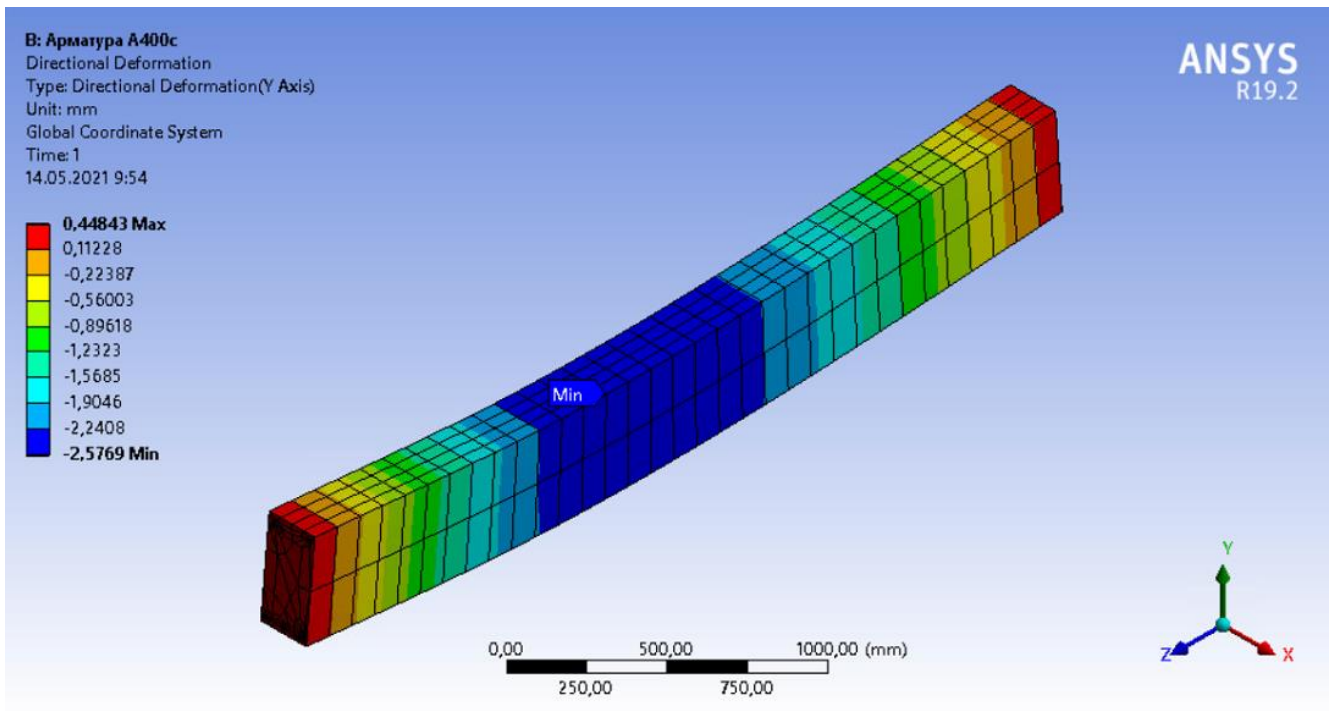
Проведено дослідження напружено-деформованого стану залізобетонної балки з армуванням розтягнутої зони склопластиковою арматурою АКС800 розміщеної на двох опорах під навантаженням 150 кН зміщеним до опори

3.1 Аналіз переміщення і деформації по осі Y

На рисунку 3.1 зображено деформацію по осі Y від навантаження 150 кН для балки армованої композитною арматурою АКС800 (рис. 3.1 а) та сталевую А400С (рис. 3.1 б). В результаті аналізу виявлено що в балці із сталевую арматурою максимальне переміщення сягає 2,58 мм, тоді як для балки з композитною арматурою 2,83 мм. Отже балка армована композитною арматурою прогнулась на 9,7% більше ніж зразок з металевую, що зумовлено різницею модулів пружності композитної (рис. 2.7) та металевую (рис. 2.6) арматури. Також порівняння деформацій представлено в графічному вигляді на рисунку 3.2.



a)



б)

Рисунок 3.1 – Деформація балки по осі Y: а) – з робочою арматурою АКС800; б) – з робочою арматурою А400С.

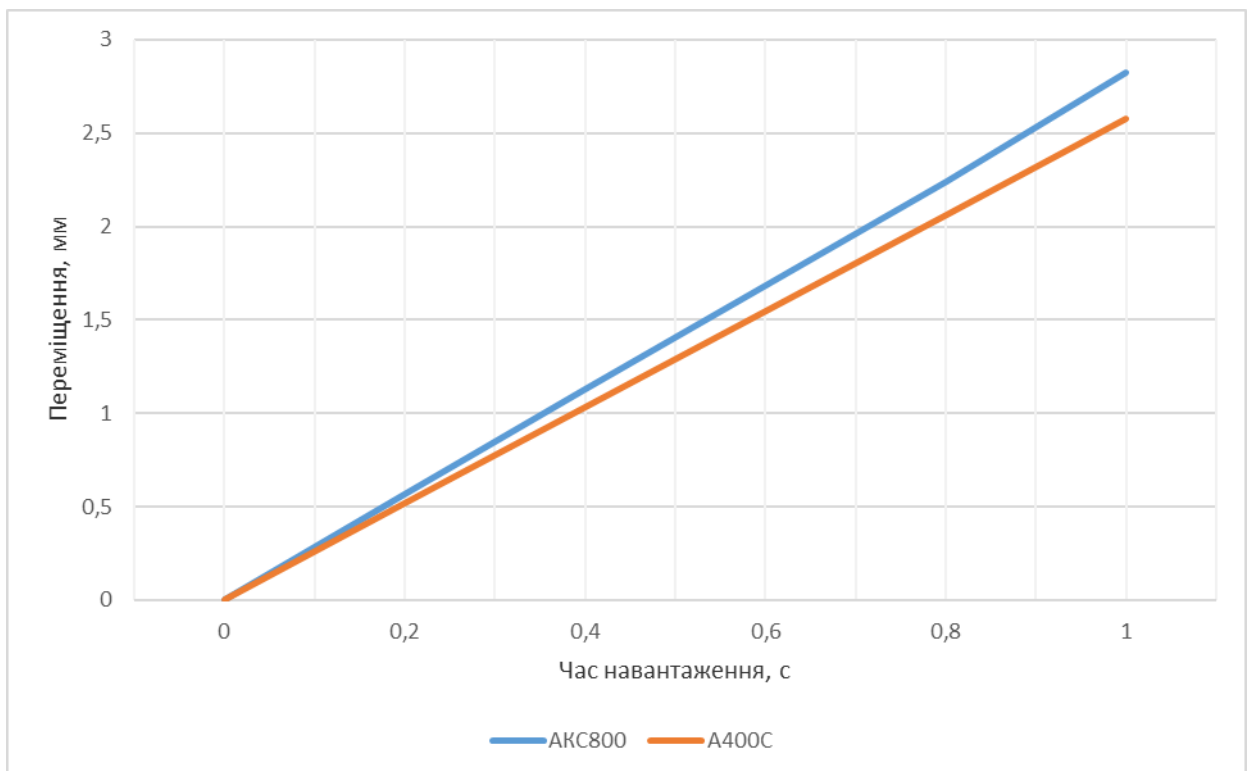
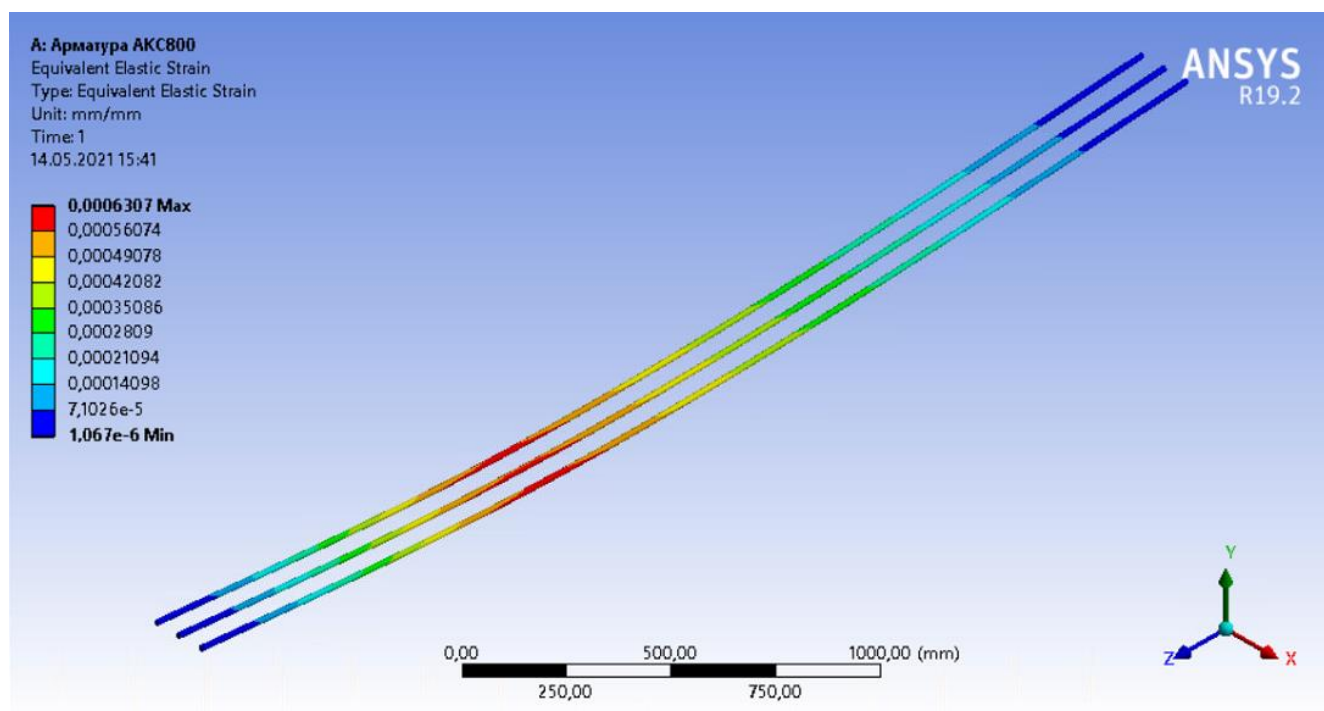
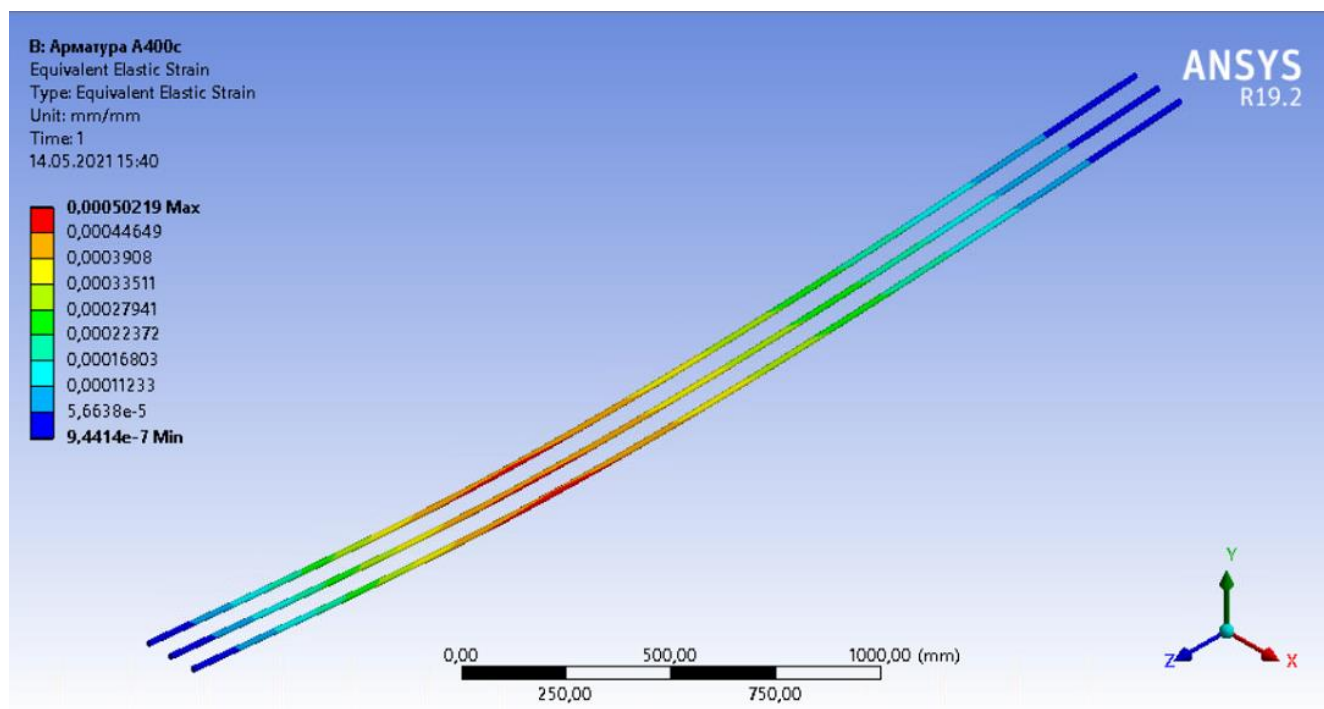


Рисунок 3.2 – Графік для порівняння переміщення (рис. 3.1)

Еквівалентне відносне видовження в стержнях арматури зображено на рисунку 3.3, та подано результати в графічному вигляді на рисунку 3.4.



a)



б)

Рисунок 3.3 – Еквівалентне відносне видовження за максимального навантаження:

а) – робочої арматури АКС800, б) – робочої арматури А400С

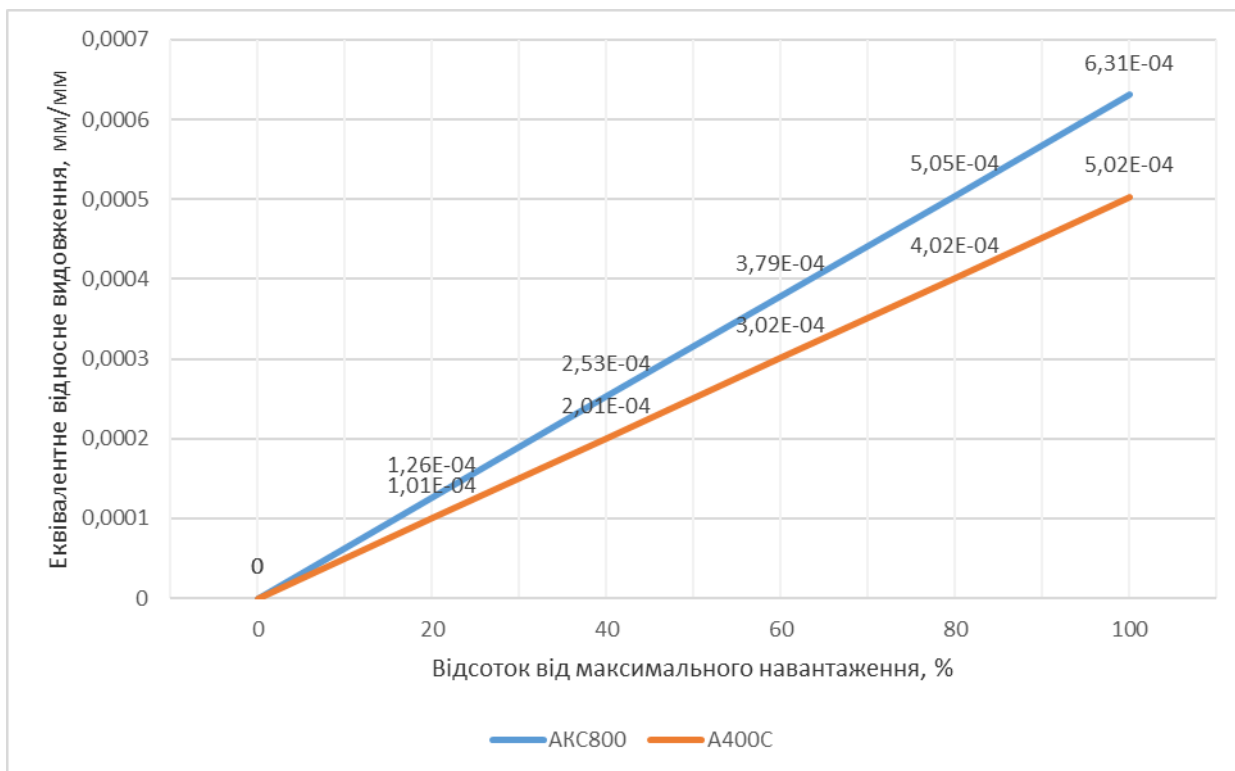


Рисунок 3.4 – Еквівалентне відносне видовження

Максимальне відносне видовження в арматурі АКС800 більше на 25,5% ніж у стержнях А400с. Згідно графіку розподілу (рис. 3.5) еквівалентне відносне видовження вздовж осі арматури максимальне в перерізі, де прикладено навантаження.

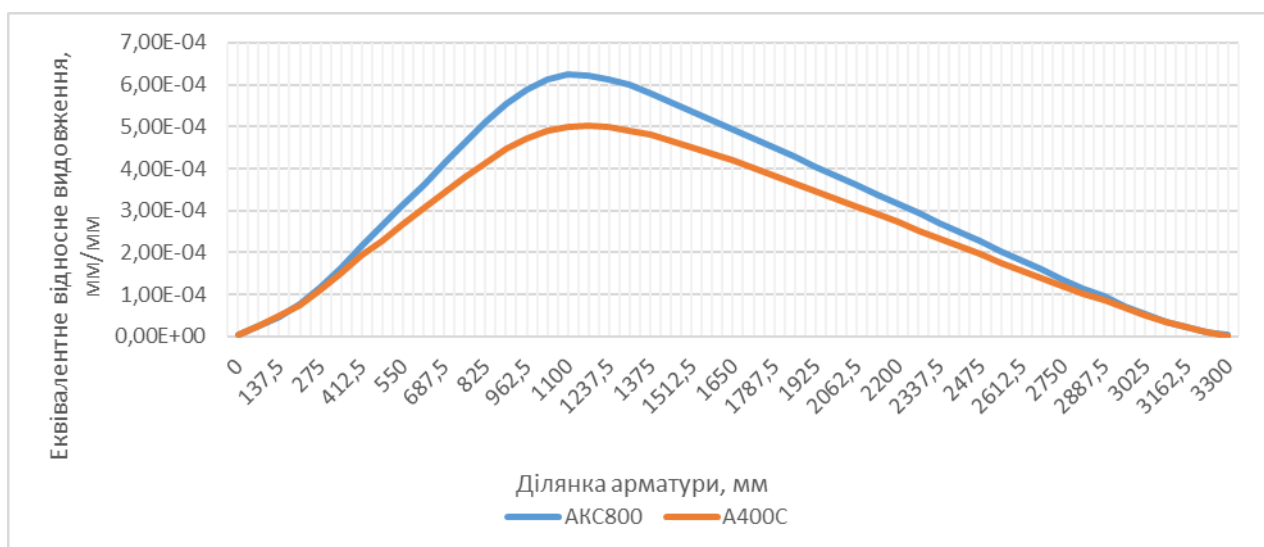
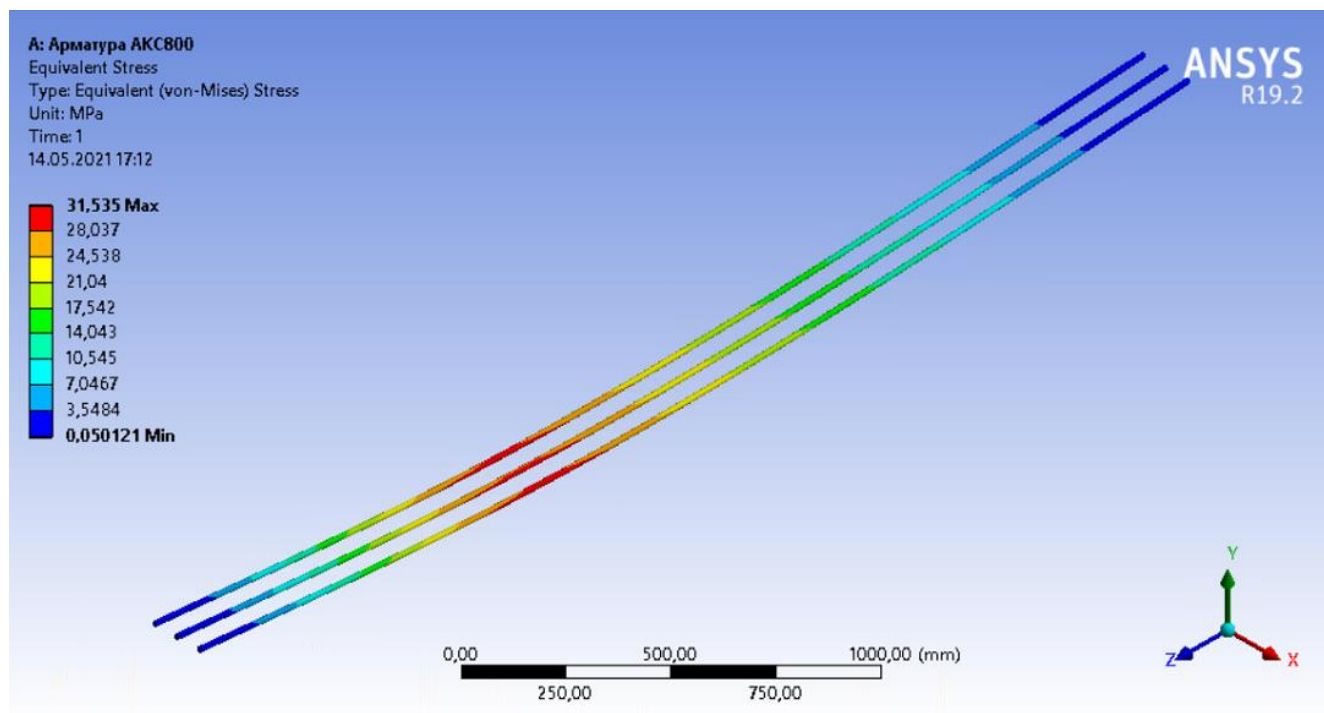


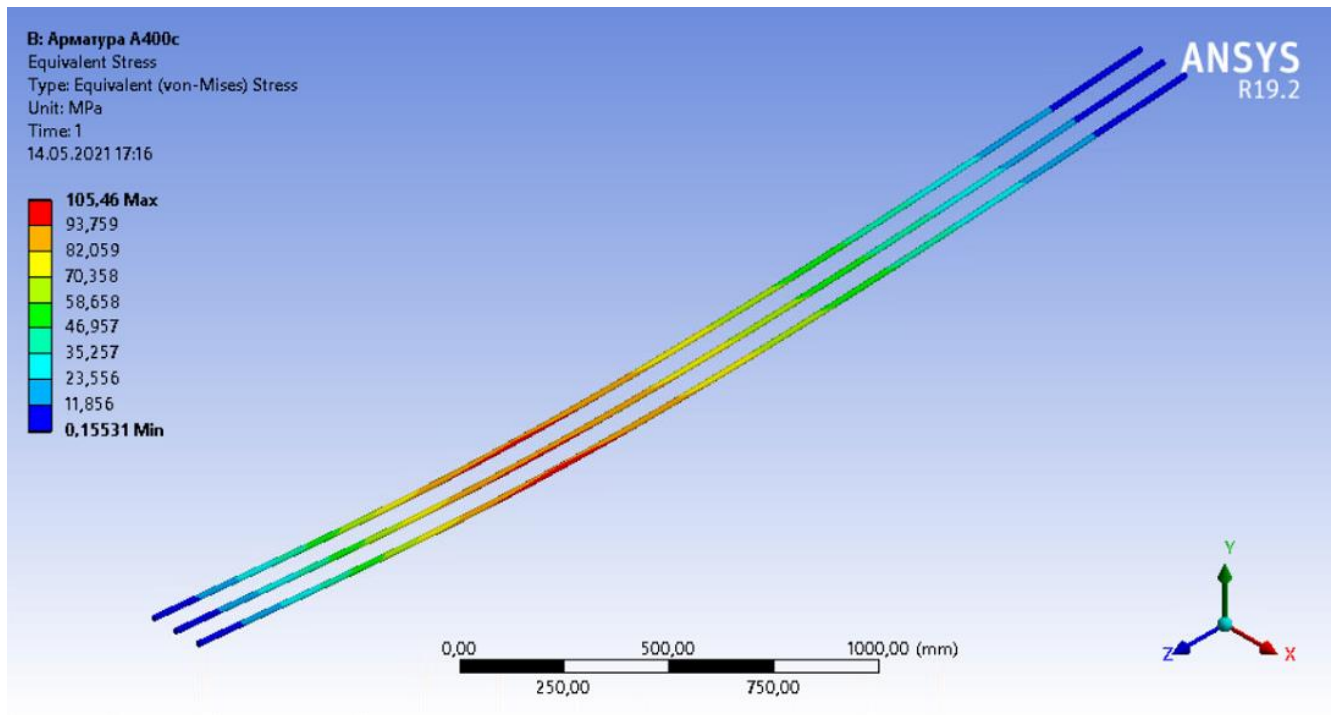
Рисунок 3.5 – Еквівалентне відносне видовження

3.2 Аналіз напруженого стану

На рисунку 3.6 представлено розподіл полів еквівалентних напружень в робочій арматурі АКС800 (а) та в робочій арматурі 400С (б) за прикладеного навантаження 150кН. Проаналізувавши ці дані (рис. 3.6) можна припустити, що в металевій арматурі А400с максимальне напруження $\sigma = 105$ МПа, що складає 29 % від максимально допустимого $\sigma_{0,2}=365$ МПа (границі текучості), тоді як в склопластиковій арматурі АКС800 максимальне напруження сягає позначки 31,5 МПа, що в свою чергу сягає 6 % від максимального значення 530 МПа. Отже в результаті дослідження виявлено, що максимальне напруження σ_{\max} в сталевій арматурі А400с в 3,34 рази перевищує напруження в композитній арматурі АКС800.



a)



б)

Рисунок 3.6 – Еквівалентне напруження в арматурі при максимальному навантаженні для:

а) робочої арматури АКС800;

б) робочої арматури А400с

На графіку (рис. 3.7) зображено зміну еквівалентного напруження вздовж осі арматури за навантаження 150 кН для робочої арматури АКС800 та А400с. Проведено дослідження січення балки в місці прикладання навантаження (рис. 3.8). При дослідженні напруження в січенні арматури (рис. 3.9) спостерігається збільшення напруження в нижніх розтягнутих волокнах арматури. Проаналізувавши дані розподілу напружень, можна зробити висновок, що балка з композитною арматурою здатна витримати значно більші розтягуючі навантаження. Також розраховано еквівалентні напруження в тілі бетону (рис. 3.10) за максимального навантаження 150 кН.

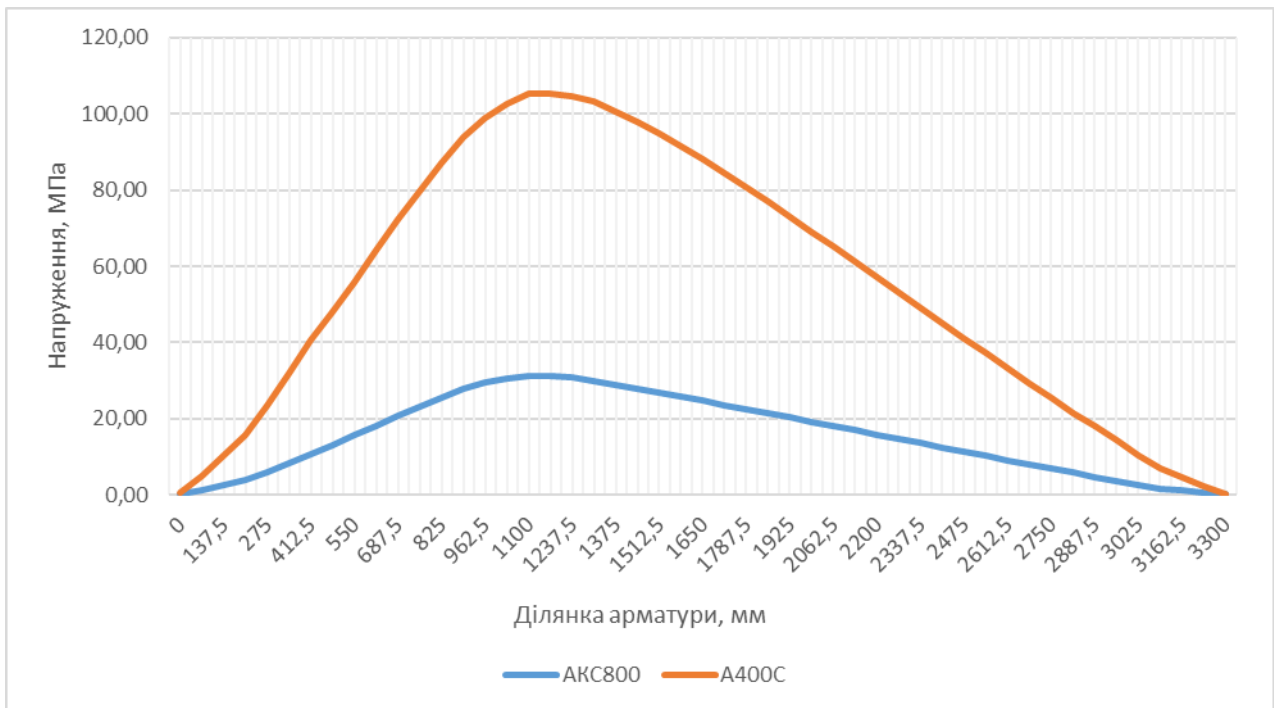
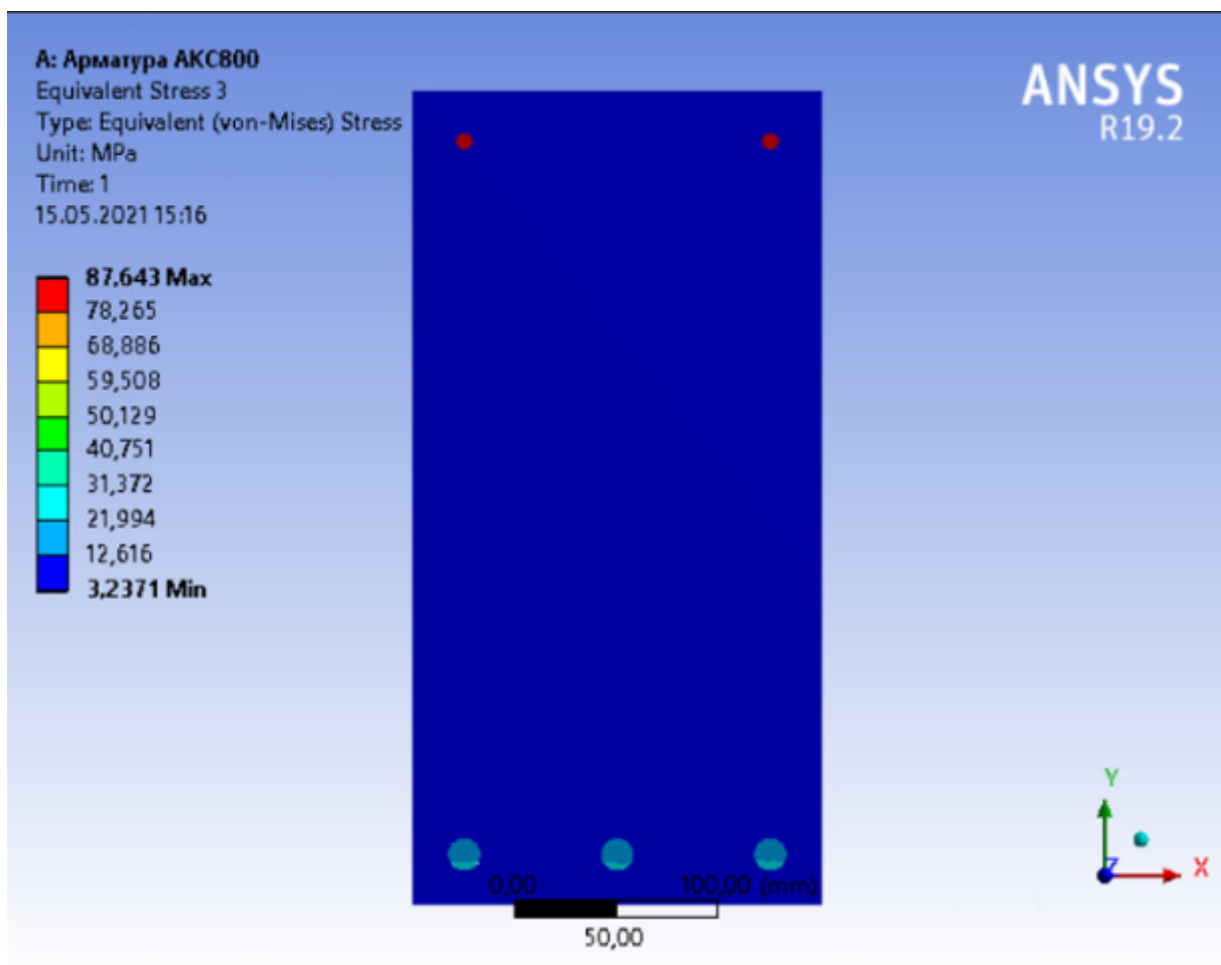
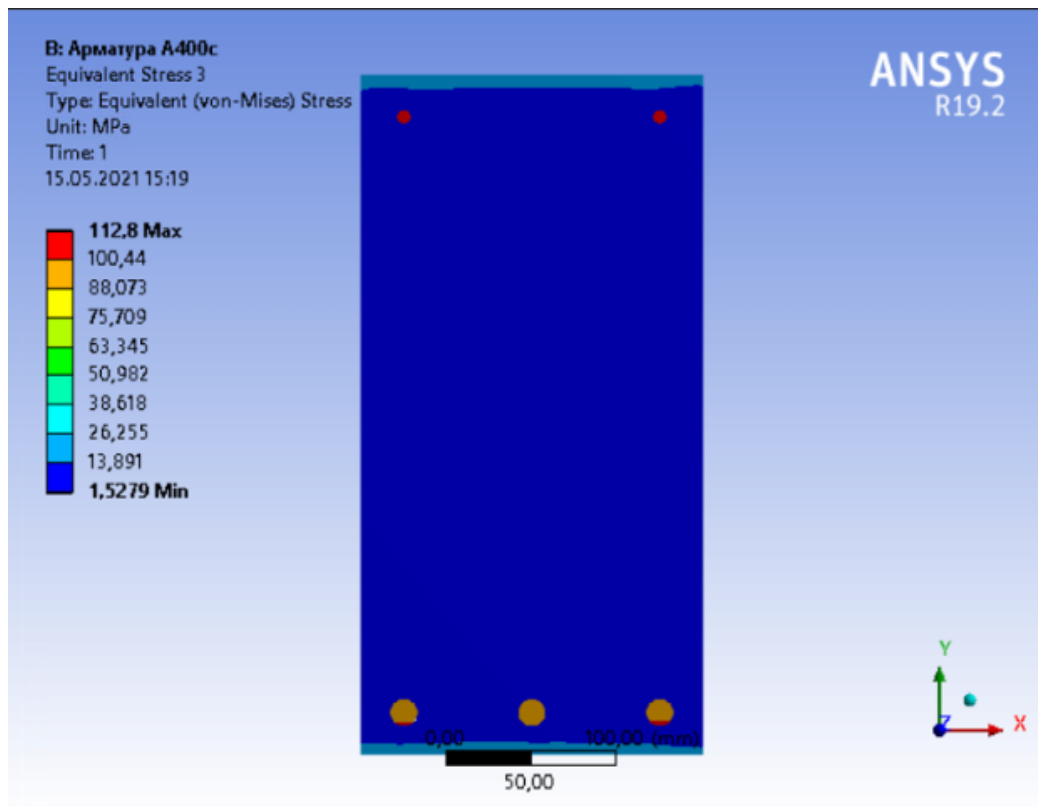


Рисунок 3.7 – Еквівалентне напруження вздовж осі арматури



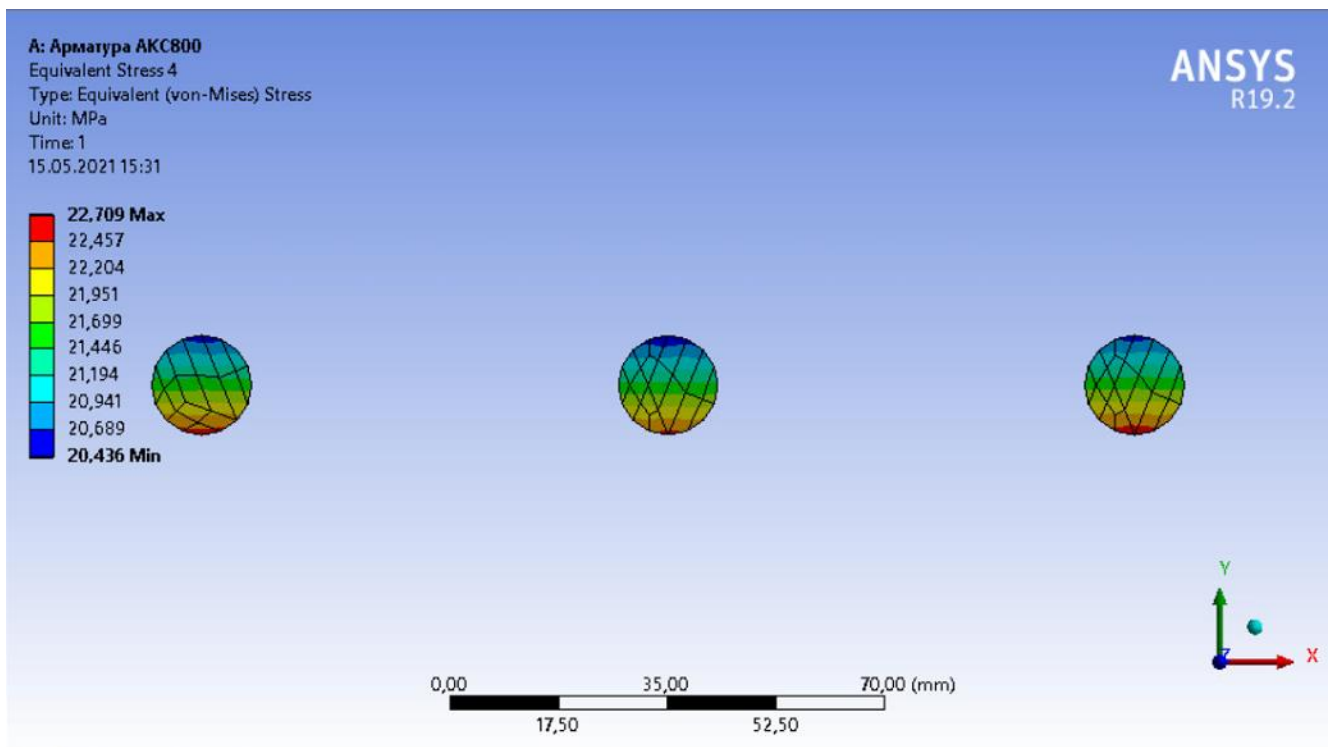
(a)



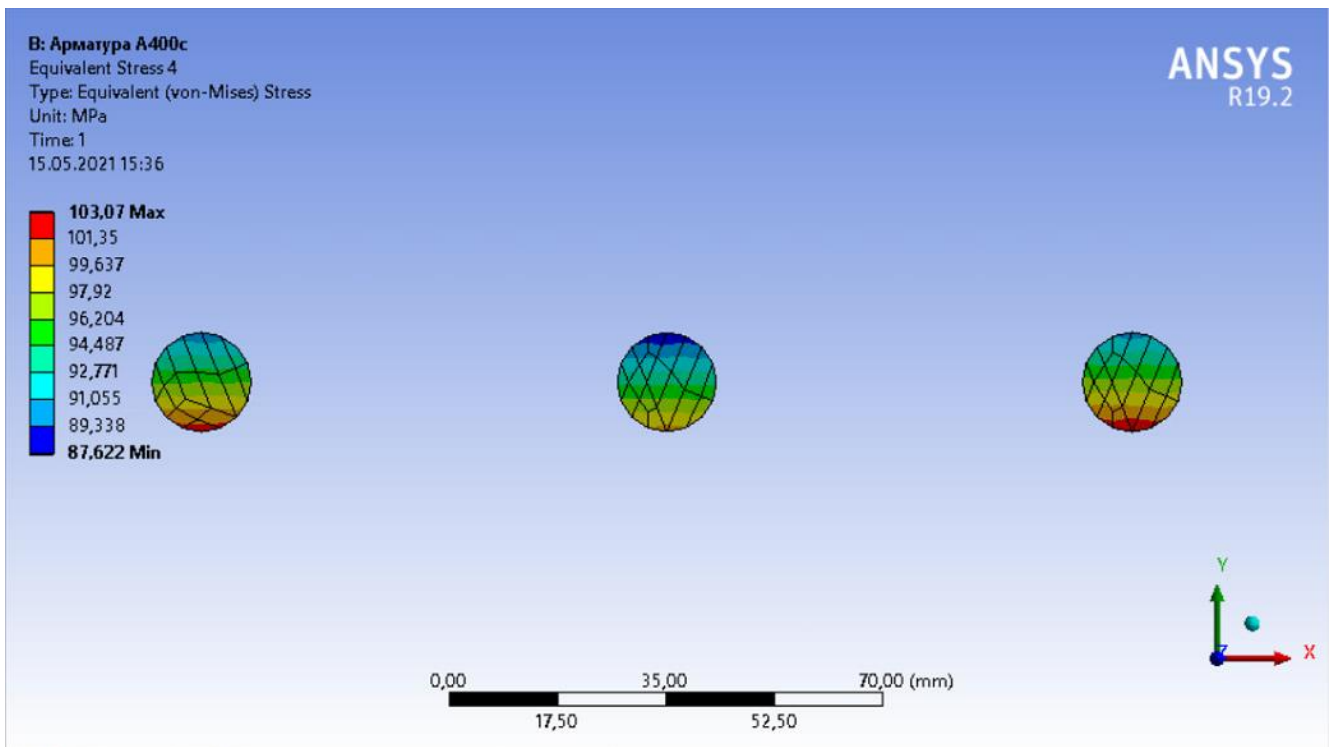
(б)

Рисунок 3.8 – Напруження у січні балки в місці прикладання навантаження з

а) АКС800; та б) А400с



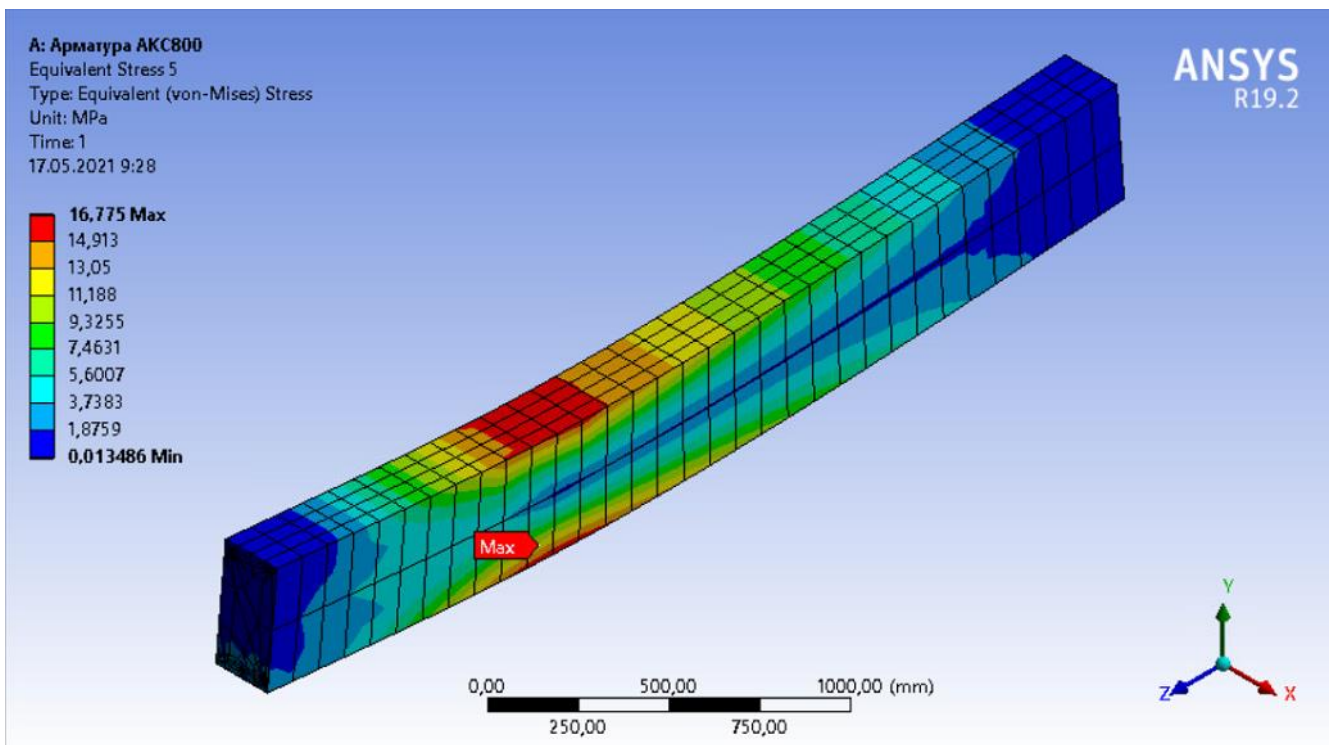
а)



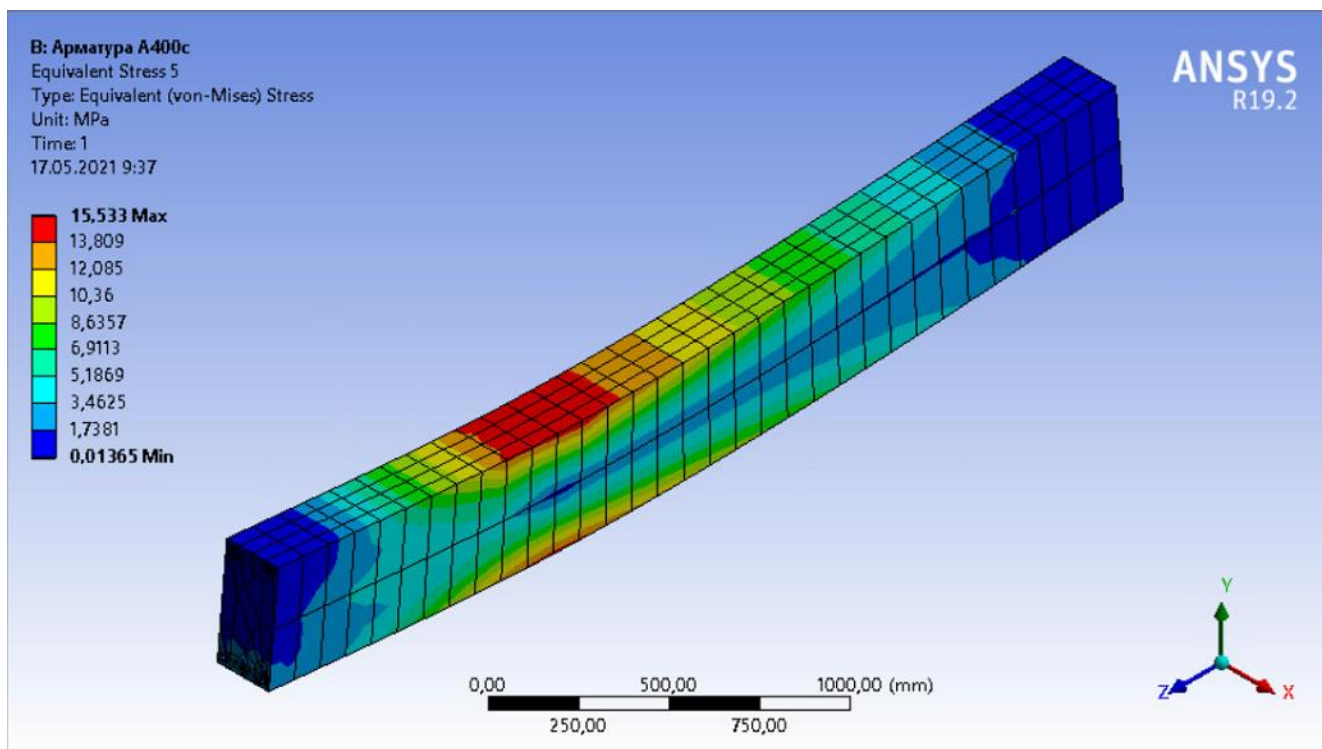
б)

Рисунок 3.9 – Напруження у січні арматури в місці прикладання навантаження

а) АКС800; та б) А400с



а)



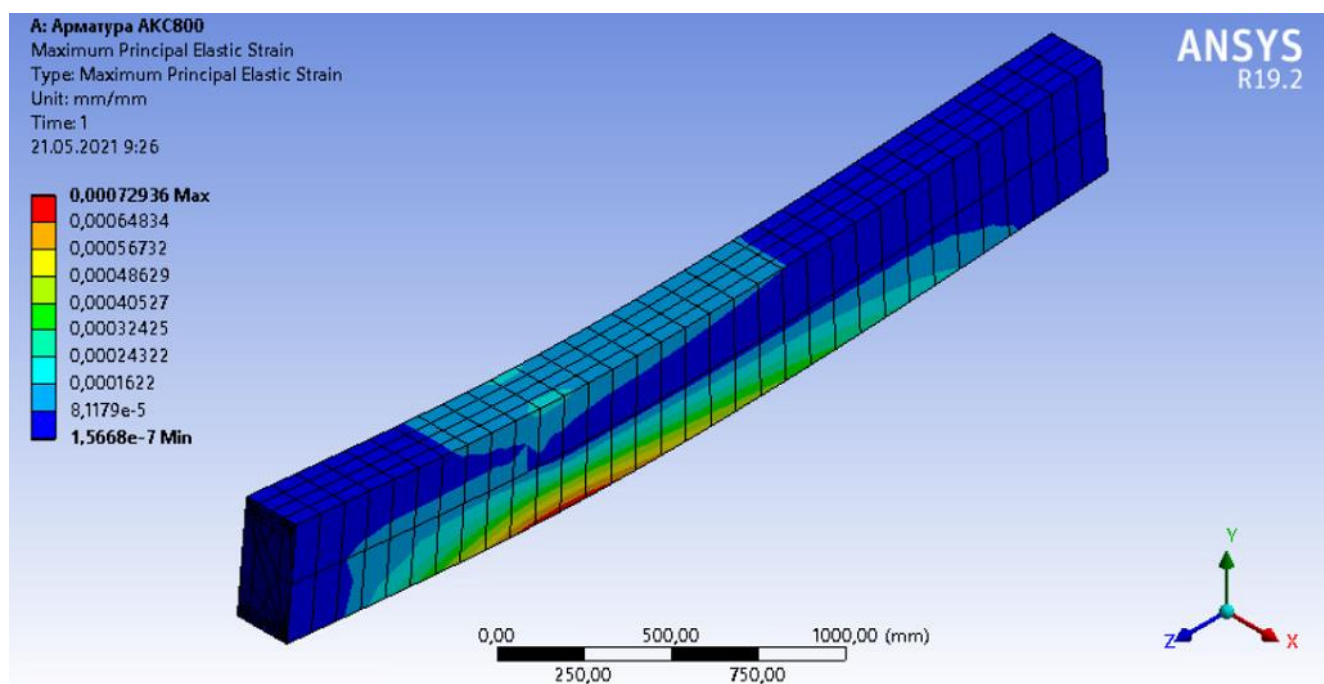
б)

Рисунок 3.10 – Напруження у бетоні C20/25 з використанням арматури
а) АКС800; та б) А400

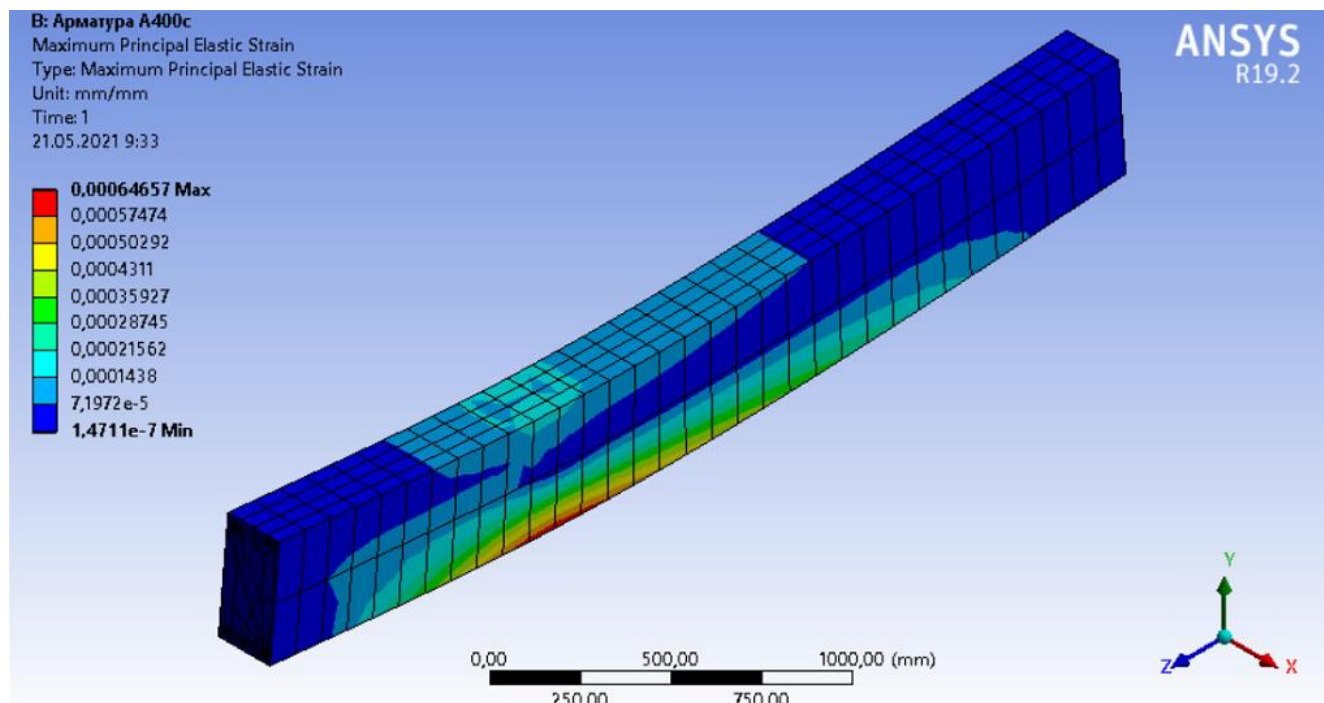
3.3 Аналіз утворення тріщин

На рисунку 3.11 зображено максимальну пружну деформацію для балки армованої композитною (рис. 3.11а) та сталеву (рис. 3.11б) арматурами. Проаналізувавши деформацію в балках можна зауважити, що максимальні переміщення відбуваються в нижніх шарах балки, під місцем дії навантаження, де очевидно за певних навантажень будуть зароджуватися тріщини. Також спостерігали незначні переміщення по всій довжині балки в нижніх шарах і у верхніх поблизу бруска до якого прикладене навантаження. Максимальне переміщення в балці із композитною арматурою на 13,2% більше ніж в балці із сталеву арматурою. Також з аналізу можна спрогнозувати подальший розвиток тріщин. А саме, при збільшені навантаження на балку, тріщина від місця навантаження буде поширюватися до лівої опори по діагоналі (рис. 3.12). Це

зумовлено тим що навантаження яке діє на балку розміщене ближче до лівої опори.



а)



б)

Рисунок 3.11 – Максимальна пружна деформація балки із:

а) робочою арматурою АКС800;

б) робочою арматурою А400с

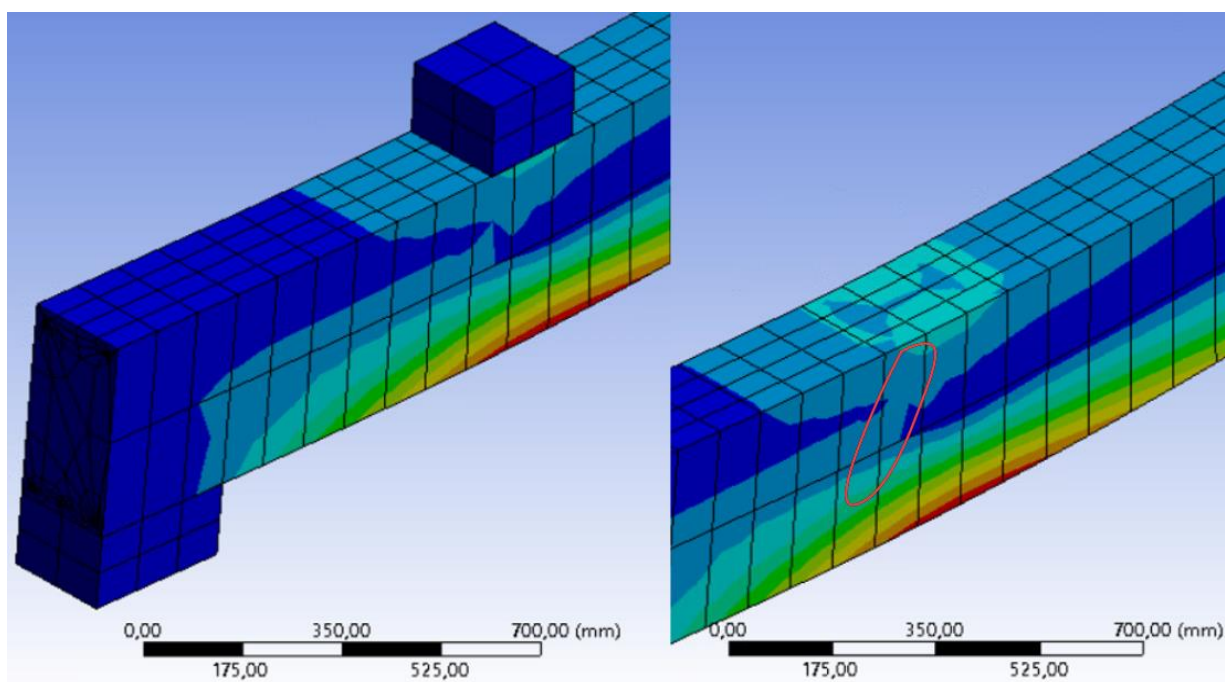


Рисунок 3.12 – Розвиток тріщини

Результати моделювання МСЕ подано в табличній (таблиця 3.1) та графічній формах (рис. 3.11 - 3.12).

Таблиця 3.1 Результати отриманих моделюванням МСЕ

Робоча арматура	Прогин балки, мм	$\epsilon_{\max a}$ (арматура), мм/мм	$\epsilon_{\max b}$ (бетон), мм/мм	$\sigma_{\max a}$ (арматура), МПа	$\sigma_{\max b}$ (бетон), МПа	$\epsilon_{\max p}$ мм/мм
A400c	2,57	$0,50 \times 10^{-3}$	$0,61 \times 10^{-3}$	105,46	15,53	$0,65 \times 10^{-3}$
АКС800	2,87	$0,63 \times 10^{-3}$	$0,7 \times 10^{-3}$	31,53	17,77	$0,73 \times 10^{-3}$

де $\epsilon_{\max a}$ – еквівалентне відносне видовження для арматури;

$\epsilon_{\max b}$ – еквівалентне відносне видовження для бетону;

$\sigma_{\max a}$ – еквівалентне напруження для арматури;

$\sigma_{\max b}$ – еквівалентне напруження для бетону;

$\epsilon_{\max p}$ – максимальна пружна деформація.

На рисунку 3.13 зображено графіки деформування матеріалу сталеві і композитної арматури: залежності напруження – відносне видовження. За

однакового значення напруження, відносно видовження композитної арматури учетверо перевищує видовження сталеві.

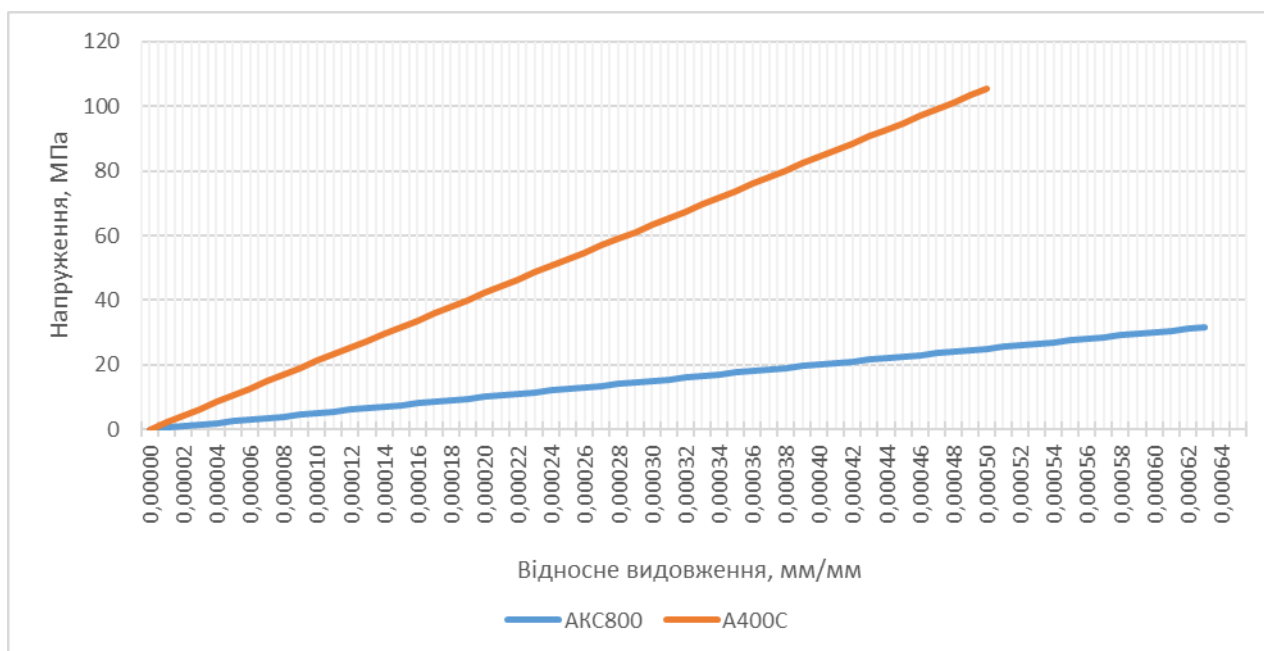


Рисунок 3.13 – Діаграми деформування сталеві і композитної арматури

На рисунку 3.14 подано графіки деформування бетону із композитною арматурою АКС800 та сталеві А400с.



Рисунок 3.14 – Діаграми деформування бетону із сталеві і композитною арматурою

Незалежно від типу арматури (сталева чи композитна), діаграми деформування бетону співпадають.

3.4 Висновок до розділу 3

Заміна металевої арматури на композитну не погіршує деформівні властивості конструкції, а в деяких випадках перевищує аналогічні показники зразка з металевою арматурою. Зокрема, максимальне відносне видовження арматури АКС800 більше на 25,5% ніж у сталевих стержнях А400с. Використання даного матеріалу з бетоном може продовжити термін експлуатації у агресивному середовищі, оскільки на відміну від сталевих арматур, при розкритті тріщин в бетоні композитна арматура не буде піддаватися корозії і не втратить свої властивості.

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ ПРИ АРМАТУРНИХ РОБОТАХ

4.1 Інструкція з охорона праці для арматурних робіт. Загальні положення

Ця інструкція встановлює вимоги з охорони праці для арматурника під час виготовлення та монтажу арматури й армоконструкцій.

До самостійної роботи арматурником допускаються особи, які:

- досягли 18 річного віку і мають відповідну кваліфікацію;
- пройшли медичний огляд у встановленому порядку та не мають медичних протипоказань;
- пройшли вступний інструктаж з охорони праці;
- пройшли спеціальне навчання, первинний інструктаж та оволоділи практичними навиками безпечного ведення робіт під час стажування протягом 2-15 змін (залежно від стажу, досвіду і характеру роботи);
- мають посвідчення такелажника у разі стропування арматурних стержнів або каркасів під час переміщення їх вантажопідйомними кранами;
- мають посвідчення електрозварника у разі приварювання арматурних стержнів із застосуванням електроконтактного або електродугового зварювання.

Працювати з пневматичним і електрифікованим інструментом має право арматурник, який пройшов спеціальне навчання, має посвідчення і оволодів практичними навичками безпечного проведення робіт.

Арматурник зобов'язаний:

- знати і виконувати вимоги цієї інструкції;
- користуватися засобами колективного та індивідуального захисту;
- додержуватись зобов'язань щодо охорони праці, передбачених колективним договором (угодою, трудовим договором) та правилами внутрішнього розпорядку;
- проходити у встановленому порядку попередні та періодичні медичні огляди;

- співробітничати з роботодавцем у справі організації безпечних і нешкідливих умов праці, особисто вживати посильних заходів щодо усунення будь-якої виробничої ситуації, яка створює загрозу його життю чи здоров'ю, або життю і здоров'ю людей, які його оточують, повідомляти про небезпеку свого безпосереднього керівника або іншу посадову особу.

Арматурник має право відмовитися від дорученої роботи, якщо створилася виробнича ситуація, небезпечна для його життя чи здоров'я або для життя та здоров'я людей, які його оточують, а також завдає шкоди навколишньому середовищу. Факт наявності такої ситуації підтверджується спеціалістами з охорони праці підприємства за участю представника профспілки і уповноваженого трудового колективу.

Під час виконання робіт на арматурника можуть впливати такі небезпечні та шкідливі виробничі чинники:

Фізичні небезпечні та шкідливі виробничі чинники:

- машини і механізми, що рухаються;
- підвищена запиленість повітря робочої зони;
- підвищена або понижена вологість повітря;
- підвищена або понижена температура повітря робочої зони;
- підвищена рухомість повітря;
- недостатня освітленість робочої зони;
- підвищена сонячна радіація;
- розміщення робочого місця на значній щодо поверхні землі або підлоги висоті (глибині).

Психофізіологічні небезпечні та шкідливі виробничі чинники:

- фізичні перевантаження (статичні, динамічні);
- нервово-психічні перевантаження (монотонність праці, емоційні перевантаження).

Конкретні небезпечні та шкідливі виробничі чинники визначаються під час атестації робочих місць.

Під час роботи арматурникові слід дотримуватися граничних норм підймання й переміщення вантажів.

Арматурник повинен користуватись виданим йому спецодягом:

- костюм брезентовий;
- черевики шкіряні;
- рукавиці брезентові.

На зовнішніх роботах взимку додатково:

- куртка бавовняна на утепленій підкладці;
- штани бавовняні на утепленій підкладці;
- валянки.

Під час виконання своїх трудових обов'язків арматурник зобов'язаний дотримуватися вимог санітарних норм та особистої гігієни:

- приступати до роботи у засобах індивідуального захисту;
- прийняти і утримувати протягом зміни робоче місце у чистоті й порядку;
- зберігати і приймати їжу тільки у відведених для цього місцях;
- після завершення роботи вимити забруднені частини тіла.

Протягом зміни необхідно слідкувати за самопочуттям. У разі погіршення самопочуття припинити виконання робіт, скористатися препаратами з аптечки, повідомити про це керівника робіт та звернутися за допомогою до медичного закладу.

За порушення вимог цієї інструкції арматурник притягається до дисциплінарної відповідальності згідно з чинним законодавством України.

4.2 Вимоги безпеки перед початком роботи.

Арматурник комплексної бригади, який проводить стропування арматурних стержнів або каркасів під час переміщення їх вантажопідйомними кранами та прихвачування стержнів арматури із застосуванням електроконтактного або електродугового зварювання, повинен мати при собі посвідчення на виконання таких робіт.

Арматурник зобов'язаний:

- перевірити справність спецодягу, спецвзуття, засобів індивідуального захисту та одягнути їх;

- перевірити справність застосовуваних інструментів і пристосувань та їх заземлення.

Ручний інструмент не повинен мати вибоїн, сколів робочих кінців, задирок і гострих ребер у місцях затискування рукою, тріщин і сколів на тильній стороні, перекалювання, збитих скосів робочої поверхні.

Дерев'яні держакі інструментів (молотка, кувалди тощо) повинні бути чисто оброблені, підігнані та надійно закріплені);

- очистити брівки і укуси котловану і траншеї, де укладається арматура, від каміння, обваленого ґрунту, а взимку - від грудок мерзлої землі;

- перевірити надійність кріплення стінок котловану (траншеї);

- перевірити стійкість, справність риштувань та їх огорожі, конструкцій опалубки;

- оглянути робоче місце, прибрати непотрібні предмети і матеріали, звільнити проходи;

- упевнитись в тому, що для проходу до робочого місця, яке розташоване, або в котловані, траншеї, а також для переходу з однієї конструкції на іншу, або по ділянках укладання арматури встановлені драбини, перехідні містки:

- перевірити наявність огорож в небезпечній зоні внизу будівлі. 2.3.

Погодити з керівником робіт чітко визначення робочої зони.

4.3 Вимоги безпеки під час виконання робіт.

Перебуваючи на будівельному майданчику, слід користуватися захисною каскою.

Виконувати слід лише ту роботу, з якої проінструктований і до якої допущений майстром (виконробом).

Арматурник повинен протягом усього робочого дня утримувати в порядку і чистоті робоче місце, не загромождувати його і прохід матеріалами і конструкціями.

Проводити арматурні роботи на висоті понад 1,3 м над землею чи перекриттям слід на огорожених робочих місцях.

У разі недоцільності влаштування риштувань арматурник під час роботи на висоті зобов'язаний користуватися випробуваним запобіжним поясом.

Місця закріплення карабіна запобіжного пояса повинні бути вказані майстром (виконробом).

Забороняється проводити зовнішні арматурні роботи на риштуваннях під час грози, ожеледиці, туману, при швидкості вітру 15 м/с. і більше.

Арматурник, який працює на будівельному майданчику, отримує індивідуальні запобіжні пристосування (користуватися ними дозволяється лише після спеціального інструктажу):

- при обробці арматури - окуляри С1-БЦ чи „Моноблок-2”;
- при роботі на висоті - запобіжний пояс;
- при електрозварних роботах - окуляри із захисним склом, світлофільтрами марок В-1, В-2, В-3;
- при всіх видах робіт - каска з двох-і тришаровим підшоломником.

Арматурну сталь на будівельному майданчику слід складати в стелажі висотою не більше 1,5 м, прокатні метали (кутник, сортова сталь) - у штабелі висотою не більше 1,5 м з підкладками, арматурну сталь в бухтах, мотках - у штабелі висотою не більше 1,5 м.

Стропування складованих матеріалів вантажопідйомними механізмами може виконувати арматурник, який цьому навчений і має посвідчення.

Вертикальне транспортування арматурної сталі та готової арматури проводиться з допомогою перевірених вантажозахватних пристосувань.

Роботи з прихватки під час заготовляння та монтажу арматури мають проводити арматурники, які пройшли навчання та отримали посвідчення на право виконання таких робіт.

Монтаж арматури ригелів балок перекриттів, колон, стін та інших елементів будівельних конструкцій слід проводити з огороженого робочого настилу шириною не менше 0,8 м.

Забороняється перебувати на каркасі під час проведення робіт.

У місцях укладеної арматури прохід дозволяється по спеціальних містках шириною не менш 0,6, які встановлюються на козлах.

Арматурні каркаси колон у разі встановлення їх без опалубки слід надійно закріплювати інвентарними розпівками чи відтяжками.

До підняття елементи опалубки, арматурні сітки та окремі стержні арматурних і арматурно-опалубочних блоків необхідно надійно скріплювати між собою.

Арматурні каркаси, арматурно-опалубочні блоки під час переміщення потрібно утримувати від розхитування і обертання реманентними відтяжками.

Відчеплення тросів, вантажозахватних пристосувань можна проводити лише після надійного закріплення встановлених каркасів і блоків.

Під час підняття і монтажу армоконструкцій перебування арматурника під риштуваннями забороняється.

Забороняється скидати з перекриттів чи настилів риштувань інструменти, обрізки металу та інші предмети.

Встановлення арматури поблизу електрод ротів та іншого електрообладнання слід виконувати під керівництвом майстра (виконроба).

4.4 Вимоги безпеки після закінчення роботи

Відключити верстати, лебідки від електромережі та закрити пускові рубильники на замок.

Очистити інструмент і здати його на зберігання.

Привести у порядок робоче місце, прибрати будівельне сміття і сторонні предмети з проходів.

Про всі помічені неполадки повідомити майстра (виконроба).

4.5 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

Якщо під час виконання робіт виникла аварійна ситуація, слід негайно зупинити роботи, відключити рубильник, повідомити майстра (виконроба).

У разі нещасного випадку негайно припинити роботу, вивільнити потерпілого від подальшої дії на нього травмуючого чинника (вантаж, що притиснув його, електричного струму тощо), повідомити майстра, викликати швидку медичну допомогу, надати першу долікарську допомогу.

Зберегти до розслідування обстановку на робочому місці та стан обладнання такими, якими вони були на момент події (якщо це не загрожує життю і здоров'ю робітників і не призведе до аварії).

4.6 Висновок до розділу 4

У розділі 4 розглянуто примірну інструкцію арматурника з охорони праці, розглянуто ряд шкідливих фізичних та психофізіологічних чинників які можуть впливати на арматурника. Проаналізовано комплекс вимог до армувальника, для забезпечення безпеки, які повинні виконуватись перед, під час та після виконання арматурних робіт. Також розглянуто вимоги безпеки в аварійних ситуаціях.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

- 1 Проведено аналіз літератури щодо видів композитної арматури, історії її винайдення, характеристики та метод виготовлення.
- 2 Перевага композитної арматура полягає насамперед у малій вазі і низькій вартості в порівнянні з металевою. Окрім того цей матеріал стійкий до дії агресивного середовища. Цю властивість можна використовувати для армобетонних конструкцій на які є постійний вплив, або які експлуатуються в умовах підвищеного агресивного середовища.
- 3 Представлено конструкцію армобетонної балки зі сталевими стержнями в верхній частині і склопластиковими в нижній. За допомогою програмного комплексу ANSYS і методу скінчених елементів змодельовано напружено-деформований стан балки з композитною арматурою, та порівняно з ідентичною балкою із армованою металевою арматурою.
- 4 З результатів аналізу напружено-деформованого стану виявлено що напруження в композитній арматурі АКС800 майже в 3,5 рази менше ніж в металевій арматурі 400с.
- 5 За результатами аналізу виявлено що максимальна пружна деформація в балці із композитною арматурою на 13,2% більша ніж в зразку з металевою арматурою. Прогин балки в зразку з композитною арматурою більший на 9,7% ніж в зразку з металевою арматурою.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Вікіпедія [Електронний ресурс]
https://ru.wikipedia.org/wiki/Композитная_арматура
2. Композитна арматура [Електронний ресурс] <https://cherkasy24.info/2917-kompozitna-armatura.html>
3. Виробництво склопластикової композитної арматури. Бізнес-план по виробництву склопластикової арматури. Які документи потрібні для відкриття [Електронний ресурс] <https://ukuytdom-nn.ru/uk/proizvodstvo-stekloplastikovoii-kompozitnoi-armatury-biznes-plan-po/>.
4. Застосування композитної арматури [Електронний ресурс] <https://kiev-bereg.com/ua/zastosuvannya-i-vikoristannya-kompozitnoi-armaturi>
5. Як зв'язати пластикову арматуру [Електронний ресурс] <https://polyarm.pro/blog/tehnologii/kak-svyazat-armaturu>
6. Переваги та недоліки використання композитної арматури в будівництві [Електронний ресурс] <https://ms.lviv.ua/kompozytna-armatura-uk/perevagy-ta-nedoliky-vykorystannya-kompozytnoyi-armatury-v-budivnyctvi.html>
7. ДСТУ-Н Б В.2.6-185:2012 Настанова з проектування та виготовлення бетонних конструкцій з неметалевою композитною арматурою
8. А.С. Кравчук. Лекции по ANSYS с примерами решения задач [Електронний ресурс]: курс лекцій в 5 частях / Кравчук А.С., Смалюк А.Ф., Кравчук А.И. – Минск: БГУ, 2013. – 130 с.
9. ДБН В.2.6-98-2009 Бетонні та залізобетонні конструкції основні положення.
10. ДСТУ Б В.2.7-176:2008 Суміші бетонні та бетон. Загальні ТУ
11. ДСТУ 3760:2006 Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій.
12. ТУ У В.2.7-25.2-34323267-001:2009 Арматура неметалева композитна базальтова періодичного профілю. Технічні умови
13. ТУ У В.2.7-25.2-21191464-024:2011 Арматура композитна «Екібар».
14. Пиндус Ю.І., Конончук О.П., Підгурський М.І. Методичні вказівки з дисципліни “Метод скінченних елементів в механіці споруд.” 2016.

15. https://imp-frp.com/include/content/buy/gallery_know-img/ru/gazobeton-imperatyv.jpg

16. https://imp-frp.com/include/content/buy/gallery_know-img/ru/fundament-mesh-imperatyv.jpg

17. Вся правда про композитну арматуру, а так само міфи, марення і брехня!
[Електронний ресурс] <https://imp-frp.com/uk/know>

18. ПІ 9.0.20-222-2003. Примірна інструкція з охорони праці для арматурника (33303)