МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ІМ. Ю.М. ПОТЕБНІ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра промислового та цивільного будівництва

Кваліфікаційна робота

другий (магістерський)

на тему: **«Дослідження бетону з дисперсійним армуванням»**

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1923-пцб-2
спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»
освітньої програми «Промислове і цивільне будівництво»
Ширяєв Д.О.
Керівник доц., к.т.н. Самченко Р.В.
Рецензент проф., д.е.н. Анін В.І.

Запоріжжя
2024 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ІМ. Ю.М. ПОТЕБНІ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра **Промислового та цивільного будівництва**
Рівень вищої освіти другий магістерський рівень
Спеціальність **192 «Будівництво та цивільна інженерія»**
(шифр та назва)
Освітньо-професійна програма «Промислове і цивільне будівництво»
(шифр та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ПЦБ
проф.Арутюнян І.А.
«____» _____ 20___ року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Ширяєву Данилу Олексійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проекту) Дослідження бетону з дисперсійним армуванням

Керівник роботи Самченко Роман Васильович, к.т.н.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від «30»вересня 2024 року №1486-с
2 Строк подання студентом роботи 02.12.2024 р.
3 Вихідні дані до роботи *Актуальність обраного напрямку досліджень, значимість у сучасному житті, можливості розвинення проблематики, перспективи впровадження майбутніх досягнень, мета роботи, завдання до виконання обраних досліджень, об'єкт досліджень, предмет досліджень*
4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) *Виконати аналіз сучасних методів дисперсійного армування в бетоні. Зробити аналіз розрахунків бетонів з дисперсійним армуванням. Порівняти методи дисперсійного армування між собою та з армуванням металевими стрижнями.*

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) *Від восьми графічних аркушів із результатами аналітичних обґрунтувань наукового напряму досліджень, результатами експериментальних досліджень, результатами чисельних розрахунків із застосуванням сучасних інформаційних методів досліджень*

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Самченко Р.В., доц.		
Розділ 2	Самченко Р.В., доц.		
Розділ 3	Самченко Р.В., доц.		

7 Дата видачі завдання 19.05.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Розділ 1 Аналіз методологічних підходів розробки проєктно-технологічної документації	26 жовтня	
2	Розділ 2 Дослідження процесу розробки проєктно-технологічної документації в будівництві	15 листопада	
3	Розділ 3 Розробка проєктно-технологічної документації для дослідження бетону з дисперсійним армуванням	30 листопада	

Студент _____ Д.О. Ширяєв
(підпис) *(ініціали та прізвище)*

Керівник роботи _____ Р.В. Самченко
(підпис) *(ініціали та прізвище)*

Нормоконтроль пройдено _____ Н.О. Данкевич
(підпис) *(ініціали та прізвище)*

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія, науковий керівник Самченко Р.В, Інженерний навчально-науковий інститут Запорізького національного університету, 2024.

Сучасний рівень розвитку будівельної галузі вимагає застосування ефективних будівельних матеріалів та виробів, що володіють особливими властивостями та характеристиками; постійного удосконалення нормативно-технічної бази проектування будівельних конструкцій.

Більшість заходів спрямовано на досягнення певного компромісу, при якому будівельні матеріали та конструкції набувають покращених показників якості і при цьому не вимагають підвищення трудових, енергетичних та матеріальних ресурсів на своє виробництво та експлуатацію. Одним із найбільш перспективних у ряді таких будівельних матеріалів є фібробетон.

Обґрунтовано особливості використання фібробетонів в якості армування в бетонних виробах та конструкціях.

Ключові слова. *Фібробетон, дисперсійне армування, фібра, міцність, будівельні матеріали, сучасне будівництво, будівель і споруд, ефективних матеріалів, головні недоліки матеріалів, економічне обґрунтування.*

Ширяєв Д.О., Самченко Р.В. Дослідження бетону з дисперсійним армуванням. Матеріали IX Міжнародної науково-практичної конференції «Perspectives of contemporary science: theory and practice» (14-16 листопада 2024 р., м. Львів). Львів: Національний університет «Львівська політехніка», 2024. С. 452-454.

ABSTRACT

Qualified graduation work to achieve a higher level of master's degree in specialty 192 – Life and civil engineering, scientific ceramics Samchenko R.V., Eng. Primary Science Institute of Zaporizhzhya National University, 2024.

The current pace of development of the stimulant system is driven by the stagnation of effective stimulant materials and viruses that have special powers and characteristics; continuous improvement of the regulatory and technical basis for the design of building structures.

Most of the approaches are aimed at achieving a simple compromise, in which the building materials and constructions produce reductions in the performance of viscosity and in which there is no increase in labor, energy and material costs. resources for its production and exploitation. One of the most promising among a number of such natural materials is fiber-reinforced concrete.

The specificity of the vibrating fiber-reinforced concrete in the reinforcement structure in concrete ducts and structures is covered.

Key words. Fiber-reinforced concrete, dispersive reinforcement, fiber, value, future materials, daily wake-up, wake-up materials, effective materials, major shortcomings of materials, economical priming.

Shiryaev D.O., Samchenko R.V. Research of concrete with dispersion reinforcement. Proceedings of the IX International Scientific and Practical Conference “Perspectives of contemporary science: theory and practice” (November 14-16, 2024, Lviv). Lviv: National University “Lviv Polytechnic”, 2024. P. 452-454.

ЗМІСТ

ВСТУП 8

1.ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО БЕТОН І ЙОГО АРМУВАННЯ 11

1.1 Композиційний матеріал – бетон 11

1.2 Классифікация бетона 12

1.3 Залізобетон, види армування 15

1.4 Дисперсне армування 17

1.5 Види та властивості волокон для дисперсного армованого бетону 20

2. РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ФІБРОБЕТОНИХ КОНСТРУКЦІЙ 40

2.1 Загальні положення про розрахунок фібро бетонів 40

2.2 Розрахунок елементнів фібробетонних конструкцій за несучою здатністю при дії згинальних моментів і повздовніх сил 45

3. ПРАКТИЧНІ РОЗРАХУНКИ ЕЛЕМЕНТІВ З ФІБРОБЕТОНУ 49

3.1 Практичний розрахунок для сталевої фібри 55

3.2 Практичний розрахунок для поліпропіленової фібри 70

3.3 Практичний розрахунок для базальтової фібри 84

3.4 Розрахунки кошторисів для порівняння економічної цінності 98

3.4.1 Розрахунок кошторису для монолітної плити перекряття з фібробетону армованого сталевою фіброю 99

3.4.2 Розрахунок кошторису для монолітної плити перекряття з фібробетону армованого поліпропіленовою фіброю 101

3.4.3 Розрахунок кошторису для монолітної плити перекряття з фібробетону армованого базальтовою фіброю 104

3.4.4 Розрахунок кошторису для збірної з/б плити перекриття 106

3.4.5.1 Розрахунок кошторису для монолітної плити перекряття з бетону армованого сталевою арматурою 109

3.4.5.2 Експертиза монолітної плити армовані стрижнями армати 112

ВИСНОВКИ 114
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 115

Вступ

Для будівельного виробництва принциповим є використання у будівництві ефективних будівельних конструкцій і матеріалів, розробка і впровадження нових ресурсозберігаючих технологій, використання в будівельних конструкціях, виробах та матеріалах, відходів промисловості, сертифікація будівельних матеріалів, виробів та конструкцій. Успішний розвиток будівельної галузі базується на використанні сучасних технологій та матеріалів, які повинні відповідати нормам стандартизації.

Сучасне будівництво виставляє більш високі вимоги для будівельних матеріалів. Бетон застосовується в різних областях будівництва, а вимоги до умов експлуатації бетонних конструкцій підвищуються, що тягне за собою збільшення міцності, підвищення опору ударам та іншим впливам. Будь-який спосіб, що покращує якості бетонної суміші, тягне за собою підвищення вартості матеріалу.

Для вирішення цих питань були розробленні і розробляються бетони які володіють високими експлуатаційними характеристиками, а саме дисперсно-армовані бетони.

Дисперсно-армовані волокнами бетони, або фібробетони, це додавання волокон (фібри) до бетонної суміші які рівномірно розподіляючись по всій цементної суміші, фібра надає рівну міцність всіх частин виробу з бетону, для фібри характерні підвищені значення міцності на розтяг, ударо та вібростійкість, низька стираність та ряд інших покращених фізико-механічних властивостей. Застосування фибробетона призводить до суттєвої економії металу і витрат праці на арматурні роботи, підвищуючи одночасно надійність і міцність бетонних конструкцій.

Фібробетон зарекомендував себе як матеріал, здатний витримувати великі навантаження, тому його найчастіше використовують саме в тих конструкціях, які вимагають забезпечення високої міцності під час впливу значних навантажень. Крім того, для його виготовлення і застосування не потрібна спеціальна техніка. Це дає можливість даному бетону справедливо конкурувати з іншими типами бетонів.

На цей час запропонована велика кількість видів фібри, яка відрізняється властивостями матеріалу та геометричними параметрами.

В даній роботі досліджено особливості різних видів фібр, проведено аналіз їх технологічних параметрів та властивостей у порівняння фібро бетону з залізобеном. Для визначення можливості зниження витрат матеріальних, та енергетичних ресурсів.

Мета: Аналіз особливостей дисперсійного армування у бетонних конструкціях.

Об'єкт: Бетон з дисперсійним армуванням або фібробетон.

Предмет: Використання фібри у якості армуючого матеріалу для монолітних конструкцій з бетону.

Завдання дослідження.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- проаналізувати теоретичні відомості видів фібробетону;
- визначення особливостей фібробетонів;
- порівняти види фібро бетону між собою та зі сталевим армуванням бетонних конструкцій

Методологія дослідження:

Аналіз теоретичних даних минулого та зарубіжного досвіду, нормативних документів, дослідів. В процесі виконання роботи було використано теоретичний метод дослідження. Проведено огляд літературних

джерел по темі та проаналізовано отримані дані.

Наукова новизна

Аналіз використання фібробетона при армуванні бетонних контструцій та їх переваги над іншими матерілами, а саме:

- проведено аналіз теоретичних основ при використанні фібри як арматури;

- проаналізовано існуючі види фібр, виявлення їх переваг та недоліків;

- оцінка техніко-економічної ефективності вибору фібри замість сталевих арматур у бетоні.

- особливості вибору фібробетонів у будівництві;

Практична значимість

Практична значимість дослідження полягає в використанні результатів отриманих за допомогою аналізу фібробетона з метою отримання даних про визначення найкращих показників серед різних видів фібр які використовують як арматуру під час будування та реконструкції сучасних будівель та споруд, або окремих будівельних конструкцій.

Апробація роботи. Основні положення роботи опубліковані на IX Міжнародній науково-практичній конференції «Perspectives of contemporary science: theory and practice» у секції «Технічні науки» (2024, м. Львів).

1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО БЕТОН І ЙОГО АРМУВАННЯ

1.1 Композиційний матеріал – бетон

У будівництві бетон мають високу популярність, вони складаются, на основі цементу або інших неорганічних в'яжучих речовин.

Готова бетонна суміш представляє собою пластичку массу, що складається з чотирьох основних компонентів, які замішують у певніних пропорціях: цемент, щебінь, пісок, вода. Якщо суміш, замішується без використання щебеню, її називають цементним розчином.

Цемент і вода є основними і ключовими частинами бетону, тому що їх основна функція – поєднати всі компоненти в єдину монолітну структуру. В результаті їх змішування утворюється цементний камінь, що скріплює зерна наповнювачів в єдиний моноліт.

Роль наповнювачів - створити структурний каркас, який сприймає усадочну напругу, і в результаті, готовий бетон дає меншу усадку.

Під час поєднання цементу із заповнювачем хімічної реакції зазвичай невідбувається (окрім винятків як силікатний бетон, одержуваний автоклавною обробкою), тому заповнювачі часто називають інертними матеріалами. Проте вони значно впливають на саму структуру та властивості бетонів, міняючи його пористість, терміни твердіння, поведінку при впливах навантаженнь та довкілля. Заповнювачі відіграють велику роль зменшуючи деформацію бетонів. Під час твердіння з цим забезпечують отримання більших розмірів для виробів та конструкцій. Як наповнювачі у більшості використовують місцеві гірські породи та відходи виробництв (шлаки та ін). Такі наповнювачі дешеві, а з цим і знижує вартість бетону, так як наповнювачі та вода становлять 85-90 %, а сам цемент - 10-15 % від маси бетону.

Для зміни властивоств бетонів в їх склад вводять різні

хімічні добавки, які прискорюють або сповільнюють час трердіння бетонної суміші, регулюють в’язкість бетону, підвищують його міцність та морозостійкість, а якщо є необхідності змінюють та інші властивості бетону.

Різноманітні в'яжучі речовини, заповнювачів, добавок та технологічних прийомів дозволяє отримувати бетон з самими різноманітними властивостями.

1.2 Классификация бетона

На сьогоднішній день у будівництві застосовуються різні типи бетону, які відповідно до ДСТУ Б В.2.7-96-2000 класифікують за середньою щільністю, типом в'яжучої речовини, структурою, технологічними характеристиками та призначенням.

Класифікація за типом в'яжучої речовини::

- Бетони на цементних в'яжучих – виготовляються на основі клінкерних цементів.
- Бетони на вапняних в'яжучих – виготовляються із вапна в поєднанні з гідравлічно активними та кремнеземистими компонентами.;
- Бетони на гіпсових в'яжучих – виробляються на основі напівводного гіпсу або гіпсоцементно-пуцоланових сумішей.;
- Бетони на шлакових в'яжучих – виготовляються з мелених шлаків та золи у поєднанні з активізаторами твердіння.;
- Бетони на спеціальних в'яжучих – містять органічні або неорганічні компоненти залежно від цільового застосування.

За призначенням (область застосуваннь) бетони ділятся на конструкційні та спеціальні. Конструкційні бетони використовуються для несучих та огороджувальних конструкцій будівель та споруд. Спеціальні ж натомість призначені для конструкцій, для експлуатаціїї в спеціальних

умовах. До них відносять, жаростійкі, хімічно стійкі, теплоізоляційні, радіаційно-захисні, декоративні бетони.

Щільність бетону залежить від щільності цементного каменю, структури матеріалу та типу заповнювача. За цим показником бетони поділяють на:

- Особливо важкі (>2500 кг/м³);
- Важкі (1800–2500 кг/м³);
- Легкі (600–1800 кг/м³);
- Особливо легкі (<600 кг/м³).

Основна частина бетонів, що використовуються в масовому будівництві, належить до категорії важких.

Класифікація за структурою

За характером структури бетони поділяють на:

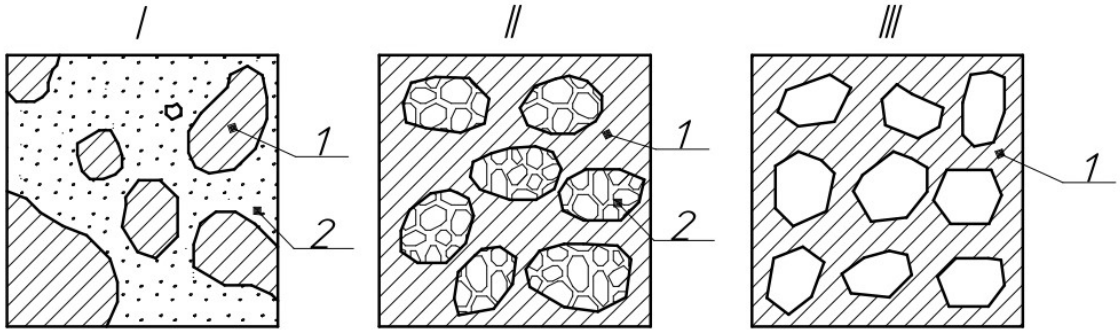
- щільні;
- крупнопористі;
- комірчасті.

Структура бетону значно впливає на його міцність і здатність до деформації.

Формування цементного каменю:

Під час замішування цементу із заповнювачами й водою починається хімічна реакція між мінералами цементу та водою. У результаті утворюється гель — пориста маса, що містить частинки цементу, які ще не вступили в реакцію, і невеликі кристалічні утворення.

У процесі перемішування гель покриває зерна заповнювачів, поступово твердне, і кристали об’єднуються у зростки, які розвиваються з часом. Твердіючи, гель перетворюється на цементний камінь, що скріплює зерна заповнювачів, формуючи монолітний матеріал — бетон.



I - щільна структура, II - крупнопориста структура, III - пориста структура,
1 - матриця цементного каменю; 2 - заповнювач

Рисунок 1.1 - Типи мікроструктур бетону

Кількість води, що використовується для приготування бетонної суміші, є одним із ключових факторів, які впливають на структуру та міцність бетону. Її оцінюють за водоцементним відношенням (В/Ц), тобто співвідношенням маси води до маси цементу в одиниці об’єму суміші.

З технологічної точки зору для забезпечення необхідної рухливості та зручності укладання бетонної суміші зазвичай використовують воду з невеликим надлишком. Частина цієї води згодом вступає в реакцію з менш активними частинками цементу, а інша частина заповнює пори та капіляри в цементному камені, а також порожнини між зернами заповнювача і сталевою арматурою. Згодом ця вода випаровується, залишаючи порожнини.

Дослідження показують, що пори займають близько третини об’єму цементного каменю. Зменшення В/Ц призводить до зниження пористості цементного каменю і, відповідно, до підвищення міцності бетону.

Структура бетону є неоднорідною: вона формується у вигляді просторової решітки з цементного каменю, заповненої зернами піску та щебеню різної форми та розміру. Ця решітка пронизана великою кількістю мікропор і капілярів, які містять хімічно незв’язану воду, водяні пари та повітря.

1.3 Залізобетон, види армування

Сьогодні бетон є основним матеріалом у будівництві. Проте він залишається крихким і має низку недоліків: низьку міцність на вигин, слабкий опір розриву та схильність до утворення тріщин усадки при твердінні, що знижує довговічність бетонних виробів.

Для компенсації напружень на розтяг бетон армують сталевими стрижнями, утворюючи залізобетон. У залізобетоні арматура розташовується так, щоб сприймати розтягувальні напруги, тоді як стискаючі напруги передаються на бетон. Ефективність спільної роботи бетону та арматури забезпечується хорошим зчепленням між ними та близькими коефіцієнтами лінійного температурного розширення.

У заводському виробництві арматура становить приблизно 20% собівартості залізобетонних виробів, тому організація арматурних робіт на заводах збірного залізобетону має важливе технічне та економічне значення.
Залежно від типу армування залізобетонні вироби поділяють на:

- Попередньо напружені;
- Звичайні з армуванням сталевими стрижнями;
- З дисперсним армуванням.

Армування залізобетонних конструкцій (ЗБК) здійснюється за допомогою плоских сіток та просторових каркасів, виготовлених зі сталевих стрижнів різного діаметра, зварених у місцях перетину. Це є важливим етапом виробництва, що значною мірою визначає довговічність будівель і споруд.

Розташування арматури в конструкції суворо регламентується. Проектне положення арматури забезпечується її фіксацією у формі до бетонування, що виконується за допомогою інвентарних пристроїв. Закладні деталі приварюють до арматурного каркаса або закріплюють у формах за

допомогою гвинтів. Важкі арматурні каркаси монтують механізованим способом за допомогою кранів.

У залізобетонних конструкціях із ненапруженою арматурою під час експлуатації можуть виникати тріщини в розтягнутій зоні. Застосування попередньо натягнутої арматури створює в цій зоні стискаючі напруги, що дозволяє значно підвищити тріщиностійкість виробів, зменшити їхню деформативність і забезпечити використання високоміцних сталей. Це забезпечує до 40% економії металу.

Існує також метод дисперсного армування, за якого в рідкий бетонний розчин додають металеву стружку або спеціальне фіброве волокно. Такий підхід дозволяє отримати матеріал із підвищеною стійкістю до зношування та більшою жорсткістю порівняно з незміцненими варіантами.

Відомо, що значною проблемою під час експлуатації залізобетонних конструкцій в агресивному до металу середовищі є швидке руйнування споруд, внаслідок корозії металу. Саме в таких випадках кращім варіантом продовження життя бетонних конструкцій є заміна сталевої арматури на неметалеву. Наприклад склопластикові стрижні не схиляются до корозії, тому заміна внутрішнього силового каркаса рівною за міцністю композитною арматурою, дають потрібний результат.

Якщо є необхідність посилити бетонну конструкцію, яка знаходяться в агресивному середовищі саме до бетону, то є можливість використовувати зовнішне армування, а саме с поміччю листового склопластику, який утворює з зовні споруди таку собі захисну оболонку, через яку не принкає ні повітря ні вода.

Під час виробництва та експлуатації бетонних споруд з`являются тріщини, які обумовлюются комплексом причин. Тріщини, деформації чи руйнування виникають під час ударних, вібраційних, та під час інших

динамічних навантаженнь; недоглядам у розрахунках або армуванні; використання неякісних матеріалів; порушеннями режиму теплової обробки та проблеми під час монтажу; різнорідністю міцності, пружності та жорсткості використовуваних матеріалів; втратою міцності основи.

Все ці фактори найбільш інтенсивно з`являются на різних етапах твердіння бетону, тому вони по різному впливають на довговічність бетонних елементів. Найбільшу роль відіграють деформації, що відбуваються в вже затверділому бетоні, коли основна частка припадає на ті з них, тримають найбільше навантаження, що розтягують або згинають, внутрішніми напругами при циклічних заморожуваннях і відтаюваннях, впливом зовнішнього середовища, корозійнні процеси. Ці дефекти з часом істотно позначається на напружено деформованому стані елементів конструкцій.

Попередити всі вищеназвані причини тріщиноутворення в бетоні або знизити рівень їх впливу на властивості матеріалу можна застосуванням дисперсно-армованих бетонів. На сьогодення все більш широкого поширення набуває застосування спеціальних дисперсно-армуючих волокон які частково або повністю можуть замінити традиційне сталеве армування.

Дисперсно-армований бетон це бетон із додаванням дисперсних волокон (фібр). Які покращують властивості оброблюваності в бетоні окрім традиційних складових та фібри додають пластифікатори. Попри це на відміну від стандартного сталевого армування конструкцій фібра в бетоні рівномірно розподіляється за обсягом.

1.4 Дисперсне армування

Сучасне будівництво тісно пов’язане із завданнями підвищення ефективності виробничих процесів, зменшення витрат і трудомісткості, економії матеріальних і енергетичних ресурсів, а також впровадженням

нових прогресивних матеріалів. Одним із перспективних конструкційних рішень є дисперсно-армовані бетони, які належать до широкого класу композиційних матеріалів, що дедалі активніше використовуються в різних галузях промисловості. Армування цих бетонів здійснюється за допомогою волокон-фібр, рівномірно розподілених у бетонній матриці.

Сьогодні інтерес до застосування волокон як основи для армування будівельних конструкцій значно зріс. Це пояснюється прагненням суттєво покращити фізико-механічні характеристики бетонних конструкцій, які повинні відповідати все більш жорстким вимогам сучасного будівництва..

Окрім цього, враховується зростаюче споживання природних ресурсів, збільшення енергетичних витрат, накопичення відходів і забруднення довкілля через зростання обсягів виробництва.

Відомо, що виробництво бетону вимагає значно менше енергії порівняно з виготовленням сталі, алюмінію чи скла.

Проте армування бетону волокнами підвищує його енергоємність, але водночас вирішує проблему низької міцності на розтяг і відкриває можливості створення нових типів бетонів із розширеним спектром застосування в будівництві. Як і у випадку з залізобетоном, зміцнення бетону волокнами базується на здатності матриці передавати прикладене навантаження волокнам через дотичні сили на поверхні розділу, в результаті чого основні напруги сприймають саме волокна.

Досвід дослідження та застосування дисперсно-армованих бетонів показав, що введення волокон сприяє:

- покращення характеристичиз властивостей міцності для бетону, ударо- та зносостійкості, підвищення тріщиностійкості, підвищення його статичної міцності при різних видах навантажень;

- збільшенню експлуатаційної надійності для конструкції в середовищі агресивних впливів завдяки вдосконаленню структури бетоної матриці;
- скорочення робочого перерізу конструкцій, у деяких випадках зі зменшенням витрат або повній відмові від використання стрижневої арматури.

Аналіз технічних літературних джерел дозволяє визначити ефективні галузі використання різних видів фібрових волокон як дисперсну арматуру і виділяє такі закономірності, які можна вважати загальними:

- властивості фібробетону визначаються видом волокон і бетону, що застосовуються, їх кількісним співвідношенням і багато в чому залежать від стану контактів на межі розділу фаз;
- суттєве підвищення характеристик міцності композиту в порівнянні з вихідним бетоном із збереженням досягнутого рівня в часі забезпечується використанням високотехнологічних волокон, хімічно стійких по відношенню до матриці та з більшим, ніж у неї, модулем пружності;
- вид волокон, їх відносна довжина та процентний вміст у суміші повинні призначатися, виходячи з вимог до виробів та конструкцій з урахуванням прийнятої технології, відступ від оптимальних значень зазначених параметрів у більшу чи меншу сторону знижує ефективність дисперсного армування;
- при оптимальних параметрах армування введення волокон сприяє поліпшенню структури та властивостей вихідного бетону, підвищенню його стійкості та довговічності.

Фібробетон має численні переваги, зокрема:

- зменшенням витрат під час будівництва, через заміну армуючої сітки та каркасу фіброю;

- зниженням витрати бетону при використанні фібри;
- збереженням технічних характеристичних властивостей під час та після закінчення терміну служби через підвищену в'язкість матеріалу завдяки фібровим волокнам.

З недоліків можно виділити, високу вартість порівнюючи із звичайними бетонами.

1.5 Види та властивості волокон для дисперсного армування бетону

До армуючих матеріалів останнім часом все ширше використовується армування дисперсними волокнами. Під час виготовлення, використовують різні матеріали: поліпропілен, метал, скло, базальт. Армування дисперсними волокнами як заміна стрижневому відбувається частково. Спочатку вони розглядалися як додаткові посилюючі елементи до залізобетону.

Зазвичай фібробетон визначають як композиційний матеріал, основа якого становить цементна матриця (щільної або пориста, з заповнювачем або без нього) що містить рівномірно або певним чином розподілені в її обсязі орієнтовані або хаотичного розташування дискретні волокна (фібри) різного типу та походження.

Сьогодні для дисперсного армування бетону застосовуються металеві (переважно сталеві) та неметалічні (мінеральні, полімерні тощо) волокна з високим або низьким модулем пружності, які мають різну довжину та форму поперечного перерізу. Сталеву фібру виготовляють шляхом різання низьковуглецевого дроту, фольги або листової сталі, формуванням з розплаву, фрезеруванням смуг і слябів, а також у процесі токарної обробки. Неметалічні фібри (скляні, базальтові, синтетичні тощо) представлені відрізками моноволокон, комплексних ниток або фібрильованих плівок. Для їх виробництва в ряді випадків раціонально використовувати промислові відходи відповідних виробництв.

Фібробетон має низку властивостей завдяки яким він стає більш популярним у сучасному будівництві, а саме:

- висока ударна міцність, яка вп'ятеро перевищує аналогічний показник звичайного бетону;
- висока міцність на зріз та розтяг;
- висока стійкість до хімічних впливів
- тріщиностійкість, менша схильність до сколів;
- морозостійкість;
- водонепроникність;
- жароміцність та пожежостійкість;
- має меншу вагу порівняно з арматурним каркасом, що дозволяє споруджувати легкі конструкції;
- добрі показники адгезії;
- зменшення товщини конструкції завдяки змісту фібри, що забезпечує достатню міцність конструкції;
- більш тривалий термін експлуатації, який забезпечує додавання фібри.

Крім того, в процесі затвердіння фібробетон менше схильний до усадки, ніж матеріал без дисперсного армування. Завдяки таким характеристикам, фібробетон широко застосовується у цивільному та промисловому будівництві, зокрема з фібробетону роблять: резервуари, фундаменти під ударне та динамічне. обладнання, склепіння тунелів,
промислові підлоги, покриття доріг і мостів, гідротехнічні споруди також застосовують при веденні ремонтних робіт і при реконструкції будівель і споруд, і так далі.

У будь-якому будівельному процесі відіграє важливу роль.
фактор і в цьому питанні фібробетон має як позитивні, і негативні боку.

Основна перевага фібробетону полягає у відсутності необхідності використання арматури або арматурної сітки, що спричиняє зменшення термінів проведення робіт, витрат на транспортування та монтаж, а також на додаткові матеріали. Головним недоліком фібробетону є найвища вартість самого матеріалу;

Волокна фібри можуть бути виготовлені з різних матеріалів, різного розміру, але застосування фібри підвищує міцність конструкції і збільшує термін її служби. Виготовлена фібра повинна відповідати до вимог ДСТУ-Н Б В.2.6-218-2016 «Настанова з проектування та виготовлення конструкцій з дисперсноармованого бетону».

Розглянемо різновиди фібро волокна:

Базальтова фібра

Базальтове волокно (БВ) має унікальні якості: високим модулем пружності, абсолютною негорючістю (отже, термостійкістю), нетоксичністю, високою адгезією, хімічною стійкістю, стійкістю до вібрації, не піддається впливу мікроорганізмів. Базальтове волокно одержують шляхом плавлення базальтових порід без застосування хімічних добавок. Запаси цього мінерали великі і доступні, а виробництво БВ не викликає труднощів.

Найбільш ефективним, але й дуже енерговитратним є армування бетону базальтовим ровінгом (пучком) та тонким штапельним волокном. Але найчастіше використовують базальтове волокно, отримане відцентрово-дуттьовим способом.

При додаванні волокон в цементну матрицю вони підвищують його характеристики міцності. Завдяки цьому базальтовий фібробетон відрізняється високою тріщиностійкістю, збільшеною ударною міцністю, міцністю бетону при розтягуванні (до 30%), морозостійкість (до 500 циклів), високою стійкістю до корозії. Бетонна суміш швидше твердне, її зчеплення з

поверхнями підвищується. Бо базальт – природний матеріал, базальтофібробетон є екологічно чистим матеріалом. Використання фібри впливає і витрати цементу і води під час виготовлення бетону. Вони знижуються на 15% та 20% відповідно.

Головний недолік БВ – це корозія при гідратації портландцементу. На даний момент немає чіткого пояснення процесам, що відбуваються, а дослідження мають суперечливі результати. Можлива причина цього - використання різних за складом волокон і сполучних матеріалів.

Механізм руйнування є наступним процесом: навколо волокна на межі розділу середовищ виникає оболонка, що складається з продуктів взаємодії. Ця оболонка має більшу адгезію до бетонної матриці, ніж до волокна, внаслідок чого волокно легко висмикується.



Рисунок 1.2 - Базальтова фібра

Існує кілька методів боротьби з руйнуванням базальтового волокна: використання полімербетону, мало- або безлужних в'яжучих, мінеральних добавок, що дозволяють зменшити агресивну дію середовища, зміну структури самого волокна (підшихтування, термічна обробка, іонообмінна обробка, обробка поверхні водними розчинами солей, двошарове покриття, апретування (створення одношарового захисного покриття). Найбільш поширеним є введення кремнеземсодержащих матеріалів, через їх підвищеної активності до лужного середовища гідратуючого цементу Для цього використовують мікро-(МК) та нанокремнезем (НК). Оптимальна кількість мікрокремнезему - 8-10%. Більш ефективним є використання нанокремнезему. Нанокремнезем відрізняється набагато більш розвиненою питомою поверхнею та високим ступенем аморфності.

НК є центром кристалізації продуктів гідратації. Його необхідна Дозування набагато менше, більше того, передозування здатне погіршити якість фібробетону.

Найбільший приріст міцності при стисканні (в 1,5 рази) спостерігається при додаванні 0,1-0,5% ПК. Наноструктурування базальтофібробетону зменшує його пористість більш ніж на 30%, через що підвищується водостійкість, а отже, і довговічність. Також у 1,5 раза збільшується морозостійкість.

Ключовим моментом у приготуванні суміші є рівномірний розподіл базальтових волокон по всьому обсягу, чого не можна досягти у традиційних змішувачах. Рівномірний розподіл можливий при поетапному додаванні волокон у суміш або змішуванні цементу та волокна у сухому вигляді у спеціальних змішувальних та помольних машинах і т.д.

Витрата базальтової фібри на 1 м3 розчину:

- додавання до сухих сумішей, розчинів для декораційних виробів,

пінобетон, газобетон – від 0,3 до 0,9 кг;

- влаштування автостоянки, дороги, для випробуввнь невеликих навантажень, а також промислових підлог – від 0,9 до 1,8 кг;

- будівництво магістралей, мостів, конструкцій, щозазнають сильних навантажень, аеродромних смуг, гідротехнічних споруд – від 1,8 до 2,7 кг.

Область застосування базальтової фібри:

- цивільне будівництво;

- будова промислових підлог;

- споруди з підвищеним зносом поверхні (водосховища, морські споруди, вуглесховища тощо);

- спорудження мости, дороги (а саме, коли високий хімічний вплив і потрібно підвищити стійкість до реагентів);

- будівництво тунелів;

- виготовлення декоративних елементів та тротуарної плитки.

Скловолоконна фібра

Скловолокно – матеріал екологічно чистий. Він не містить шкідливих речовин, не боїться корозії та гниття.

Відмінною рисою скловолокна в порівнянні з іншими видами фібри є підвищення тріщиностійкості, а також зменшення виділення цементного молочка, зменшення величини деформації при усадці.

Скловолокно має високу міцність і досить високий модуль Юнга, крім того, щільність скляної фібри близька до бетону, що сприяє рівномірному розподілу по всьому об'єму бетону. Коефіцієнти лінійного розширення бетону та скляної фібри також близькі за значенням. Основний недолік даного виду армуючих волокон – це низька лужна стійкість.

Скляне волокно розчиняється внаслідок реакції гідратації портландцементу. Для вирішення цієї проблеми використовують спеціальні просочення, що роблять волокно лугостійким.

Скляне волокно має міцність порівнянну з міцністю дроту із високовуглецевої сталі, виготовленої холодно тягнутим способом, при цьому вага буде в 3,5 рази менше.

Робота скляного волокна в бетоні – це сприйняття розтягуючих напруг від бетону та перешкода розкриттю та утворенню тріщин. Крім того, скляне волокно покращує якість поверхні виробів, збільшуючи термін їхньої служби. Оптимальний вміст даного типу волокон у бетонній суміші складається 3-7 мас. %. Бетон, армований таким чином, стає більш ударостійким і має вища межа міцності при стисканні. Однак, міцність на вигин та розрив скляних волокон не показує таких результатів, тому, щоб підвищити ці показники, скляні нитки об'єднують у пучки по 100-200 штук, склеєних полімерним клеєм. Таким чином, діаметр фібри збільшується з 5÷10 мкм до 0,5÷1,5 мм та довжиною до 12 см.. Низьке зчеплення гладкої поверхні скловолокна з бетонним каменем може призвести до руйнування виробу при згинанні через висмикування ниток. Так, щоб уникнути руйнування, волокна не просто з'єднують у пучки (ровінги), а сплітають, тим самим надаючи складну форму поверхні фібри.

Міцність виробів армованим скловолокном залежить від умов експлуатації. Бо скляні волокна дуже тонкі, вони мають тенденцію до стирання. Стирання відбувається при взаємодії з кристалами гідроксиду кальцію, які творюються в цементному камені у вологому середовищі. Якщо ж вироби експлуатуються у сухих умовах, зниження міцності значно сповільнюється.

Скловолокна, призначені для зовнішнього армування, поділяються на три типи: Е-скловолокна, А-скловолокна та AR-скловолокна, що мають

високу характерестичний опір до лужних впливів. Е-скловолокна містять багато борної кислоти та алюмінata і погано упирається до лужної агресії. А-стекловолокно найміцніше, але майже не опирається до лужного впливу. В AR-скловолокнах під час запобігання негативному впливу, а самє лужної агресії, під час контакту з залізобетонном, який посилюється, додається велика кількість цирконію.



Рисунок 1.3 - Скловолоконна фібра

Міцні та деформаційні властивості цього скловолокна можна порівняти з Е-стекловолокном. Перевагою всіх скловолокон є їхня невелика вартість. У середньому витрата склофібри на один кубометр бетону складає від 0,3 до 1,2 кг.

Склофібра знайшла застосування у виробництві пористих бетонів, заливних стяжок, штукатурки.

Поліпропіленова фібра

Поліпропіленова фібра може бути у вигляді волокон або у формі тонких смуг.

Поліпропіленовафібра має безліч переваг перед аналогічними їй добавками. Температура займання волокна може досягати 560 ° С, температура розм'якшення - 160-170 ° С, а пластичність фібри дозволяє досягати 20% подовження до моменту розриву. Крім того, вона є лугостійкою, кислотостійкою, має стійкістю до солей і не корозує.

Цей вид фібри дозволяє бетону випробовувати пластичні деформації бетону при усадці після укладання, не руйнуючись. При твердінні бетону забезпечується рівномірна дегідратація, що знижує напругу в бетонному камені.

Поліпропіленове волокно так само, як і скляне, ущільнює поверхню бетону, не даючи волозі та кислотам проникати всередину бетону та викликати руйнування. З цього випливає, що введення поліпропіленового волокна в бетон навіть не як армуючий елемент, а як добавку до
сталевий арматурі може вплинути на якість бетону, зменшивши його проникність, що знизить згубну дію парів, кислот та води на сталеві стрижні.

Такі якості бетону як ударостійкість та опір сколюванню покращуються так само, як і морозостійкість, зручноукладальність,
довговічність та опір стирання.

Поліпропіленова фібра показана на малюнку 4, виробляється методом екструзії та витяжки з поліпропілену через нагрівання матеріалу.
Верхній шар, що спеціально наноситься, допомагає фібрі краще розсіюватися і підвищує зчеплення з бетоном.

Поліпропіленова фібра незамінна у мікроармуванні. Вона

перешкоджає появі мікротріщин та переходу їх у стадію тріщин, що підвищує міцність конструкції. А також поліпропілен є стійким до впливу агресивних середовищ.



Рисунок 1.4 - Поліпропіленова фібра

Витрата поліпропіленового волокна на 1 м3 розчину:

- при високих навантаженнях – від 1,8 до 2,7 кг;
- при середніх навантаженнях – від 1 кг;
- при слабких навантаженнях – 0,6 кг.

Застосовується поліпропіленова фібра у будівництві доріг, тунелів, виробництві підлог та аеродромних смуг, у складі будівельних сумішей.

Область застосування поліпропіленової фібри

- Промислове будівництво, промислові підлоги
- Приватне будівництво - фундаменти, штукатурки, розчини, стяжки
- Дорожнє будівництво - мости, шляхопроводи, дорожнє покриття
- Гідротехнічне будівництво - набережні, хвилерізи, морські захисні споруди

- Підземне будівництво - тунелі, метро
- Пінобетон і інші ніздрюваті бетони
- Шахто-будування
- Торкретбетон
- Виробництво паль
- Штампований бетон
- Парапети та тротуарна плитка
- Бетонні плити перекриттів, труби, блоки та ін.

Арамідна фібра

Арамідне волокно - це тип композитного матеріалу. Основний ланцюжок полімерної макромолекули арамідного волокна складається з ароматичного кільця і амідного зв'язку. Не менше 85% амідної групи безпосередньо пов'язані з ароматичним кільцем. Амідна група кожної повторюваної одиниці - це полімер, в якому атом азоту безпосередньо пов'язаний з атомом вуглецю в ароматичному кільці і замінює один з атомів водню, який називається ароматичною поліамідної смолою. Волокна, що обертаються з ароматичних поліамідних смол, називаються арамідними волокнами, також відомими як арамідні волокна.

Арамідні волокна анізотропні у своїй структурі та якщо порівнювати з іншими будуть мають більше міцності і більший модуль пружності на поперечному напрямку, а також значно зменшити власну вагу конструкцій, особливо порівняно із залізобетоном.. У діаметрі арамідне волокно становить приблизно 12 мкм. Воно найбільше пластичне під час дій навантажень, що мають розтягувальну дію, але під час стискання залишаються пружними поки не досягнуть межі руйнувння. Арамідні волокна мають

корозійну стійкість, внаслідок чого конструкції виходять досить тонкими. Іншими перевагами даного виду армування є низька електропровідність, зручність у користуванні та формуванні елементів складних форм.

Арамідне волокно або кевлар може бути у вигляді нитки з якої робиться тканина арамідна. В основному використовують як композиційний матеріалах, вироблений з використанням різних смол. Тканину арамідну відносять до трудногорючих, самі волокна жовтого кольору.



Рисунок 1.5 - Арамідна фібра

Використання арамідного волокна:

- Виробництво засобів захисту(куленепробивні жилети пожежні костюми і рукавички).
- Автомобільна промисловість(при тюнінгу автомобілів).
- Поповнюють елементи інтер’єру.
- Суднобудування.

- Авіабудування та ракетобудування.

Вуглецева фібра

Вуглецеве волокно містить 92-99,9% вуглецю. УВ відрізняється змінюваною пористістю, корозійною, радіаційною та термічною стійкістю, високоактивною поверхнею, одночасним з'єднанням сорбційних та фільтраційних якостей, магнітною інертністю, високою електропровідністю, а також малою власною вагою.

Завдяки своїй трубчастій гексогональній формі волокна бетону зміцнюються тривимірно, підвищується міцність розтягування. Крім того, додавання вуглецевого волокна збільшує щільність бетону та знижує його водопоглинання. Модифікація поверхні вуглеволокна дозволяє збільшити адгезію волокна до матриці, що дозволяє підвищити характеристики міцності, а також значно підвищити тріщиностійкість. Недоліком використання вуглецевих нановолокон (УНВ) є їхня схильність до комкування, що призводить до погіршення властивостей бетону.

Для диспергування нановолокон були використані різні методи, такі як спільне використання ПАР та ультразвуку, модифікація поверхні нановолокон або функціоналізація (включення молекулярних груп до поверхні волокна, щоб поліпшити адгезію до матриці).

Вуглецеві волокна виробляются на основі вихідної смоли або поліакрилнітрилу (PAN). До першого типу волокон відносяться волокна які виготовляється з очищеної нафти або вугілля, що проходить під великими тисками через тонке сопло і згодом тре діє під час термопроцесів.

Поліакрилнітрилові волокна виготовляються з поліакрилонітрилу через його карбонізацію під час впливу високої температури. Діаметри волокона при цьому зменшуються до 5 - 8 мкм.

Структура волокон визначається ступенем їх карбонізації та орієнтацією кристалів. Зображення вуглецевої фібри показано малюнку 6.

Використання вуглеволокна як арматури ускладнене високою ціною матеріал. З метою створення економічної конструкції з вуглецевого бетону вивчалася можливість заміни волокна на його відходи. Для цього використовувалися препереги - композиційні матеріали-напівфабрикати, що

являють собою відходи виробництва, які отримують шляхом просочення армуючої волокнистої основи (вуглеполотна) рівномірно розподіленими полімерними сполучними. В ролі арматури пропонується використовувати обрізки вуглеволокна, що виходять при формуванні розміру вуглеволоконних ровінгів або ниток перед полімерним просоченням. Вуглецеве волокно може відрізнятися за складом та структурою залежно від складу та структури вихідного матеріалу, а також умов обробки та складу добавок. Наприклад, при високотемпературній обробці кількість вуглецю збільшується з 80% до 99,5%.

Встановлено, що самим ефективним є додавання від 0,5 до 1,5 мас. % відходів вуглеволокна. При цьому спостерігається збільшення міцності на стиск до 25%, міцності на вигин – до 20%. Варто зазначити, що для ефективної роботи відходів УВ можливе лише при рівномірному розподілі за обсягом бетону.

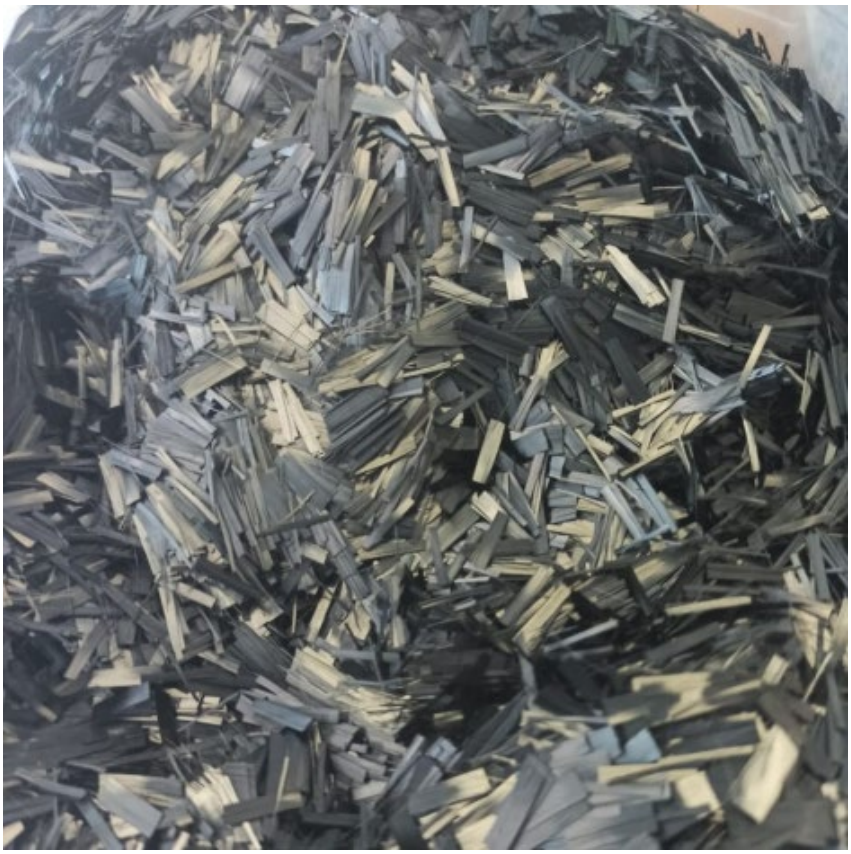


Рисунок 1.5 - Вуглецева фібра

Окрім того, вуглецеве волокно може використовуватися як спеціальна добавка до армуючого матеріалу, наприклад, як проти корозії арматури.

Витрата вуглецевої фібри становить 0,6-1,1 кг/м3.

Область застосування вуглецевої фібри:

- Інженерні та гідротехнічні споруди,
- Тонкостінні елементи та конструкції,
- Торкретбетон, пористі бетони,
- Високоміцні бетони,
- Наливні підлоги.

Сталева фібра

Сталефібробетон (СФБ) – один з найбільш популярних на сьогоднішній день напрямків у дисперсне армування. Основна перевага сталевої фібри – це легкість виробництва, т.к. цей матеріал знайомий

виробникам і простий у користуванні. СФБ має збільшений термін служби та більше тривалі проміжки між ремонтними роботами.

Сталева фібра може існувати у вигляді дроту або може бути нарізана зі сталевого листа. Бетон, армований таким видом волокна має схожі із залізобетоном характеристики, до того ж дозволяє зменшувати товщину конструкцій до 50%, маючи при цьому підвищену, ударну в'язкість і зносостійкість.

Безперечною перевагою СФБ буде і простота поводження з ним, т.к. процес роботи з фібробетон менш трудомісткий. Як у будь-якого матеріалу, сталева фібра має недоліки. До них відноситься корозія та знижене зчеплення з матеріалом.

Проблему зчеплення фібри з цементною матрицею у разі можна вирішити з допомогою анкеровки. Існує безліч способів анкерування фібри. Одним з них є виготовлення фібри з виступами та западинами на поверхні, або виготовлення анкерів у формі вусів, прикріплених до фібри. Але головний плюс сталевий фібри – це простота виготовлення, який перекреслюють ці методи анкерування, т.к. стрижні за її використанні мають складну форму.



Рисунок 1.5 - Сталева фібра

Крім того, волокна з анкерами мають властивість зачіплятися один за одного, що перешкоджає рівномірному розподілу сталевої фібри по всьому об'єму бетону, отже, і однорідності бетону. Підвищити зчеплення так само можна шляхом створення шорсткої поверхні фібри при обробці її антикорозійним покриттям з дрібнодисперсними добавками, наприклад, тонкодисперсною глиною.

Небезпечним чинником сталевої фібри є корозія. В силу маленького діаметра волокон, фібра, що піддається корозії, швидко руйнується. Цю проблему вирішують шляхом застосування високої температури під час виготовлення, а саме різання фібри з листової сталі. На поверхні створюється шар з окису, який перешкоджає корродуванню сталі. Інший спосіб полягає в обробці волокон

спеціальним розчином Zn3(PO4)2 (фосфат цинку), але цей шар може зруйнуватись при деформаціях бетонних виробів.

Застосування такої фібри приводить до:

- додавання до міцності стиску до ~25%;
- додавання до міцності розтягу при вигинах до ~250%;
- додавання до міцності при осьових розтягуваннях до ~60-80%;
- додавання до опіру до ударів до ~10-12 разів;
- додавання у параметрі модулів пружності до ~20%;
- додавання до термінів служби конструкції;
- додавання властивостей, стійкості до утворення тріщин, водонепроникності, , перепадів температури, морозостійкості.

Використання сталевої фібри на 1 м3 розчину:

- при невеликих навантаженнях ~15-20 кг/м3;
- до середніх навантажень ~30-45 кг/м3;
- у великих навантаженнях ~45-75 кг/м3;
- та в особливих випадках ~75-150 кг/м3.

Сталеву фібру застосовують для:

- виробництва залізничних шпал, основ будівель,
покриттів мостів, хвилерізів;
- транспортних тунелів та підлог, здатних витримувати
значні зусилля;
- тротуарного, дорожнього покриття, основ аеродромів;
- декоративної плитки, бордюрів;
- монолітних конструкцій, каркасів будівель;
- підземних водовідвідних магістралей, спеціальних
комунікаційних колодязів, гідротехнічних споруд, водоочисних
конструкцій

Фізико-механічні характеристики

Фізико-механічні перерахованих видів фібри наведені на рисунках 1.6-1.9.

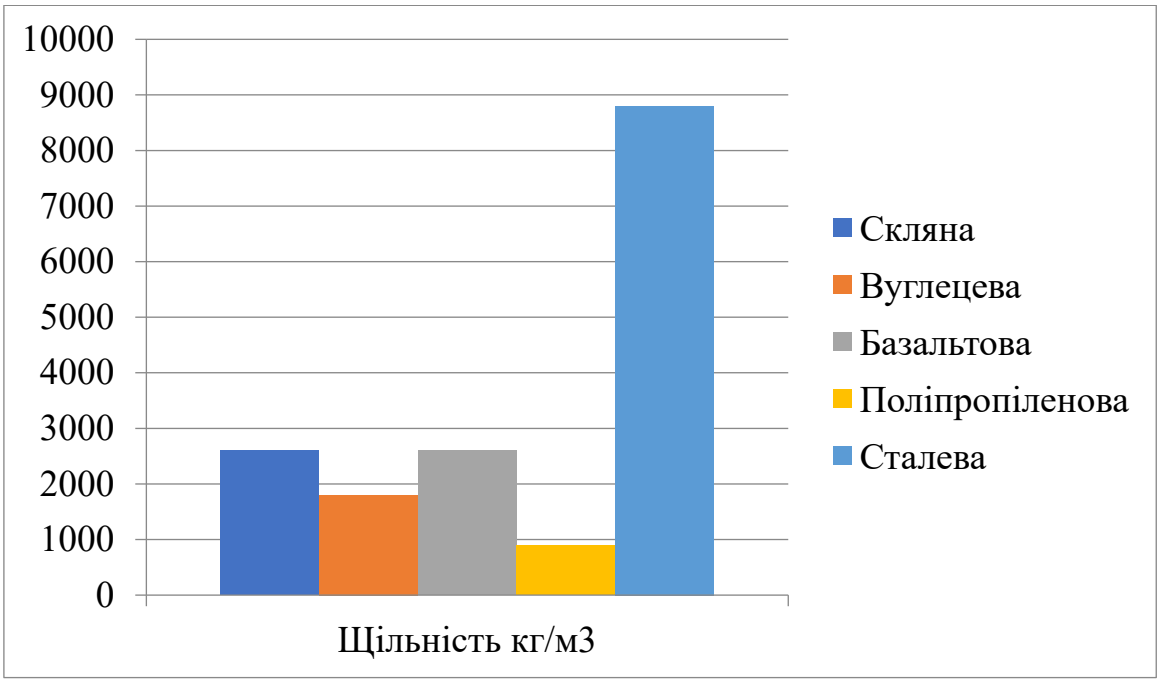


Рисунок 1.6 – Щільність волокон фібр.

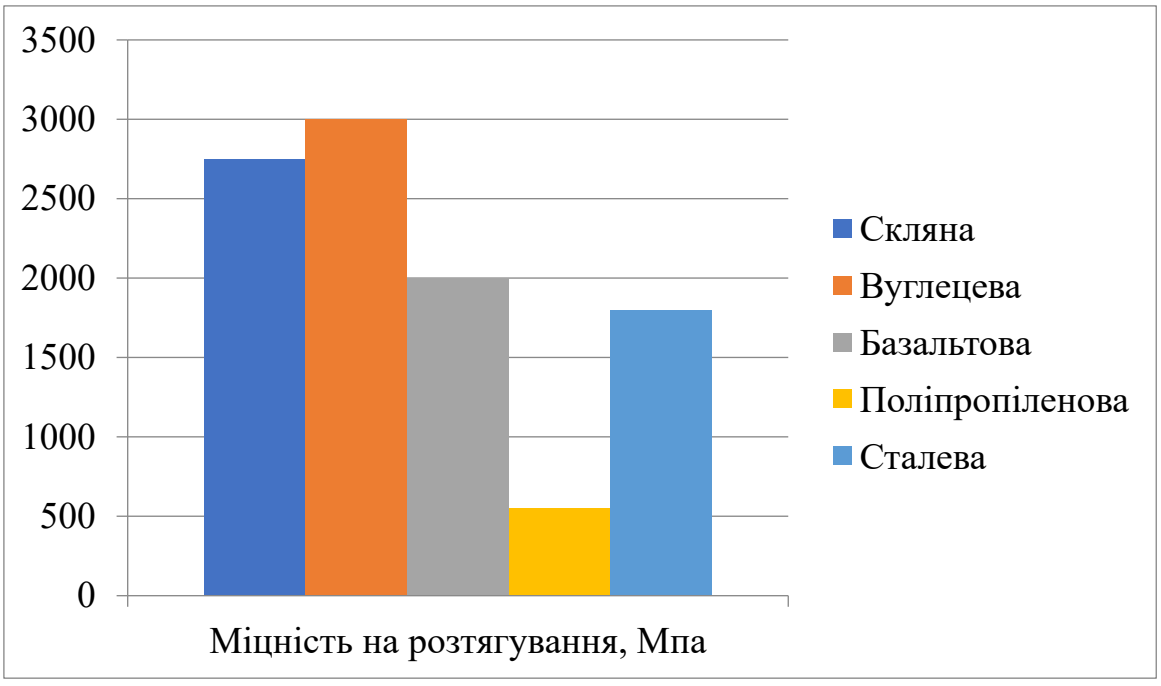


Рисунок 1.7 – Міцність на розтягування волокон.

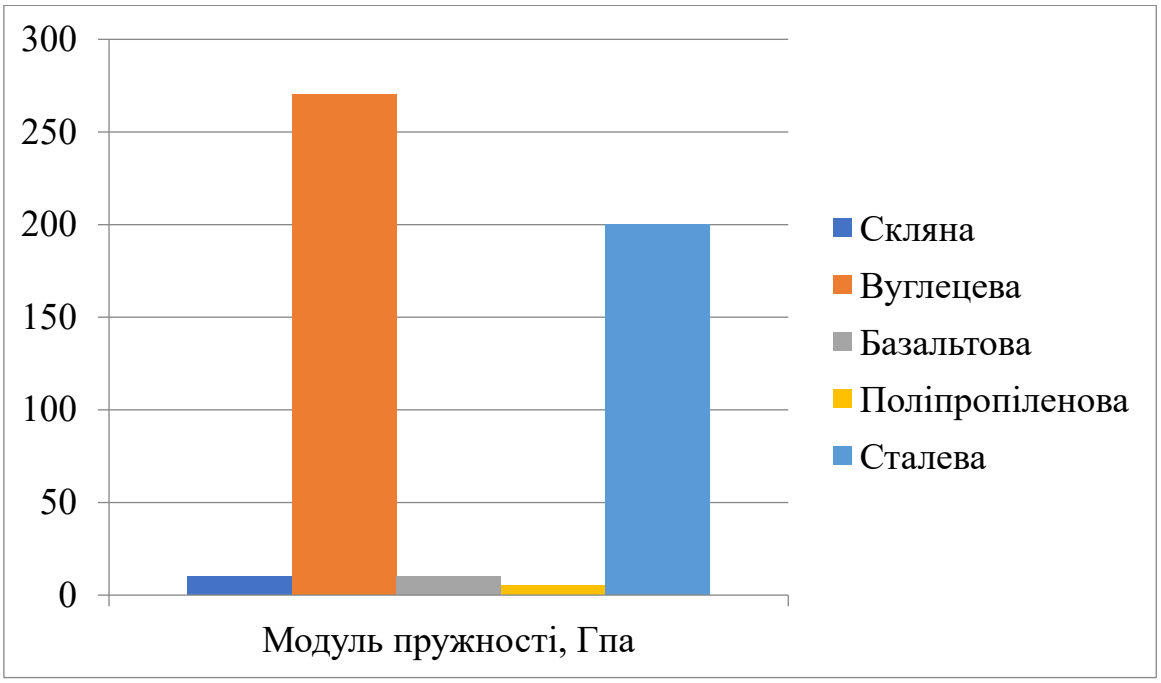


Рисунок 1.8 – Модуль пружності волокон.

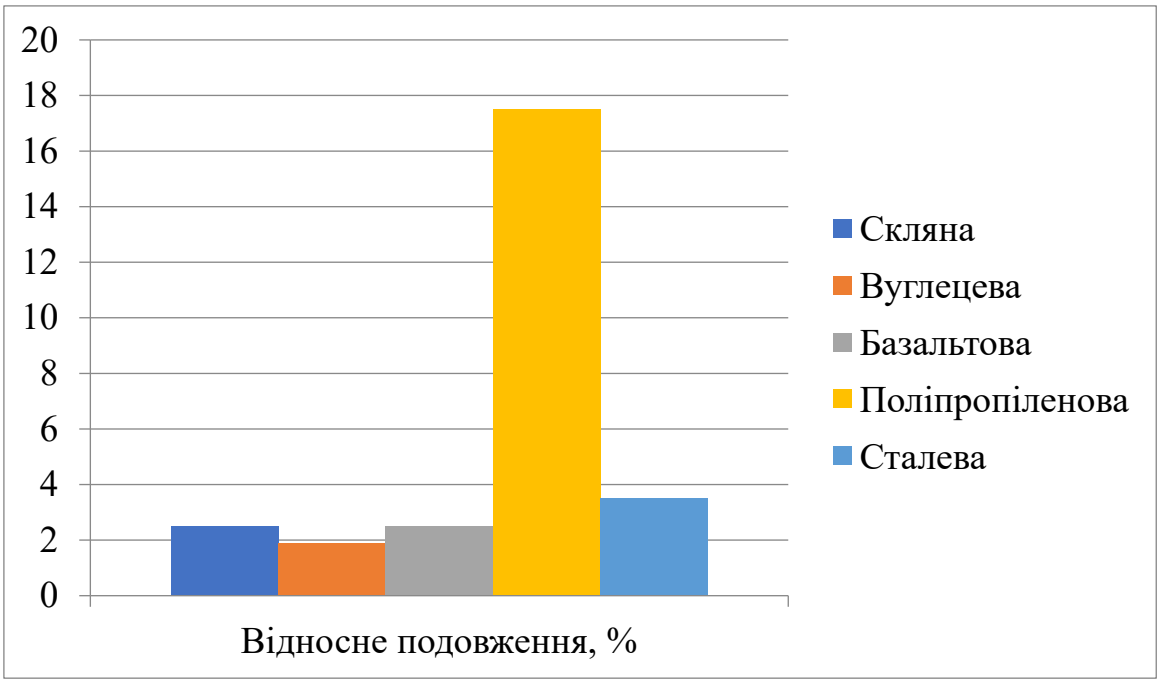


Рисунок 1.9 – Відносне подовження волокон.

2. РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ФІБРОБЕТОНИХ КОНСТРУКЦІЙ

В рамках наукової роботи проводиться дослідження фібробетону, у вигляді порівняння показників декількох видів фібри між собою та зі сталевою арматурою, і полягає у формуванні таблиці даних отриманних за допомою розрахунків та використання програм для розрахунків.

2.1 Загальні положення про розрахунок фібробетонів

Розрахунок конструкцій з дисперсноармованого бетону виконуються за граничними станами, як правило, з урахуванням класу відповідальності будівель і споруд та категорій відповідальності конструктивних елементів згідно з ДБН В.1.2-14 та ДСТУ Б В.2.6-156, мінливості властивостей матеріалів, навантажень та впливів, геометричних характеристик, строку експлуатації і умов роботи конструкцій.

Розрахунок комбіновано армованих конструкцій слід виконувати за граничними станами першої та другої груп згідно з розділами 6 та 7 ДБН В.2.6-98.

Перша група містить у собі граничні стани, настання яких призводить до повної непридатності конструкцій для експлуатації внаслідок:

- втрата несучої здібності через зв'язок з крихкими та в'язкими руйнуваннями або руйнуваннями від втоми та інш., додаючи руйнування під час сумісних дій зовнішнього навантаження та несприятливих впливах навколишнього середовища (періодичному або постійні впливи агресивних середовищ, заморожування та відтавання, дії пожежі тощо);
- втрати стійкості форм або положень.

Другий пункт має у собі граничний стан, настання якого ускладнює нормальну експлуатацію конструкції або призводить до зменшення терміну служби за результатами:

- утворення або надмірне розкриття тріщин, якщо за умовами

експлуатації утворення або надмірне розкриття тріщин неприпустиме;

- надмірних переміщень (прогинів, кутів повороту, коливань).

Розрахунок за допомогою конструкцій з дисперсноармованого бетону забезпечує ступінь надійності від досягнення граничних станів на стадіях виготовлення, транспортування, зведення і експлуатації.

Надійність конструкцій з дисперсноармованого бетону при проектуванні забезпечується роз- рахунками шляхом застосування розрахункових значень навантажень і впливів, розрахункових значень характеристик матеріалів, що визначають за допомогою часткових коефіцієнтів надійності до відповідних характеристичних значень з урахуванням класу відповідальності будівель і споруд.

Характеристичні значення навантажень | впливів, коефіцієнтів сполучень, коефіцієнтів надій-ності за навантаженнями приймають згідно з ДБН В.1.2-2, а коефіцієнти відповідальності - відповідно до ДБН В.1.2-14.

Розрахунок виконується на основі розрахункових ситуацій, які характеризуються розрахунковою схемою (моделлю) конструкції та відповідними до ситуації сполученнями навантажень впливів, включаючи вплив навколишнього середовища.

Розрахункова модель та основні передумови розрахунку конструкцій повинні відображати дійсні умови їх роботи (положення у складі системи будівель і споруд, фізичної та геометричної нелінійностей, характер тріщиноутворення тощо), які відповідають граничному стану, що розгля-дається.

Розрахункові значення навантажень та впливів слід приймати згідно з відповідними нормативними документами, виходячи з розгляду граничного стану.

Матеріали для конструкцій з дисперсноармованого бетону

Для фібробетонних конструкцій застосовується важкий або

дрібнозернистий бетон класів від С 20/25 до С 50/60 із середньою густиною не менше ніж 2000 кг/м^3 відповідно до ДСТУ Б В.2.7-176 та ДСТУ Б В.2.7-43.

Основними показниками якості бетону, який слугує матрицею фібробетону, є

- клас бетону за міцністю на стиск;
- марка бетону за морозостійкістю;
- марка бетону за водонепроникністю.

Для сталефібробетонних конструкцій використовуються бетони таких класів і марок: - клас бетону за міцністю на стиск:
С16/20: С20/25; С25/30; С30/35; С32/40; С35/45; С40/50; С45/55; С50/60;

- марки бетону за морозостійкістю та водонепроникністю встановлюють в залежності від умов роботи конструкції згідно з таблицею 4.1(а) ДБН В.2.6-98.

Для базальтофібробетонних конструкцій використовується дрібнозернистий бетон таких класів і марок:

- клас бетону за міцністю на стиск: С16/20; С20/25; С25/30; С30/35; С32/40;
- характеристичне значення міцності фібробетону на розтяг може прийматись: 1,6 мпа; 2,0 МПа; 2,4 МПа; 2,8 МПа; 3,2 МПа та 3,6 МПа;
- марки бетону за морозостійкістю та водонепроникністю встановлюють в залежності від умов роботи конструкції згідно з таблицею 4.1(а) ДБН В.2.6-98.

Виходячи з можливих реальних термінів навантаження конструкцій проектними навантаженнями, способу зведення і умов твердіння, може встановлюватись міцність бетону, інша ніж у віці 28 діб.

Значення відпускної міцності сталефібробетону в елементах збірних конструкцій призначають згідно з ДСТУ Б В.2.6-2 або нормативними документами на конструкції конкретних видів.

Для замонолічування стиків елементів збірних сталефібробетонних конструкцій приймається бетон класу і марок не менше ніж клас і марки бетону елементів, що об'єднуються.

Характеристичні значення міцнісних Та деформативних характеристик важкого бетону наведені в таблиці 3.1 ДБН В.2.6-98, а дрібнозернистого - в таблиці 6.1 цього стандарту.ДСТУ-Н Б В.2.6-218:2016

Таблиця 2.1 - Характеристики міцності і деформативності дрібнозернистого бетону

	C16/20	C20/25	C15/30	C30/35	C32/40
$f_{ck,cube}$, МПа	20	25	30	35	40
$f_{cm,cube}$, МПа	25	32	38	45	51
$f_{ck,prism}$, МПа	15	18,5	22	25,5	29
f_{cd}, МПа	11,5	14,5	17	19,5	22
f_{ctm}, МПа	1,9	2,2	2,6	2,8	3,0
$f_{ctk,0.5}$, МПа	1,3	1,5	1,8	2,0	2,1
$f_{ctd,0.5}$, МПа	1,0	1,15	1,4	1,5	1,6
E_{cm}, МПа	22	24	26	27,5	28,5
E_{ck}, МПа	18,5	21	23	25	25,5
E_{cd}, МПа	17	18,5	20	21,5	22,8
$\varepsilon_{c1,ck}$,%	1,76	1,86	1,95	2,04	2,14
$\varepsilon_{c1,cd}$,%	1,67	1,73	1,82	1,89	1,95
$\varepsilon_{cu1,ck}$, %	2,24	2,31	2,38	2,47	2,56
$\varepsilon_{cu1,cd}$, %	2,17	2,22	2,27	2,33	2,38
$\varepsilon_{cf3,ck}$, %	0,81	0,88	0,95	1,02	1,14
$\varepsilon_{cf3,cd}$, %	0,67	0,78	0,85	0,91	0,96
$\varepsilon_{cfu3,ck}$, %	2,24	2,31	2,38	2,47	2,56
$\varepsilon_{cfu3,cd}$, %	2,06	2,11	2,16	2,21	2,56

Розрахунковий опір бетону матриці фібробетону для граничних станів першої f_{cd} і $f_{ctd,\ 0.5}$ та другої f_{ck} і $f_{ctk,\ 0.5}$ груп визначають діленням характеристичних значень опору на відповідні коефіцієнти надійності для бетону при стиску y_c або при розтягу y_{ct}.

Значення коефіцієнтів надійності для важкого бетону наведені в 2.4.1 ДБН В.2.6-98.

Значення коефіцієнтів надійності для дрібнозернистого бетону приймають:

- при стиску для граничних станів першої групи $y_c = 1,3$;
- при стиску для граничних станів другої групи $y_c = 1$;
- при розтягу для граничних станів першої групи $y_{ct} = 1,5$;
- при розтягу для граничних станів другої групи $y_{ct} = 1$.

Розрахункові значення міцнісних та деформативних характеристик важкого бетону наведені в таблиці 3.1 ДБН В.2.6-98, а дрібнозернистого - в таблиці 3.1.

Розрахунковий опір при розтягу сталефібробетону і базальтофібробетону для граничнихстанів першої f_{cftd} і f_{bftd} відповідно f_{cftk} та f_{bftk} другої і відповідно, груп визначають діленням характеристичних значень опору на відповідні коефіцієнти надійності для бетону матриці.

Міцність фібробетону на стиск і розтяг повинен вказуватись в проектній документаціїна виріб (конструкцію). Для забезпечення вимог проекту щодо значення характеристичної міцності фібробетону на розтяг відсоток фібрового армування повинен визначатись на основі пробних замісів фібробетону з використанням в'яжучого і заповнювачів, в тому числі фібри, які будуть використовуватись для виготовлення конструкцій.

2.2 Розрахунок елементнів фібробетонних конструкцій за несучою здатністю при дії згинальних моментів і повздовніх сил

Загальні положення

Несуча здатність фібробетонних елементів на дію згинальних моментів та поздовжніх сил визначається, виходячи з таких передумов:

- для розрахункового перерізу вважається справедливою гіпотеза про лінійний розподіл деформацій по його висоті;
- зв'язок між напруженнями та деформаціями стиснутого фібробетону приймають у вигляд діаграм, які наведені на рисунках 3.1 та 3.2 ДБН В.2.6-98;
- зв'язок між напруженнями та деформаціями розтягнутого фібробетону приймається у вигляді діаграми, яка наведена на рисунку 2.1.

За критерій вичерпання несучої здатності фібробетонного перерізу приймається руйнування розтягнутого фібробетону при досягненні фібровими деформаціями граничних значень $\varepsilon_{cftu} = -1.8 f_{cftd}/E_{cd}$

Розрахунок виконується за **нелінійним деформаційним методом**, суть якого полягає у тому, що ураховують приріст не зусиль (дій), а деформацій у перерізі.

Приймається таке правило знаків: для стиску як бетону, так і арматури знак додатній, для розтягу - від'ємний.

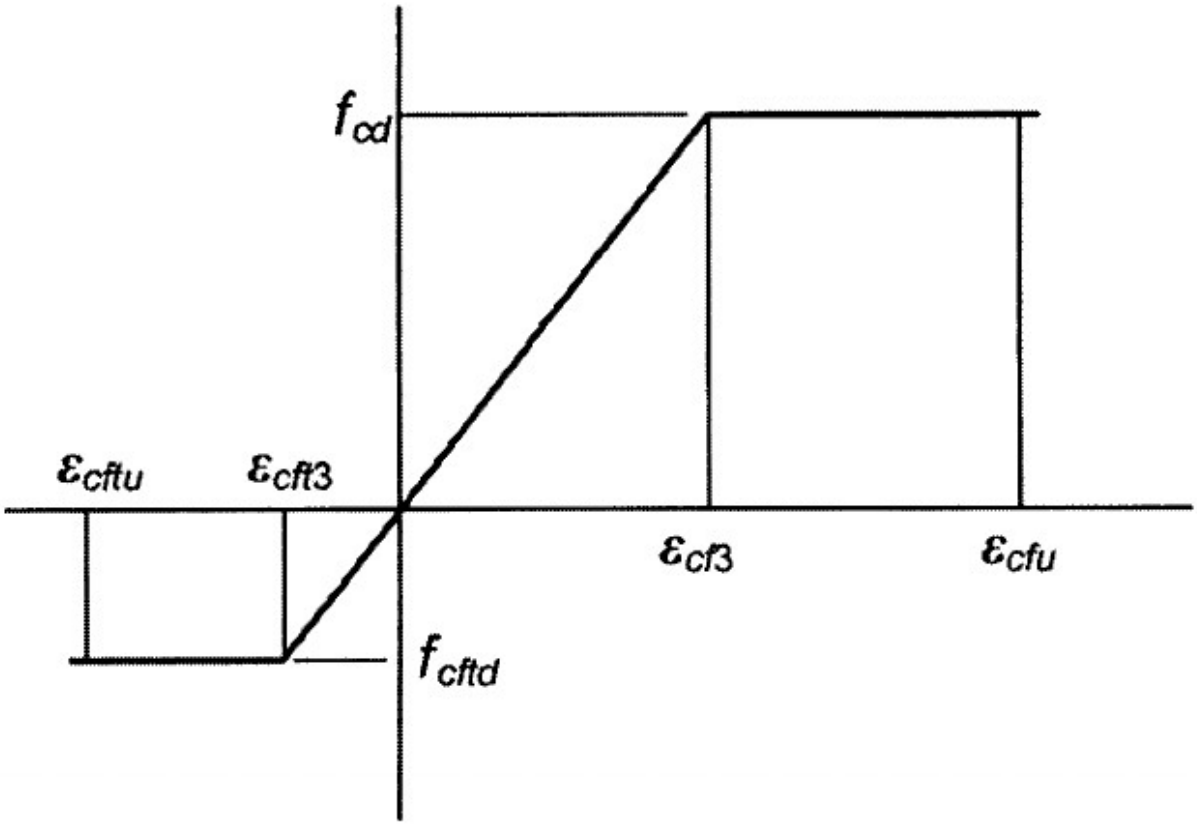


Рисунок 2.1 Діаграма «напруження-деформації» фібробетону

Визначаємо опір розтягу(f_{cfdt}) фібро бетону для граничних станів:

Згідно до ДСТУ-Н Б В.2.6-218-2016 «Настанова з проектування та виготовлення конструкцій з дисперсноармованого бетону» при визначенні опору ротягу(f_{cfdt}) розглядають 2 випадки:

1-й випадок

$l_{fb} < \frac{l_f}{2}$

2-й віпадок

$l_{fb} \geq \frac{l_f}{2}$

де l_f -довжина фібри, м;

l_{fb} – довжина анкетування фібри в бетоні, м;

$d_{f,red}$ – приведений діаметр фібри, мм, що визначають за формулою:

$d_{f,red} = 1{,}13\sqrt{A_F}$

де A_F – площа номінального перерізу фібри, м^2;

f_{fk} – характеричний опір фібри на розтяг, МПа;

n_f – коефіцієнт, що враховує анкетування фібри, в залежності від виду фібри:

- пряма -1
- з плющенними кінцями- 0,7
- з загнутими кінцями – 0,9
- хвилеподібна -0,85

Якщо має місце 1-ий випадок тому f_{cfdt} визначается:

$f_{cfdt} = 1.1\ (K_T k_{or}^2 u_{fv} f_{fk}(1 - \frac{l_{fb}}{l_f}) + * 0.1\text{fcd}\left(0.08 - \sqrt{2u_{fv} - 0.005}\right))$

Якщо має місце 2-ий випадок тому f_{cfdt} визначается:

$f_{cfdt} = 1.1 * f_{cd}(K_T \frac{k_{or}^2 * u_{fv} * l_f}{8 * n_f * d_{f,red}} + 0.08 - 0.5 * u_{fv})$

K_T- коефіцієнт зо визначають за формулою:

$$K_T = \sqrt{1 - (1{,}2 - 80 * u_{fv})^2}$$

u_{fv}- коефіцієнт фібрового армування за об’ємом;

k_{or}- коефіцієнт що враховує орієнтацію фібри в об’ємі елемента, приймають згідно таблиці 2.1;

Визначаємо коєфіціент розподілення фібри у перерізі елемента:

- у розтягнутій зоні:

$u_{fa} = u_{fv} * k_{or}^2$

- у стиснутій зоні

$\grave{u_{fa}} = u_{fv} * k_n^2$

де: u_{fa} і $\grave{u_{fa}}$ - коефіцієнт фібрового армування за площею;

u_{fv} – коефіцієнт фібрового армування за об’ємом;

k_{or} і k_n – коефіцієнти, що приймають відповідно таблиці 3.2 і 3.3.

Таблиця 2.2 – Значення коефіцієнта k_{or}

Значення k_{or} у залежності від розмірів перерізу розтягнутого елемента при:								
h/l_f	b/l_f							
	0.5	1	2	3	5	10	20	20+
0.2	0.98	0.93	0.78	0.732	0.695	0.665	0.651	0.637
0.4	0.97	0.92	0.77	0.724	0.686	0.58	0.642	0.628
0.6	-	0.91	0.76	0.718	0.681	0.653	0.638	0.624
0.8	-	0.9	0.75	0.707	0.671	0.643	0.628	0.615
1.0	-	-	0.73	0.687	0.652	0.624	0.61	0.597
1.5	-	-	0.69	0.649	0.615	0.589	0.577	0.564
2	-	-	0.67	0.63	0.597	0.573	0.559	0.548
3	-	-	-	0.612	0.580	0.556	0.543	0.532
5	-	-	-	-	0.556	0.543	0.53	0.519
10	-	-	-	-	-	0.533	0.52	0.510
20	-	-	-	-	-	-	0.516	0.505
20+	-	-	-	-	-	-	-	0.5

Таблиця 2.3 – Значення коефіцієнта k_n

Значення k_{or} у залежності від розмірів перерізу розтягнутого елемента при:								
h/l_f	b/l_f							
	0.5	1	2	3	5	10	20	20+
0.2	0.126	0.263	0.449	0.511	0.56	0.597	0.616	0.636
0.4	0.122	0.259	0.444	0.506	0.555	0.591	0.61	0.629
0.6	0.122	0.257	0.441	0.502	0.511	0.589	0.606	0.624
0.8	0.122	0.253	0.429	0.494	0.542	0.578	0.596	0.614
1.0	0.118	0.247	0.422	0.48	0.527	0.563	0.580	0.597
1.5	0.11	0.232	0.399	0.454	0.498	0.531	0.548	0.565
2	0.11	0.226	0.387	0.44	0.484	0.517	0.582	0.549
3	0.105	0.219	0.375	0.428	0.47	0.51	0.517	0.532
5	0.1	0.214	0.367	0.418	0.458	0.49	0.504	0.520
10	0.1	0.21	0.36	0.41	0.449	0.481	0.459	0.510
20	0.1	0.207	0.356	0.406	0.446	0.475	0.49	0.505
20+	0.1	0.205	0.353	0.401	0.442	0.47	0.485	0.5

Розрахунок за несучою здатністю перерізів елементів виконується виходячі з умови:

$$M \leq M_U$$

де: M – максимальний згинальний момент, кНм;

M_U – граничний момент, який сприймає переріз елемента, кНм.

$$N \leq N_U$$

де: N – максимальна поперечна сила, кНм;

N_U – гранична сила, яку сприймає переріз елемента, кНм.

Значення M_U та N_U для фібробетонних згинальних елементів прямокутного перерізу при використанні діаграми згідно з рис. 2.2 в залежності від форми рівноваги(див. Рис. 2,3) визначаються з рішення системи рівнянь:

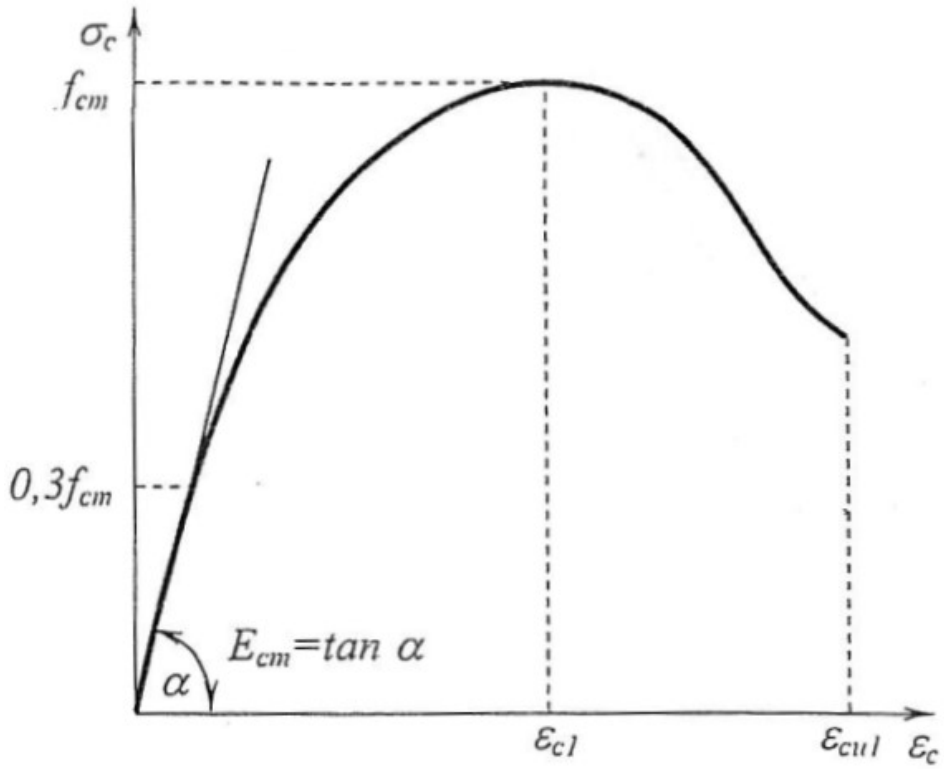
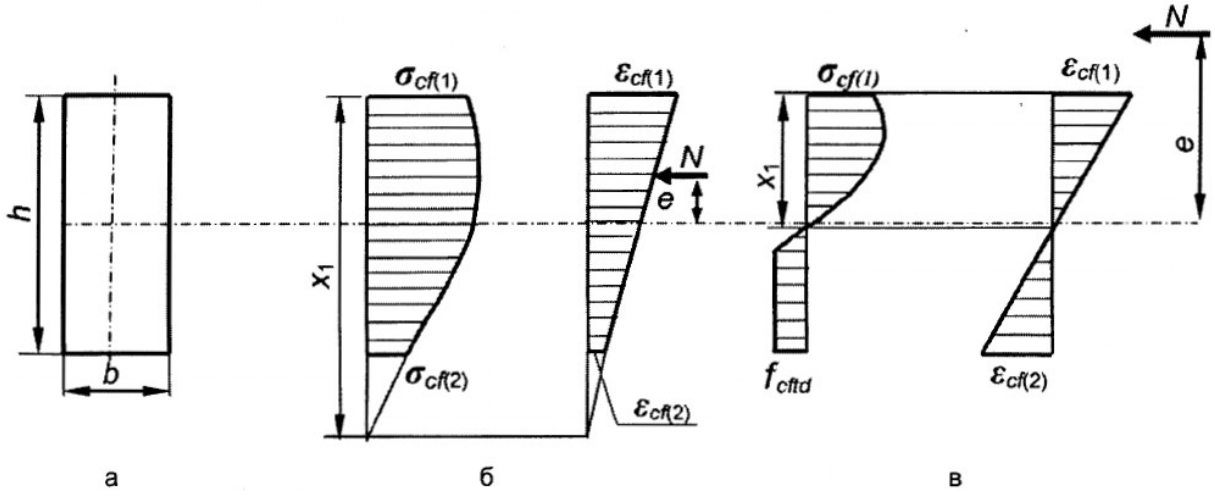


Рисунок 2.2 Діаграма напруження-деформації бетону



а – поперечний переріз елемента; б – епюра напружень та деформацій при першій формі рівноваги; в – епюра напружень та деформацій при другій формі рівноваги.

Рисунок 2.3 Напруженно-деформованний стан прямокутного перерізу фібробетонного елемента

- для першої форми рівноваги (при $x_1 \geq$ h);

Формула 2.1

$$\frac{bf_{cd}}{\overline{\varkappa}} \sum_{k+1}^{5} \frac{a_k}{k+1} \left(\frac{\varepsilon_{c(1)}^{k+1} - \varepsilon_{c(2)}^{k+1}}{\varepsilon_{c1}^{k+1}}\right) - N = 0$$

Формула 2.2

$$\frac{bf_{cd}}{\overline{\varkappa^2}} \sum_{k+1}^{5} \frac{a_k}{k+2} \left(\frac{\varepsilon_{c(1)}^{k+2} - \varepsilon_{c(2)}^{k+2}}{\varepsilon_{c1}^{k+2}}\right) - M = 0$$

- для другої форми рівноваги(при $x_1 <$ h), рівняння в розгорнутому вигляді записують:

Формула 2.3

$$\frac{bf_{cd}}{\overline{\varkappa}} \sum_{k+1}^{5} \frac{a_k}{k+1} * \gamma^{k+1} - bf_{cftd}\left(h - x_1 - \frac{x_1 * f_{cftd}}{2E_{cf} * \varepsilon_{cf(1)}}\right) - N = 0$$

Формула 2.4

$$\frac{bf_{cd}}{\overline{\aleph^2}}\sum_{k+1}^{5}\frac{a_k}{k+2}*\gamma^{k+2}-\frac{1}{2}bf_{cftd}(h-x_1)^2+\frac{1}{3}bx_1^2\frac{f_{cftd}^3}{E_{cf}^2\varepsilon_{cf(1)}^2})-M=0$$

$\gamma=\frac{\varepsilon_{c(1)}}{\varepsilon_{c1}}$;

$\varepsilon_{c(1)}$ – деформація стиснутої фібри бетону;

$\varepsilon_{c(2)}$ – осереднена деформація розтягнутого фібробетону;

$x_1=\varepsilon_{c(1)}/\aleph$; висота стиснутої зони, м;

$\aleph=\frac{\varepsilon_{c(1)}-\varepsilon_{c1}}{h}$ - коефіцієнт кривизни вигнутої осі;

$\overline{\aleph}=\aleph/\varepsilon_{c1}$; відносна кривизна.

ε_{c1}- розрахункове значення відносних деформацій стиску бетону при максимальних напруженнях див. Таб 2.1

N і M - зовнішня нормальна сила і згинальний момент;

a_k- коефіцієнти полінома див. Рисунок. 2.4 та 2.5;

У формулах (2.1-2.4)при згині N=0, а при позацентровому стиску

Формула 2.5

M = N (x1- y + e),

де y – відстань від найбільш стиснутої зони до центру перерізу;

e –ексцентриситет зовнішньої сили до центру ваги перерізу

e = η(x1 – y + e0)

Коефіцієнт	Клас бетону на стиск										
	C 8/10	C 12/15	C 16/20	C 20/25	C 25/30	C 30/35	C 32/40	C 35/45	C 40/50	C 45/55	C 50/60
a_1	3,6082	3,3358	3,0798	2,8785	2,7404	2,6219	2,51816	2,40816	2,32566	2,24964	2,1653
a_2	-5,1559	-4,4171	-3,7184	-3,1586	-2,7649	-2,4250	-2,14804	-1,9689	-2,1144	-2,2642	-2,2379
a_3	3,6537	2,9586	2,2946	1,7454	1,3416	0,98327	0,71003	0,6885	1,3717	2,04693	2,2202
a_4	-1,2723	-1,0093	-0,7533	-0,52904	-0,35004	-0,17908	$-4{,}839\cdot10^{-2}$	-0,10286	-0,70272	-1,300	-1,3876
a_5	0,1663	0,1319	$9{,}727\cdot10^{-2}$	$6{,}374\cdot10^{-2}$	$3{,}295\cdot10^{-2}$	$-1{,}067\cdot10^{-3}$	$-3{,}169\cdot10^{-2}$	$-2{,}488\cdot10^{-2}$	0,11981	0,2675	0,4008

Рисунок 2.4 Коефіцієнт a_k для розрахунків за першою групою граничних станів

Коефіцієнт	Клас бетону на стиск										
	C 8/10	C 12/15	C 16/20	C 20/25	C 25/30	C 30/35	C 32/40	C 35/45	C 40/50	C 45/55	C 50/60
a_1	3,437	3,118	2,849	2,667	2,518	2,391	2,2794	2,19264	2,087	2,0020	1,9229
a_2	-4,594	-3,768	-3,055	-2,5452	-2,0904	-1,668	-1,2836	-1,01098	-0,8146	-0,93554	-1,5164
a_3	2,986	2,2655	1,6197	1,1148	0,6077	$7{,}917\cdot10^{-2}$	-0,4386	-0,79725	-0,92174	-0,32917	1,4219
a_4	-0,9406	-0,7002	-0,4704	-0,2631	$-1{,}675\cdot10^{-2}$	0,2818	0,61063	0,85686	0,93942	0,4569	-0,9863
a_5	0,1108	$8{,}433\cdot10^{-2}$	$5{,}67\cdot10^{-2}$	$2{,}622\cdot10^{-2}$	$-1{,}867\cdot10^{-2}$	$-8{,}3923\cdot10^{-2}$	-0,1678	-0,24128	-0,29005	-0,19421	0,15788

Рисунок 2.5 Коефіцієнт a_k для розрахунків за другою групою граничних станів

Системи рівнянь(2.1-2.2) та (2.3-2.4), з двома невідомими розв'язуються через підбір вичерпання несучої здатності на кожному новому кроці розрахунку.

Для оцінки напружено-деформованого стану на розрахунковому перерізі використовуємо деформаційний метод

Розв'язання за алгоритмом:

1. На 1-му кроці величина деформації задається:

$\varepsilon_{c(1)} = \Delta\varepsilon^{(0)}_{c(1)}$ та $\Delta\varepsilon^{(0)}_{c(2)} = 0$, причому перший крок підрахунків

$\Delta\varepsilon^{(0)}_{c(1)}$ приймаємо 0,1εcu1 або 0,1εcu3.

2. Підраховують величини $\aleph = \frac{\varepsilon_{c(1)}-\varepsilon_{c(2)}}{h}$ та $\gamma = \frac{\varepsilon_{c(1)}}{\varepsilon_{c(2)}}$, $x_1 = \varepsilon_{c(1)}/\aleph$;

3. Визначаємо зусилля у перерізі за першою формою рівноваги (2.1).

4. Визначчємо зусилля N та інші, параметри підставляють у рівняння рівноваги (2.2). За результатами розв'язання (2.2) визначається один з двух випадків:

- зліва більше нуля. Отже це наявність форми рівноваги I

(див. Рис. 2.3),тобто весь переріз стиснутий;

- зліва менше ніж нуль. Отже це наявність форми рівноваги II (див. Рис. 2.3), (частина перерізу розтягнута);

5.Під час першої форми рівноваги виконують наступні кроки:

а) збільшують величину деформацій у найменш стиснутій грані:

$$\Delta\varepsilon_{c(2)}^{(1)} = \Delta\varepsilon_{c1}^{(0)} + \Delta\varepsilon_{c(2)}$$

Під час першого крока приймаємо:

$$\Delta\varepsilon_{c(2)} = 0.05\varepsilon_{cu1}$$

б) перевіряємо рівняння (2.2) , виконавши пункти 2, 4, і якщо ліва частина досі більша за нуль, збільшують деформацію $\varepsilon_{c(2)}$

$\Delta\varepsilon_{c(2)}$, приймають $\Delta\varepsilon_{c(2)}^{(2)} = \Delta\varepsilon_{c1}^{(1)} + \Delta\varepsilon_{c(2)}$

в) таке збільшення деформації у найменш стиснутій грані перерізу виконують, доки ліва частина у рівнянні(2.2) не стане зі знаком +.

6. Після зміни, рівняння (2.2) дивлятся на точність результату. Точність результату вважають оптимальною при значенні:

$$\Delta\varepsilon_{c(2)} = 0.02\varepsilon_{cu1}.$$

7. Якщо результат розв’язку недостатній, повертаються до минулого пункту і підставляють іншу величину деформації:

$$\Delta\varepsilon_{c(2)}^{(k+2)} = \Delta\varepsilon_{c(2)}^{(k)} + \Delta\varepsilon_{c(2)}^{(k+1)}$$

і підставляють іншу величину приросту деформацій:

$$\Delta\varepsilon_{c(2)}^{(k+1)} = 0.01\Delta\varepsilon_{c(2)}^{k}$$

Далі по-новій виконують пункти. а), б), в), поки не буде виконуватись точність умови (2.2) після кількох ітерацій:

При досягнення потрібної точності, отримуємо першу точку на діаграмі стану перерізів.

8. Для отримання наступних точок діаграми стану необхідно збільшити деформації на більш стиснутій грані, тобто

$$\Delta\varepsilon_{c(1)}^{(k)} = \Delta\varepsilon_{c(1)}^{(k-1)} + \Delta\varepsilon_{c(1)}$$

і виконуємо дії відповідно до 2-7, зберігаючи величину деформації на менш стиснутій грані, яку отримали під час попереднього кроку розрахунків

9. При реалізації другої форми рівноваги (рис. 2.3), тобто коли ліва частина менша за нуль, операції з визначення міцності перерізу виконують у тій же послідовності, що і в пп. 5-8, але починаючи з першого кроку змінюють напрям пошуку рішення.

10. Зберігаючи значення деформації $\Delta\varepsilon_{c(1)} = \Delta\varepsilon_{c(1)}^{(1)}$ задаємо нову деформацію на розтягнутій грані.

$$\Delta\varepsilon_{c(2)}^{(1)} = \Delta\varepsilon_{c(2)}^{(0)} + \Delta\varepsilon_{c(2)}$$

з величиною зменшення деформації

$$\Delta\varepsilon_{c(2)} = -0.01\varepsilon_{cu1}$$

11. При відомих деформаціях визначаємо зусилля, яке сприймає переріз, за (2.3).

12. Визначене зусилля N, кривизну $\aleph$ та висоту стиснутої зони x1 підставляємо у рівняння (2.4).

13.До рівняння (2.5) величини e = η(x1 – y + e0), де y – відстань від найстиснутої грані до центра перерізу; η – коефіцієнт, гнучкості стиснутого елементу.

Повертаємося до рішень 5-7, і повторюємо розрахунки (3.4), поки не буде достатня точність. Достатня точність рівняння (2.4) вважаємо значення зменшення деформації:

$$\Delta\varepsilon_{c(2)} = -0.02\varepsilon_{cu1}$$

Таким чином, отримаємо першу точку на діаграмі.

14. Для наступних точок для діаграми стану перерізу, більшуємо деформацію на найбільш стиснутій грані, тобто

$$\Delta\varepsilon_{c(1)}^{(k)} = \Delta\varepsilon_{c(1)}^{(k-1)} + \Delta\varepsilon_{c(1)},$$

і виконуємо дії у пунктах 9-12, зберігаючи на величину деформації розтягнутої грані, яку отримаємо під час попереднього кроку розрахунків

15. Величина N, яка є максимумом на діаграмі станів перерізів

“N - εc(1)” або величина під час досягнення деформаціями стиснутої грані своєї граничної деформацій εcu1 буде несучою здатностю фібробетоного перерізу у даних значеннях коефіцієнтах бетону, гнучкості та ексцентриситету прикладення навантаження.

Цей метод розв’язання через системи нелінійних рівняннь через підбор є методом послідовного наближення.

3. ПРАКТИЧНІ РОЗРАХУНКИ ЕЛЕМЕНТІВ З ФІБРОБЕТОНУ

3.1 Практичний розрахунок для сталевої фібри

Вихідні данні для розрахунку:

Ширина перерізу b = 6.0 м ; висота перерізу h = 0.22 м; клас бетону - С20/25; Сталева фібра; довжина 50мм, діаметр 1мм , міцність на розтяг 380МПа, Витрата фібри 3% ,

fcd = 14.5 МПа - міцність бетону С16/20 на стиск;

$\varepsilon_{cu1,cd} = 2.22,$ значення граничних деформацій розтягу бетону див. таб 2.1,

$\varepsilon_{c1,cd} = 1.73,$ значення граничних деформацій стиску бетону див. таб 2.1.

$\varepsilon_{cf} = 0.78,$ значення відносних деформацій стиску фібробетону див.таб 2.1.

Визначити несучу здатність перерізу.

1 -й крок

Визначаємо випадок для визначення опору ротягу(f_{cfdt})

$l_{fb} \geq \frac{0.05}{2} = 3.83 \geq 0.025$

Визначаємо довжину анкетування фібри в бетоні, м;

$l_{fb} = \frac{1*0.252*380}{25} = 3.83$

Визначаємо приведений діаметр фібри:

$d_{f,red} = 1.13*\sqrt{0.05} = 0.252$

Має місце 2-ий випадок тому f_{cfdt} визначается:

f_{cfdt} = 1.1*14.5$(1.562\frac{0.519^2*0.03*0.05}{8*1*0.252}+0.08-0.5*0.03)$=1.041

$K_T=\sqrt{1-(1{,}2-80*0{,}03)^2}$= 1,562

Визначаємо коефіцієнт фібрового армування за об'ємом;

$u_{fv}=3\%=0{,}03$

Визначаємо коефіцієнти що враховують орієнтацію фібри в об'ємі елемента, приймають згідно таблиці 2.1

k_{or}= 0.519

k_n = 0.52

Визначаємо коєфіцієнт розподілення фібри у перерізі елемента:

- для розтягнутої зони:

$u_{fa}=0.03*\ 0.519^2=0.008$

- для стиснутої зони

$\grave{u_{fa}}=0.03*0.520^2=0.0081$

2 -й крок

Задаємся величинами деформацій бетону на стиснутій грані;

$\varepsilon_{c(1)}=\ \Delta\varepsilon_{c(1)}^{(0)}$ та $\Delta\varepsilon_{(2)}^{(0)}=0$;

$\Delta\varepsilon_{c(1)}^{(0)}=0{,}1\varepsilon_{cu1,cd}=0.1*2.22=0.222$

Визначаємо висоту стиснутої зони та перевіряємо умови рівноваги;

$x_1=\frac{\varepsilon_{c(1)}}{\aleph}=\frac{0.222}{1.009}=0.22$

Визначаємо кривизну вигнутої осі в перерізі;

$\aleph=\ \frac{0.222-0}{0.22}=1.009$

Перевіряємо умову;

$x_1\geq$ h = 0.22 $\geq$ 0.22

Визначаємо відносну кривизну;

$$\overline{\aleph} = \frac{1.009}{1.73} = 0.583$$

Визначаємо відношення деформацій;

$$\gamma = \frac{0.222}{1.73} = 0.128$$

Визначаємо коефіцієнт полінома a_k= див. Рисунок. 2.4 та 2.5

a_1= 2.8785

a_2= -3.1586

a_3= 1.7454

a_4= -0.529

a_5= $6.374*10^2$

Визначаємо значення зовнішньої нормальної сили і згинального моменту;

N=0

M=14.1468(0.22-0.11+0.11)= 3.11

Визначаємо за умовою для першої форми рівноваги див. Рис 2.3

(див.Формулу 2.1 та 2.2)

$$\frac{bf_{cd}}{\overline{\aleph}} \sum_{k+1}^{5} \frac{a_k}{k+1} \left(\frac{\varepsilon_{c(1)}^{k+1} - \varepsilon_{c(2)}^{k+1}}{\varepsilon_{c1}^{k+1}}\right) - N = 0$$

$$\frac{6 * 14.5}{0.583} \sum_{1+1}^{5} \frac{2.8785}{1+1} \left(\frac{0.222^2 - 0}{1.73^2}\right) - 0 = 14.1468$$

$$\frac{bf_{cd}}{\overline{\aleph^2}} \sum_{k+1}^{5} \frac{a_k}{k+2} \left(\frac{\varepsilon_{c(1)}^{k+2} - \varepsilon_{c(2)}^{k+2}}{\varepsilon_{c1}^{k+2}}\right) - M = 0$$

$$\frac{6 * 14.5}{0.583^2} \sum_{1+1}^{5} \frac{2.8785}{1+2} \left(\frac{0.222^3 - 0^3}{1.73^3}\right) - 3.11 = -318.214 < 0$$

Ліва частина менша за нуль. Це свідчить про наявність форми рівноваги II (див.Формулу 2.3 та 2.4), тобто частина перерізу розтягнута.

3 -й крок

Визначаємо першу точку на діаграммі стану перерізу:

1.Змінюємо значення деформацій та підставляємо у Формули 2.3 та 2.4

$$\varepsilon_{c(1)} = \Delta\varepsilon_{c(1)}^{(1)} = 0.222$$

$$\Delta\varepsilon_{c(2)}^{(1)} = \varepsilon_{c(2)}^{(0)} + \Delta\varepsilon_{c(2)} = 0 + (-0.00222) = -0.00222$$

з величиною зменшення деформації

$$\Delta\varepsilon_{c(2)} = -0.01\Delta\varepsilon_{cu1} = -0.01 * 0.222 = -0.00222$$

Визначаємо першу точку на діаграммі. див. Формули 2.3 та 2.4

$$\frac{6 * 14.5}{0.589}\sum_{2}^{5}\frac{2.8785}{1+1} * 0.128^2 - 6 * 1.041(0.22 - 0.217 - \frac{0.217 * 1.041}{2 * 18.5 * 0.78}) - 0$$
$$= 31.74$$

$$\frac{6 * 14.5}{0.589^2}\sum_{2}^{5}\frac{2.8785}{1+2} * 0.128^3 - \frac{1}{2}6 * 1.041(0.22 - 0.217)^2$$
$$+ \frac{1}{3}6 * 0.217^2\frac{1.041^3}{18.5^2 * 0.78^2} - 6.88 = -6898.89$$

$$x_1 = \frac{\varepsilon_{c(1)}}{\aleph} = \frac{0.222}{1.019} = 0.217$$

$$\aleph = \frac{\varepsilon_{c(1)} - \varepsilon_{c(2)}}{h} = \frac{0.222 - (-0.00222)}{0.22} = 1.019$$

$$\overline{\aleph} = \frac{\aleph}{\varepsilon_{c1}} = \frac{1.019}{1.73} = 0.589$$

$$\gamma = \varepsilon_{c(1)}/\varepsilon_{c1} = \frac{0.222}{1.73} = 0.128$$

e = 1(0.217-0.11+0)=0.107

N=0

M=31.74 (0.22-0.11+0.107)= 6.88

2. Змінюємо значення деформацій

$$\Delta\varepsilon_{c(2)}^{(2)} = \varepsilon_{c(2)}^{(1)} + \Delta\varepsilon_{c(2)} = (-0.00222) + (-0.00444) = -0.00666$$

$$\Delta\varepsilon_{c(2)} = -0.02\Delta\varepsilon_{cu1} = -0.02 * 0.222 = -0.00444$$

Визначаємо рівняння:

$$\frac{6*14.5}{0.6^2}\sum_2^5\frac{2.8785}{1+2}*0.128^3-\frac{1}{2}6*1.041(0.22-0.213)^2$$

$$+\frac{1}{3}6*0.213^2\frac{1.041^3}{18.5^2*0.78^2}-6.88=-6139.22$$

$$x_1=\frac{\varepsilon_{c(1)}}{\aleph}=\frac{0.222}{1{,}039}=0.213$$

$$\aleph=\frac{\varepsilon_{c(1)}-\varepsilon_{c(2)}}{h}=\frac{0.222-(-0.00666)}{0.22}=1.039$$

$$\overline{\aleph}=\frac{\aleph}{\varepsilon_{c1}}=\frac{1.039}{1.73}=0.6$$

$$\gamma=\varepsilon_{c(1)}/\varepsilon_{c1}=\frac{0.222}{1.73}=0.128$$

e = 1(0.217-0.11+0)=0.107

N=0

M=31.74 (0.22-0.11+0.107)= 6.88

3. Змінюємо значення деформацій

$$\Delta\varepsilon_{c(2)}^{(3)}=\varepsilon_{c(2)}^{(2)}+\Delta\varepsilon_{c(2)}=(-0.00666)+(-0.00666)=-0.0133$$

$$\Delta\varepsilon_{c(2)}=-0.02\Delta\varepsilon_{cu1}=-0.03*0.222=-0.00666$$

Визначаємо рівняння:

$$\frac{6*14.5}{0.617^2}\sum_2^5\frac{2.8785}{1+2}*0.128^3-\frac{1}{2}6*1.041(0.22-0.207)^2$$

$$+\frac{1}{3}6*0.207^2\frac{1.041^3}{18.5^2*0.78^2}-6.57=-5035.54$$

$$x_1=\frac{\varepsilon_{c(1)}}{\aleph}=\frac{0.222}{1{,}069}=0.207$$

$$\aleph=\frac{\varepsilon_{c(1)}-\varepsilon_{c(2)}}{h}=\frac{0.222-(-0.0133)}{0.22}=1.069$$

$$\overline{\aleph}=\frac{\aleph}{\varepsilon_{c1}}=\frac{1.069}{1.73}=0.617$$

$$\gamma=\varepsilon_{c(1)}/\varepsilon_{c1}=\frac{0.222}{1.73}=0.128$$

e = 1(0.207-0.11+0)=0.097

N=0

M=31.74 (0.22-0.11+0.097)= 6.57

4. Змінюємо значення деформацій

$$\Delta\varepsilon_{c(2)}^{(4)} = \varepsilon_{c(2)}^{(3)} + \Delta\varepsilon_{c(2)} = (-0.0133) + (-0.00888) = -0.0222$$

$$\Delta\varepsilon_{c(2)} = -0.02\Delta\varepsilon_{cu1} = -0.04 * 0.222 = -0.00888$$

Визначаємо рівняння:

$$\frac{6 * 14.5}{0.64^2}\sum_{2}^{5}\frac{2.8785}{1+2} * 0.128^3 - \frac{1}{2}6 * 1.041(0.22 - 0.2)^2$$

$$+\frac{1}{3}6 * 0.2^2\frac{1.041^3}{18.5^2 * 0.78^2} - 6.35 = -4138.8$$

$$x_1 = \frac{\varepsilon_{c(1)}}{\aleph} = \frac{0.222}{1{,}11} = 0.2$$

$$\aleph = \frac{\varepsilon_{c(1)} - \varepsilon_{c(2)}}{h} = \frac{0.222 - (-0.0222)}{0.22} = 1.11$$

$$\overline{\aleph} = \frac{\aleph}{\varepsilon_{c1}} = \frac{1.11}{1.73} = 0.64$$

$$\gamma = \varepsilon_{c(1)}/\varepsilon_{c1} = \frac{0.222}{1.73} = 0.128$$

e = 1(0.2-0.11+0)=0.09

N=0

M=31.74 (0.22-0.11+0.097)= 6.35

5. Змінюємо значення деформацій

$$\Delta\varepsilon_{c(2)}^{(5)} = \varepsilon_{c(2)}^{(4)} + \Delta\varepsilon_{c(2)} = (-0.0222) + (-0.0111) = -0.0333$$

$$\Delta\varepsilon_{c(2)} = -0.02\Delta\varepsilon_{cu1} = -0.05 * 0.222 = -0.0111$$

Визначаємо рівняння:

$$\frac{6*14.5}{0.67^2}\sum_2^5\frac{2.8785}{1+2}*0.128^3-\frac{1}{2}6*1.041(0.22-0.19)^2$$
$$+\frac{1}{3}6*0.19^2\frac{1.041^3}{18.5^2*0.78^2}-6.03=-2828.18$$

$$x_1=\frac{\varepsilon_{c(1)}}{\aleph}=\frac{0.222}{1{,}11}=0.19$$

$$\aleph=\frac{\varepsilon_{c(1)}-\varepsilon_{c(2)}}{h}=\frac{0.222-(-0.0333)}{0.22}=1.16$$

$$\overline{\aleph}=\frac{\aleph}{\varepsilon_{c1}}=\frac{1.16}{1.73}=0.67$$

$$\gamma=\varepsilon_{c(1)}/\varepsilon_{c1}=\frac{0.222}{1.73}=0.128$$

e = 1(0.19-0.11+0)=0.08

N=0

M=31.74 (0.22-0.11+0.08)= 6.03

6. Змінюємо значення деформацій

$$\Delta\varepsilon_{c(2)}^{(6)}=\varepsilon_{c(2)}^{(5)}+\Delta\varepsilon_{c(2)}=(-0.0333)+(-0.0133)=-0.0466$$

$$\Delta\varepsilon_{c(2)}=-0.02\Delta\varepsilon_{cu1}=-0.06*0.222=-0.0133$$

Визначаємо рівняння:

$$\frac{6*14.5}{0.7^2}\sum_2^5\frac{2.8785}{1+2}*0.128^3-\frac{1}{2}6*1.041(0.22-0.18)^2$$
$$+\frac{1}{3}6*0.18^2\frac{1.041^3}{18.5^2*0.78^2}-5.61=-1310.62$$

$$x_1=\frac{\varepsilon_{c(1)}}{\aleph}=\frac{0.222}{1{,}22}=0.18$$

$$\aleph=\frac{\varepsilon_{c(1)}-\varepsilon_{c(2)}}{h}=\frac{0.222-(-0.0466)}{0.22}=1.22$$

$$\overline{\aleph}=\frac{\aleph}{\varepsilon_{c1}}=\frac{1.22}{1.73}=0.7$$

$$\gamma=\varepsilon_{c(1)}/\varepsilon_{c1}=\frac{0.222}{1.73}=0.128$$

e = 1(0.18-0.11+0)=0.067

N=0

M=31.74 (0.22-0.11+0.067)= 5.61

7. Змінюємо значення деформацій

$$\Delta\varepsilon_{c(2)}^{(7)} = \varepsilon_{c(2)}^{(6)} + \Delta\varepsilon_{c(2)} = (-0.0466) + (-0.0155) = -0.0621$$

$$\Delta\varepsilon_{c(2)} = -0.02\Delta\varepsilon_{cu1} = -0.07 * 0.222 = -0.0155$$

Визначаємо рівняння:

$$\frac{6 * 14.5}{0.74^2}\sum_{2}^{5}\frac{2.8785}{1+2} * 0.128^3 - \frac{1}{2}6 * 1.041(0.22 - 0.17)^2$$

$$+\frac{1}{3}6 * 0.17^2\frac{1.041^3}{18.5^2 * 0.78^2} - 5.14 = -689.8$$

$$x_1 = \frac{\varepsilon_{c(1)}}{\aleph} = \frac{0.222}{1{,}29} = 0.17$$

$$\aleph = \frac{\varepsilon_{c(1)} - \varepsilon_{c(2)}}{h} = \frac{0.222 - (-0.0621)}{0.22} = 1.29$$

$$\overline{\aleph} = \frac{\aleph}{\varepsilon_{c1}} = \frac{1.29}{1.73} = 0.74$$

$$\gamma = \varepsilon_{c(1)}/\varepsilon_{c1} = \frac{0.222}{1.73} = 0.128$$

e = 1(0.18-0.11+0)=0.052

N=0

M=31.74 (0.22-0.11+0.052)= 5.14

8. Змінюємо значення деформацій

$$\Delta\varepsilon_{c(2)}^{(8)} = \varepsilon_{c(2)}^{(7)} + \Delta\varepsilon_{c(2)} = (-0.0621) + (-0.0177) = -0.08$$

$$\Delta\varepsilon_{c(2)} = -0.02\Delta\varepsilon_{cu1} = -0.08 * 0.222 = -0.0177$$

Визначаємо рівняння:

$$\frac{6 * 14.5}{0.77^2} \sum_2^5 \frac{2.8785}{1+2} * 0.128^3 - \frac{1}{2} 6 * 1.041(0.22 - 0.16)^2$$

$$+ \frac{1}{3} 6 * 0.16^2 \frac{1.041^3}{18.5^2 * 0.78^2} - 5.07 = 68.98$$

$$x_1 = \frac{\varepsilon_{c(1)}}{\aleph} = \frac{0.222}{1{,}37} = 0.16$$

$$\aleph = \frac{\varepsilon_{c(1)} - \varepsilon_{c(2)}}{h} = \frac{0.222 - (-0.08)}{0.22} = 1.37$$

$$\overline{\aleph} = \frac{\aleph}{\varepsilon_{c1}} = \frac{1.37}{1.73} = 0.74$$

$$\gamma = \varepsilon_{c(1)} / \varepsilon_{c1} = \frac{0.222}{1.73} = 0.128$$

e = 1(0.16-0.11+0)=0.05

N=0

M=31.74 (0.22-0.11+0.05)= 5.07

"Врівноважуємо" переріз, отримаємо момент для першого кроку

M = 68.98 кНм

4 -й крок

Визначаємо наступні точки на діаграммі стану перерізу:

Змінюємо значення деформацій та підставляємо у Формули 2.3 та 2.4

Повторюємо вищенаведені розрахунки з новими значеннями $\Delta\varepsilon_{c(1)}$ (шляхом підбору).

Для наступних точок діаграми збільшуємо деформацію більшої стиснутої грані:.

1. Змінюємо значення деформацій

$$\Delta\varepsilon_{c(1)}^{(1)} = \Delta\varepsilon_{c(1)}^{(0)} + \Delta\varepsilon_{c(1)},$$

$$\Delta\varepsilon_{c(1)} = 0.01\varepsilon_{cu1}$$

$$\Delta\varepsilon_{c(1)}^{(1)} = 0.222 + 0.0222 = 0.2442$$

$$\Delta\varepsilon_{c(2)}^{(1)} = \varepsilon_{c(2)}^{(0)} + \Delta\varepsilon_{c(2)} = 0 + (-0.00222) = -0.00222$$

$$\aleph = \frac{\varepsilon_{c(1)}-\varepsilon_{c(2)}}{h} = \frac{0.2442-(-0.00222)}{0.22} = 1.12$$

$$x_1 = \frac{\varepsilon_{c(1)}}{\aleph} = \frac{0.2442}{1.12} = 0.21$$

$$\overline{\aleph} = \frac{\aleph}{\varepsilon_{c1}} = \frac{1.12}{1.73} = 0.64$$

$$\gamma = \varepsilon_{c(1)}/\varepsilon_{c1} = \frac{0.2442}{1.73} = 0.141$$

e = 1(0.21-0.11+0)=0.1

M=31.74 (0.21-0.11+0.1)= 6.35

$$\frac{6 * 14.5}{0.64^2}\sum_2^5 \frac{2.8785}{1+2} * 0.141^3 - \frac{1}{2}6 * 1.041(0.22-0.21)^2$$

$$+\frac{1}{3}6 * 0.21^2 \frac{1.041^3}{18.5^2 * 0.78^2} - 6.35 = 68.98$$

2. Змінюємо значення деформацій

$$\Delta\varepsilon_{c(2)}^{(2)} = \varepsilon_{c(2)}^{(1)} + \Delta\varepsilon_{c(2)} = (-0.00222) + (-0.00444) = -0.00666$$

$$\Delta\varepsilon_{c(1)}^{(2)} = 0.2442 + 0.0222 = 0.2664$$

$$\aleph = \frac{\varepsilon_{c(1)} - \varepsilon_{c(2)}}{h} = \frac{0.2664-(-0.00666)}{0.22} = 1.24$$

$$x_1 = \frac{\varepsilon_{c(1)}}{\aleph} = \frac{0.2664}{1.24} = 0.21$$

$$\overline{\aleph} = \frac{\aleph}{\varepsilon_{c1}} = \frac{1.24}{1.73} = 0.71$$

$$\gamma = \varepsilon_{c(1)}/\varepsilon_{c1} = \frac{0.2664}{1.73} = 0.15$$

e = 1(0.21 -0.11+0)=0.1

M=31.74 (0.21-0.11+ 0.11)= 6.35

$$\frac{6 * 14.5}{0.71^2}\sum_2^5 \frac{2.8785}{1+2} * 0.15^3 - \frac{1}{2}6 * 1.041(0.22-0.21)^2$$

$$+\frac{1}{3}6 * 0.21^2 \frac{1.041^3}{18.5^2 * 0.78^2} - 6.35 = 77.69$$

3. Змінюємо значення деформацій

$$\Delta\varepsilon_{c(2)}^{(3)} = \varepsilon_{c(2)}^{(2)} + \Delta\varepsilon_{c(2)} = (-0.00666) + (-0.00666) = -0.0133$$

$$\Delta\varepsilon_{c(1)}^{(3)} = 0.2664 + 0.0222 = 0.2886$$

$$\aleph = \frac{\varepsilon_{c(1)} - \varepsilon_{c(2)}}{h} = \frac{0.2886 - (-0.0133)}{0.22} = 1.37$$

$$x_1 = \frac{\varepsilon_{c(1)}}{\aleph} = \frac{0.2886}{1.37} = 0.21$$

$$\overline{\aleph} = \frac{\aleph}{\varepsilon_{c1}} = \frac{1.37}{1.73} = 0.79$$

$$\gamma = \varepsilon_{c(1)}/\varepsilon_{c1} = \frac{0.2886}{1.73} = 0.16$$

e = 1(0.21 -0.11+0)=0.11

M=31.74 (0.21 -0.11+ 0)= 6.35

$$\frac{6 * 14.5}{0.79^2} \sum_2^5 \frac{2.8785}{1+2} * 0.16^3 - \frac{1}{2} 6 * 1.041(0.22 - 0.21)^2$$

$$+ \frac{1}{3} 6 * 0.21^2 \frac{1.041^3}{18.5^2 * 0.78^2} - 6.35 = 87.63$$

4. Змінюємо значення деформацій

$$\Delta\varepsilon_{c(2)}^{(4)} = \varepsilon_{c(2)}^{(3)} + \Delta\varepsilon_{c(2)} = (-0.0133) + (-0.00888) = -0.0222$$

$$\Delta\varepsilon_{c(1)}^{(4)} = 0.2886 + 0.0222 = 0.3108$$

$$\aleph = \frac{\varepsilon_{c(1)} - \varepsilon_{c(2)}}{h} = \frac{0.3108 - (-0.0222)}{0.22} = 1.51$$

$$x_1 = \frac{\varepsilon_{c(1)}}{\aleph} = \frac{0.3108}{1.51} = 0.2$$

$$\overline{\aleph} = \frac{\aleph}{\varepsilon_{c1}} = \frac{1.51}{1.73} = 0.87$$

$$\gamma = \varepsilon_{c(1)}/\varepsilon_{c1} = \frac{0.3108}{1.73} = 0.18$$

e = 1(0.2 -0.11+0)=0.09

M=31.74 (0.21 -0.11+0.09)= 6.03

$$\frac{6 * 14.5}{0.87^2} \sum_2^5 \frac{2.8785}{1+2} * 0.18^3 - \frac{1}{2} 6 * 1.041(0.22 - 0.2)^2$$

$$+ \frac{1}{3} 6 * 0.2^2 \frac{1.041^3}{18.5^2 * 0.78^2} - 6.03 = 99.94$$

5. Змінюємо значення деформацій

$$\Delta\varepsilon_{c(2)}^{(5)} = \varepsilon_{c(2)}^{(4)} + \Delta\varepsilon_{c(2)} = (-0.0222) + (-0.0111) = -0.0333$$

$$\Delta\varepsilon_{c(1)}^{(5)} = 0.3108 + 0.0222 = 0.333$$

$$\aleph = \frac{\varepsilon_{c(1)} - \varepsilon_{c(2)}}{h} = \frac{0.333 - (-0.0333)}{0.22} = 1.52$$

$$x_1 = \frac{\varepsilon_{c(1)}}{\aleph} = \frac{0.333}{1.52} = 0.21$$

$$\overline{\aleph} = \frac{\aleph}{\varepsilon_{c1}} = \frac{1.52}{1.73} = 0.87$$

$$\gamma = \varepsilon_{c(1)} / \varepsilon_{c1} = \frac{0.333}{1.73} = 0.19$$

e = 1(0.21 -0.11+0)=0.1

M=31.74 (0.21-0.11+ 0.1)= 6.35

$$\frac{6 * 14.5}{0.87^2} \sum_2^5 \frac{2.8785}{1+2} * 0.19^3 - \frac{1}{2} 6 * 1.041(0.22 - 0.21)^2$$

$$+ \frac{1}{3} 6 * 0.21^2 \frac{1.041^3}{18.5^2 * 0.78^2} - 6.35 = 106.82$$

6. Змінюємо значення деформацій

$$\Delta\varepsilon_{c(2)}^{(6)} = \varepsilon_{c(2)}^{(5)} + \Delta\varepsilon_{c(2)} = (-0.0333) + (-0.0133) = -0.0466$$

$$\Delta\varepsilon_{c(1)}^{(6)} = 0.333 + 0.0222 = 0.3552$$

$$\aleph = \frac{\varepsilon_{c(1)} - \varepsilon_{c(2)}}{h} = \frac{0.3552 - (-0.0466)}{0.22} = 1.82$$

$$x_1 = \frac{\varepsilon_{c(1)}}{\aleph} = \frac{0.3552}{1.82} = 0.19$$

$$\overline{\aleph} = \frac{\aleph}{\varepsilon_{c1}} = \frac{1.82}{1.73} = 1.05$$

$$\gamma = \varepsilon_{c(1)}/\varepsilon_{c1} = \frac{0.3552}{1.73} = 0.2$$

e = 1(0.19-0.11+0)=0.08

M=31.74 (0.19 -0.11+0.08)= 5.07

$$\frac{6 * 14.5}{1.05^2} \sum_2^5 \frac{2.8785}{1+2} * 0.2^3 - \frac{1}{2} 6 * 1.041(0.22 - 0.19)^2$$

$$+ \frac{1}{3} 6 * 0.19^2 \frac{1.041^3}{18.5^2 * 0.78^2} - 5.07 = 109.07$$

7. Змінюємо значення деформацій

$$\Delta\varepsilon_{c(2)}^{(7)} = \varepsilon_{c(2)}^{(6)} + \Delta\varepsilon_{c(2)} = (-0.0466) + (-0.0155) = -0.0621$$

$$\Delta\varepsilon_{c(1)}^{(7)} = 0.3552 + 0.0222 = 0.3774$$

$$\aleph = \frac{\varepsilon_{c(1)} - \varepsilon_{c(2)}}{h} = \frac{0.3774 - (-0.0621)}{0.22} = 1.99$$

$$x_1 = \frac{\varepsilon_{c(1)}}{\aleph} = \frac{0.3774}{1.99} = 0.19$$

$$\overline{\aleph} = \frac{\aleph}{\varepsilon_{c1}} = \frac{1.99}{1.73} = 1.15$$

$$\gamma = \varepsilon_{c(1)}/\varepsilon_{c1} = \frac{0.3774}{1.73} = 0.21$$

e = 1(0.19-0.11+0)=0.08

M=31.74 (0.19-0.11+0.08)= 5.07

$$\frac{6 * 14.5}{1.15^2} \sum_2^5 \frac{2.8785}{1+2} * 0.21^3 - \frac{1}{2} 6 * 1.041(0.22 - 0.19)^2$$

$$+ \frac{1}{3} 6 * 0.19^2 \frac{1.041^3}{18.5^2 * 0.78^2} - 5.07 = 110.46$$

8. Змінюємо значення деформацій

$$\Delta\varepsilon_{c(2)}^{(8)} = \varepsilon_{c(2)}^{(7)} + \Delta\varepsilon_{c(2)} = (-0.0621) + (-0.0177) = -0.08$$

$$\Delta\varepsilon_{c(1)}^{(8)} = 0.3774 + 0.0222 = 0.3996$$

$$\aleph = \frac{\varepsilon_{c(1)} - \varepsilon_{c(2)}}{h} = \frac{0.3996 - (-0.08)}{0.22} = 2.18$$

$$x_1 = \frac{\varepsilon_{c(1)}}{\aleph} = \frac{0.3996}{2.18} = 0.18$$

$$\overline{\aleph} = \frac{\aleph}{\varepsilon_{c1}} = \frac{2.18}{1.73} = 1.26$$

$$\gamma = \varepsilon_{c(1)}/\varepsilon_{c1} = \frac{0.3996}{1.73} = 0.23$$

e = 1(0.18 -0.11+0)=0.07

M=31.74 (0.18 -0.11+0.07)= 4.44

$$\frac{6 * 14.5}{1.26^2} \sum_2^5 \frac{2.8785}{1+2} * 0.23^3 - \frac{1}{2} 6 * 1.041(0.22 - 0.18)^2$$

$$+ \frac{1}{3} 6 * 0.18^2 \frac{1.041^3}{18.5^2 * 0.78^2} - 4.44 = 109.23$$

Результати заносимо у таблицю

Таблицю 3.1 – Результати розрахунтку для сталевої фібри

Крок	Момент, кНм	Кривизна, 1/r
1	68.98	0.00222
2	77.69	0.00666
3	87.63	0.0133
4	99.94	0.0222
5	106.82	0.0333
6	109.07	0.0466
7	110.46	0.0621
8	109.23	0.0805

За результатами розрахунку будуємо графік "момент-кривизна" (рис.3.1).

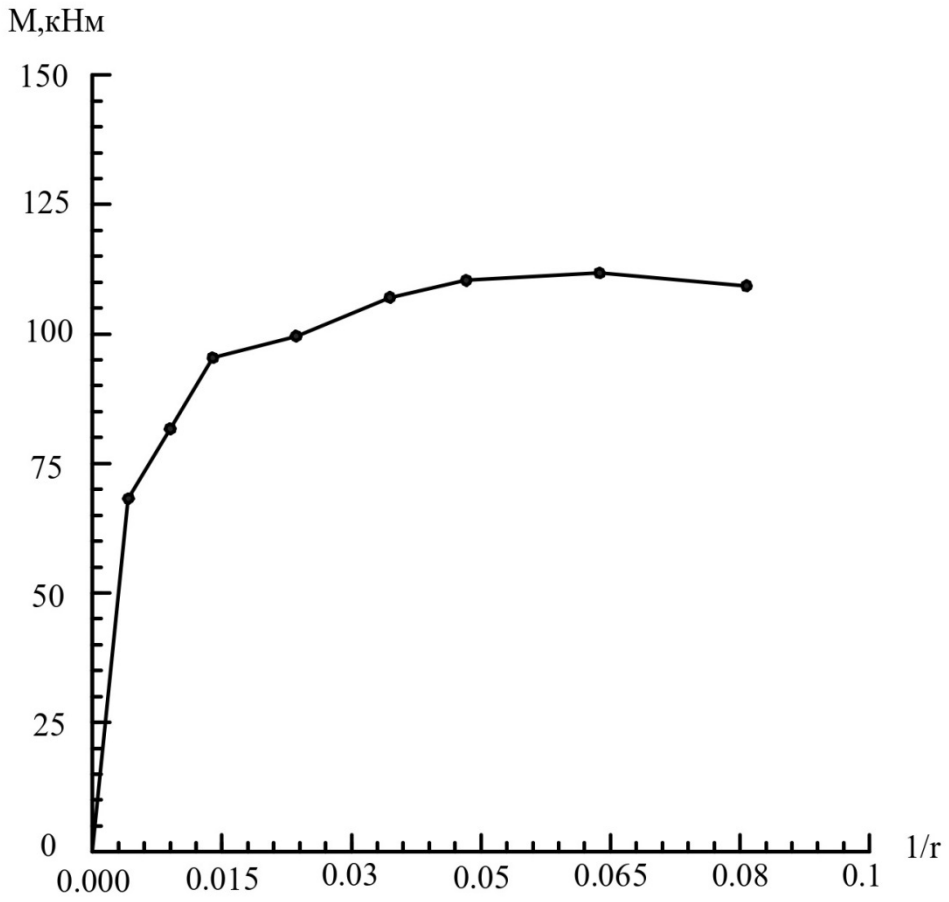


Рисунок 3.1. Графік "момент-кривизна" для сталевої фібри

Зафіксоване на графіку найбільше значення згинального моменту Mmax = 110 кНм і є несучою здатністю перерізу.

3.2 Практичний розрахунок для поліпропіленової фібри

Вихідні данні для розрахунку:

Ширина перерізу b = 6.0 м ; висота перерізу h = 0.22 м; клас бетону - С20/25; Поліпропіленова фібра PoliArm TM Fiber ; довжина 25мм, діаметр 2мм , міцність на розтяг 400МПа, Витрата фібри 3%.

fcd = 14.5 МПа - міцність бетону С16/20 на стиск;

$\varepsilon_{cu1,cd} = 2.22$, значення граничних деформацій розтягу бетону див. таб 2.1,

$\varepsilon_{c1,cd} = 1.73$, значення граничних деформацій стиску бетону див. таб 2.1.

$\varepsilon_{cf} = 0.78$, значення відносних деформацій стиску фібробетону див.таб 2.1.

Визначити несучу здатність перерізу.

1 -й крок

Визначаємо випадок для визначення опору ротягу(f_{cfdt})

$l_{fb} \geq \frac{0.025}{2} = 3.83 \geq 0.012$

Визначаємо довжину анкетування фібри в бетоні, м;

$l_{fb} = \frac{0.85*0.178*400}{25} = 2.42$

Визначаємо приведений діаметр фібри:

$d_{f,red} = 1.13*\sqrt{0.05} = 0.178$

Має місце 2-ий випадок тому f_{cfdt} визначается:

$f_{cfdt} = 1.1*14.5(1.562\frac{0.519^2*0.03*0.025}{8*0.85*0.178} + 0.08 - 0.5*0.03) = 1.054$

$K_T = \sqrt{1-(1{,}2-80*0{,}03)^2} = 1{,}562$

Визначаємо коефіцієнт фібрового армування за об’ємом;

$u_{fv} = 3\% = 0{,}03$

Визначаємо коефіцієнти що враховують орієнтацію фібри в об’ємі елемента, приймають згідно таблиці 2.1

$k_{or} = 0.519$

$k_n = 0.52$

Визначаємо коєфіціент розподілення фібри у перерізі елемента:

- для розтягнутої зони:

$u_{fa} = 0.03 * \ 0.519^2 = 0.008$

- для стиснутої зони

$\grave{u_{fa}} = 0.03 * 0.520^2 = 0.0081$

2 -й крок

Задаємся величинами деформацій бетону на стиснутій грані;

$\varepsilon_{c(1)} = \ \Delta\varepsilon_{c(1)}^{(0)}$ та $\Delta\varepsilon_{(2)}^{(0)} = 0$;

$\Delta\varepsilon_{c(1)}^{(0)} = 0{,}1\varepsilon_{cu1,cd} = 0.1 * 2.22 = 0.222$

Визначаємо висоту стиснутої зони та перевіряємо умови рівноваги;

$x_1 = \frac{\varepsilon_{c(1)}}{\aleph} = \frac{0.222}{1.009} = 0.22$

Визначаємо кривизну вигнутої осі в перерізі;

$\aleph = \ \frac{0.222 - 0}{0.22} = 1.009$

Перевіряємо умову;

$x_1 \geq$ h = 0.22 $\ \geq 0.22$

Визначаємо відносну кривизну;

$\overline{\aleph} = \frac{1.009}{1.73} = 0.583$

Визначаємо відношення деформацій;

$\gamma = \frac{0.222}{1.73} = 0.128$

Визначаємо коефіцієнт полінома a_k= див. Рисунок. 2.4 та 2.5

a_1= 2.8785

a_2= -3.1586

a_3= 1.7454

a_4= -0.529

a_5= 6.374*10^2

Визначаємо значення зовнішньої нормальної сили і згинального моменту;

N=0

M=14.1468(0.22-0.11+0.11)= 3.11

Визначаємо за умовою для першої форми рівноваги див. Рис 2.3

(див.Формулу 2.1 та 2.2)

$$\frac{bf_{cd}}{\overline{\aleph}}\sum_{k+1}^{5}\frac{a_k}{k+1}\left(\frac{\varepsilon_{c(1)}^{k+1}-\varepsilon_{c(2)}^{k+1}}{\varepsilon_{c1}^{k+1}}\right)-N=0$$

$$\frac{6*14.5}{0.583}\sum_{1+1}^{5}\frac{2.8785}{1+1}\left(\frac{0.222^2-0}{1.73^2}\right)-0=14.1468$$

$$\frac{bf_{cd}}{\overline{\aleph^2}}\sum_{k+1}^{5}\frac{a_k}{k+2}\left(\frac{\varepsilon_{c(1)}^{k+2}-\varepsilon_{c(2)}^{k+2}}{\varepsilon_{c1}^{k+2}}\right)-M=0$$

$$\frac{6*14.5}{0.583^2}\sum_{1+1}^{5}\frac{2.8785}{1+2}\left(\frac{0.222^3-0^3}{1.73^3}\right)-3.11=-318.214<0$$

Зліва меньше нуля. Отже тут використовуємо ІІ-у форму рівноваги (див.Формулу 2.3 та 2.4), тобто частина перерізу розтягнута.

3 -й крок

Визначаємо першу точку на діаграммі стану перерізу:

1.Змінюємо значення деформацій та підставляємо у Формули 2.3 та 2.4

$$\varepsilon_{c(1)}=\Delta\varepsilon_{c(1)}^{(1)}=0.222$$

$$\Delta\varepsilon_{c(2)}^{(1)}=\varepsilon_{c(2)}^{(0)}+\Delta\varepsilon_{c(2)}=0+(-0.00222)=-0.00222$$

з величиною зменшення деформації

$$\Delta\varepsilon_{c(2)}=-0.01\Delta\varepsilon_{cu1}=-0.01*0.222=-0.00222$$

Визначаємо першу точку на діаграммі. див. Формули 2.3 та 2.4

$$\frac{6*14.5}{0.589}\sum_{2}^{5}\frac{2.8785}{1+1}*0.128^2-6*1.054\left(0.22-0.217-\frac{0.217*1.054}{2*18.5*0.78}\right)-0$$

$$=32.04$$

$$\frac{6*14.5}{0.589^2}\sum_{2}^{5}\frac{2.8785}{1+2}*0.128^3-\frac{1}{2}6*1.054(0.22-0.217)^2$$

$$+\frac{1}{3}6*0.217^2\frac{1.054^3}{18.5^2*0.78^2}-6.94=-7004.89$$

$$x_1=\frac{\varepsilon_{c(1)}}{\aleph}=\frac{0.222}{1.019}=0.217$$

$$\aleph=\frac{\varepsilon_{c(1)}-\varepsilon_{c(2)}}{h}=\frac{0.222-(-0.00222)}{0.22}=1.019$$

$$\overline{\aleph}=\frac{\aleph}{\varepsilon_{c1}}=\frac{1.019}{1.73}=0.589$$

$$\gamma=\varepsilon_{c(1)}/\varepsilon_{c1}=\frac{0.222}{1.73}=0.128$$

e = 1(0.217-0.11+0)=0.107

N=0

M=32.04 (0.22-0.11+0.107)= 6.94

2. Змінюємо значення деформацій

$$\Delta\varepsilon_{c(2)}^{(2)}=\varepsilon_{c(2)}^{(1)}+\Delta\varepsilon_{c(2)}=(-0.00222)+(-0.00444)=-0.00666$$

$$\Delta\varepsilon_{c(2)}=-0.02\Delta\varepsilon_{cu1}=-0.02*0.222=-0.00444$$

Визначаємо рівняння:

$$\frac{6*14.5}{0.6^2}\sum_{2}^{5}\frac{2.8785}{1+2}*0.128^3-\frac{1}{2}6*1.054(0.22-0.213)^2$$

$$+\frac{1}{3}6*0.213^2\frac{1.054^3}{18.5^2*0.78^2}-6.94=-6234.35$$

$$x_1=\frac{\varepsilon_{c(1)}}{\aleph}=\frac{0.222}{1{,}039}=0.213$$

$$\aleph=\frac{\varepsilon_{c(1)}-\varepsilon_{c(2)}}{h}=\frac{0.222-(-0.00666)}{0.22}=1.039$$

$$\overline{\aleph}=\frac{\aleph}{\varepsilon_{c1}}=\frac{1.039}{1.73}=0.6$$

$$\gamma=\varepsilon_{c(1)}/\varepsilon_{c1}=\frac{0.222}{1.73}=0.128$$

e = 1(0.217-0.11+0)=0.107

N=0

M=32.04 (0.22-0.11+0.107)= 6.94

3. Змінюємо значення деформацій

$$\Delta\varepsilon_{c(2)}^{(3)} = \varepsilon_{c(2)}^{(2)} + \Delta\varepsilon_{c(2)} = (-0.00666) + (-0.00666) = -0.0133$$

$$\Delta\varepsilon_{c(2)} = -0.02\Delta\varepsilon_{cu1} = -0.03 * 0.222 = -0.00666$$

Визначаємо рівняння:

$$\frac{6 * 14.5}{0.617^2}\sum_{2}^{5}\frac{2.8785}{1+2} * 0.128^3 - \frac{1}{2}6 * 1.054(0.22 - 0.207)^2$$

$$+\frac{1}{3}6 * 0.207^2\frac{1.054^3}{18.5^2 * 0.78^2} - 6.66 = -5113.56$$

$$x_1 = \frac{\varepsilon_{c(1)}}{\aleph} = \frac{0.222}{1{,}069} = 0.207$$

$$\aleph = \frac{\varepsilon_{c(1)} - \varepsilon_{c(2)}}{h} = \frac{0.222 - (-0.0133)}{0.22} = 1.069$$

$$\overline{\aleph} = \frac{\aleph}{\varepsilon_{c1}} = \frac{1.069}{1.73} = 0.617$$

$$\gamma = \varepsilon_{c(1)}/\varepsilon_{c1} = \frac{0.222}{1.73} = 0.128$$

e = 1(0.207-0.11+0)=0.097

N=0

M=32.04 (0.22-0.11+0.097)= 6.66

4. Змінюємо значення деформацій

$$\Delta\varepsilon_{c(2)}^{(4)} = \varepsilon_{c(2)}^{(3)} + \Delta\varepsilon_{c(2)} = (-0.0133) + (-0.00888) = -0.0222$$

$$\Delta\varepsilon_{c(2)} = -0.02\Delta\varepsilon_{cu1} = -0.04 * 0.222 = -0.00888$$

Визначаємо рівняння:

$$\frac{6 * 14.5}{0.64^2} \sum_2^5 \frac{2.8785}{1+2} * 0.128^3 - \frac{1}{2} 6 * 1.054(0.22 - 0.2)^2$$

$$+ \frac{1}{3} 6 * 0.2^2 \frac{1.054^3}{18.5^2 * 0.78^2} - 6.42 = -4202.93$$

$$x_1 = \frac{\varepsilon_{c(1)}}{\aleph} = \frac{0.222}{1{,}11} = 0.2$$

$$\aleph = \frac{\varepsilon_{c(1)} - \varepsilon_{c(2)}}{h} = \frac{0.222 - (-0.0222)}{0.22} = 1.11$$

$$\overline{\aleph} = \frac{\aleph}{\varepsilon_{c1}} = \frac{1.11}{1.73} = 0.64$$

$$\gamma = \varepsilon_{c(1)} / \varepsilon_{c1} = \frac{0.222}{1.73} = 0.128$$

e = 1(0.2-0.11+0)=0.09

N=0

M=32.04 (0.22-0.11+0.097)= 6.42

5. Змінюємо значення деформацій

$$\Delta\varepsilon_{c(2)}^{(5)} = \varepsilon_{c(2)}^{(4)} + \Delta\varepsilon_{c(2)} = (-0.0222) + (-0.0111) = -0.0333$$

$$\Delta\varepsilon_{c(2)} = -0.02\Delta\varepsilon_{cu1} = -0.05 * 0.222 = -0.0111$$

Визначаємо рівняння:

$$\frac{6 * 14.5}{0.67^2} \sum_2^5 \frac{2.8785}{1+2} * 0.128^3 - \frac{1}{2} 6 * 1.054(0.22 - 0.19)^2$$

$$+ \frac{1}{3} 6 * 0.19^2 \frac{1.054^3}{18.5^2 * 0.78^2} - 6.11 = -2872.01$$

$$x_1 = \frac{\varepsilon_{c(1)}}{\aleph} = \frac{0.222}{1{,}11} = 0.19$$

$$\aleph = \frac{\varepsilon_{c(1)} - \varepsilon_{c(2)}}{h} = \frac{0.222 - (-0.0333)}{0.22} = 1.16$$

$$\overline{\aleph} = \frac{\aleph}{\varepsilon_{c1}} = \frac{1.16}{1.73} = 0.67$$

$$\gamma = \varepsilon_{c(1)} / \varepsilon_{c1} = \frac{0.222}{1.73} = 0.128$$

e = 1(0.19-0.11+0)=0.08

N=0

M=32.04 (0.22-0.11+0.08)= 6.11

6. Змінюємо значення деформацій

$$\Delta\varepsilon_{c(2)}^{(6)} = \varepsilon_{c(2)}^{(5)} + \Delta\varepsilon_{c(2)} = (-0.0333) + (-0.0133) = -0.0466$$

$$\Delta\varepsilon_{c(2)} = -0.02\Delta\varepsilon_{cu1} = -0.06 * 0.222 = -0.0133$$

Визначаємо рівняння:

$$\frac{6 * 14.5}{0.7^2}\sum_{2}^{5}\frac{2.8785}{1+2} * 0.128^3 - \frac{1}{2}6 * 1.054(0.22 - 0.18)^2$$

$$+\frac{1}{3}6 * 0.18^2\frac{1.054^3}{18.5^2 * 0.78^2} - 5.71 = -1330.92$$

$$x_1 = \frac{\varepsilon_{c(1)}}{\aleph} = \frac{0.222}{1{,}22} = 0.18$$

$$\aleph = \frac{\varepsilon_{c(1)} - \varepsilon_{c(2)}}{h} = \frac{0.222 - (-0.0466)}{0.22} = 1.22$$

$$\overline{\aleph} = \frac{\aleph}{\varepsilon_{c1}} = \frac{1.22}{1.73} = 0.7$$

$$\gamma = \varepsilon_{c(1)}/\varepsilon_{c1} = \frac{0.222}{1.73} = 0.128$$

e = 1(0.18-0.11+0)=0.067

N=0

M=32.04 (0.22-0.11+0.067)= 5.71

7. Змінюємо значення деформацій

$$\Delta\varepsilon_{c(2)}^{(7)} = \varepsilon_{c(2)}^{(6)} + \Delta\varepsilon_{c(2)} = (-0.0466) + (-0.0155) = -0.0621$$

$$\Delta\varepsilon_{c(2)} = -0.02\Delta\varepsilon_{cu1} = -0.07 * 0.222 = -0.0155$$

Визначаємо рівняння:

$$\frac{6*14.5}{0.74^2}\sum_2^5\frac{2.8785}{1+2}*0.128^3-\frac{1}{2}6*1.054(0.22-0.17)^2$$

$$+\frac{1}{3}6*0.17^2\frac{1.054^3}{18.5^2*0.78^2}-5.21=-700.48$$

$$x_1=\frac{\varepsilon_{c(1)}}{\aleph}=\frac{0.222}{1{,}29}=0.17$$

$$\aleph=\frac{\varepsilon_{c(1)}-\varepsilon_{c(2)}}{h}=\frac{0.222-(-0.0621)}{0.22}=1.29$$

$$\overline{\aleph}=\frac{\aleph}{\varepsilon_{c1}}=\frac{1.29}{1.73}=0.74$$

$$\gamma=\varepsilon_{c(1)}/\varepsilon_{c1}=\frac{0.222}{1.73}=0.128$$

e = 1(0.18-0.11+0)=0.052

N=0

M=32.04 (0.22-0.11+0.052)= 5.21

8. Змінюємо значення деформацій

$$\Delta\varepsilon_{c(2)}^{(8)}=\varepsilon_{c(2)}^{(7)}+\Delta\varepsilon_{c(2)}=(-0.0621)+(-0.0177)=-0.08$$

$$\Delta\varepsilon_{c(2)}=-0.02\Delta\varepsilon_{cu1}=-0.08*0.222=-0.0177$$

Визначаємо рівняння:

$$\frac{6*14.5}{0.77^2}\sum_2^5\frac{2.8785}{1+2}*0.128^3-\frac{1}{2}6*1.054(0.22-0.16)^2$$

$$+\frac{1}{3}6*0.16^2\frac{1.054^3}{18.5^2*0.78^2}-5.14=70.04$$

$$x_1=\frac{\varepsilon_{c(1)}}{\aleph}=\frac{0.222}{1{,}37}=0.16$$

$$\aleph=\frac{\varepsilon_{c(1)}-\varepsilon_{c(2)}}{h}=\frac{0.222-(-0.08)}{0.22}=1.37$$

$$\overline{\aleph}=\frac{\aleph}{\varepsilon_{c1}}=\frac{1.37}{1.73}=0.74$$

$$\gamma=\varepsilon_{c(1)}/\varepsilon_{c1}=\frac{0.222}{1.73}=0.128$$

e = 1(0.16-0.11+0)=0.05

N=0

M=32.04 (0.22-0.11+0.05)= 5.14

"Врівноваживши" таким чином переріз, отримаємо значення моменту на першому кроці M = 70.04 кНм

4 -й крок

Визначаємо наступні точки на діаграммі стану перерізу:

Змінюємо значення деформацій та підставляємо у Формули 2.3 та 2.4

Повторюємо вищенаведені розрахунки з новими значеннями $\Delta\varepsilon_{c(1)}$ (шляхом підбору).

Для наступних точок діаграми збільшуємо деформацію більшої стиснутої грані:.

1. Змінюємо значення деформацій

$$\Delta\varepsilon_{c(1)}^{(1)} = \Delta\varepsilon_{c(1)}^{(0)} + \Delta\varepsilon_{c(1)},$$

$$\Delta\varepsilon_{c(1)} = 0.01\varepsilon_{cu1}$$

$$\Delta\varepsilon_{c(1)}^{(1)} = 0.222 + 0.0222 = 0.2442$$

$$\Delta\varepsilon_{c(2)}^{(1)} = \varepsilon_{c(2)}^{(0)} + \Delta\varepsilon_{c(2)} = 0 + (-0.00222) = -0.00222$$

$$\aleph = \frac{\varepsilon_{c(1)} - \varepsilon_{c(2)}}{h} = \frac{0.2442 - (-0.00222)}{0.22} = 1.12$$

$$x_1 = \frac{\varepsilon_{c(1)}}{\aleph} = \frac{0.2442}{1.12} = 0.21$$

$$\overline{\aleph} = \frac{\aleph}{\varepsilon_{c1}} = \frac{1.12}{1.73} = 0.64$$

$$\gamma = \varepsilon_{c(1)}/\varepsilon_{c1} = \frac{0.2442}{1.73} = 0.141$$

e = 1(0.21-0.11+0)=0.1

M=32.04 (0.21-0.11+0.1)= 6.41

$$\frac{6*14.5}{0.64^2}\sum_2^5\frac{2.8785}{1+2}*0.141^3-\frac{1}{2}6*1.054(0.22-0.21)^2$$
$$+\frac{1}{3}6*0.21^2\frac{1.054^3}{18.5^2*0.78^2}-6.41=70.04$$

2. Змінюємо значення деформацій

$$\Delta\varepsilon_{c(2)}^{(2)}=\varepsilon_{c(2)}^{(1)}+\Delta\varepsilon_{c(2)}=(-0.00222)+(-0.00444)=-0.00666$$

$$\Delta\varepsilon_{c(1)}^{(2)}=0.2442+0.0222=0.2664$$

$$\aleph=\frac{\varepsilon_{c(1)}-\varepsilon_{c(2)}}{h}=\frac{0.2664-(-0.00666)}{0.22}=1.24$$

$$x_1=\frac{\varepsilon_{c(1)}}{\aleph}=\frac{0.2664}{1.24}=0.21$$

$$\overline{\aleph}=\frac{\aleph}{\varepsilon_{c1}}=\frac{1.24}{1.73}=0.71$$

$$\gamma=\varepsilon_{c(1)}/\varepsilon_{c1}=\frac{0.2664}{1.73}=0.15$$

e = 1(0.21 -0.11+0)=0.1

M=32.04 (0.21-0.11+ 0.11)= 6.41

$$\frac{6*14.5}{0.71^2}\sum_2^5\frac{2.8785}{1+2}*0.15^3-\frac{1}{2}6*1.054(0.22-0.21)^2$$
$$+\frac{1}{3}6*0.21^2\frac{1.054^3}{18.5^2*0.78^2}-6.41=79.27$$

3. Змінюємо значення деформацій

$$\Delta\varepsilon_{c(2)}^{(3)}=\varepsilon_{c(2)}^{(2)}+\Delta\varepsilon_{c(2)}=(-0.00666)+(-0.00666)=-0.0133$$

$$\Delta\varepsilon_{c(1)}^{(3)}=0.2664+0.0222=0.2886$$

$$\aleph=\frac{\varepsilon_{c(1)}-\varepsilon_{c(2)}}{h}=\frac{0.2886-(-0.0133)}{0.22}=1.37$$

$$x_1=\frac{\varepsilon_{c(1)}}{\aleph}=\frac{0.2886}{1.37}=0.21$$

$$\overline{\aleph}=\frac{\aleph}{\varepsilon_{c1}}=\frac{1.37}{1.73}=0.79$$

$$\gamma = \varepsilon_{c(1)}/\varepsilon_{c1} = \frac{0.2886}{1.73} = 0.16$$

e = 1(0.21 -0.11+0)=0.11

M=32.04 (0.21 -0.11+ 0.11)= 6.41

$$\frac{6 * 14.5}{0.79^2}\sum_{2}^{5}\frac{2.8785}{1+2} * 0.16^3 - \frac{1}{2}6 * 1.054(0.22 - 0.21)^2$$

$$+\frac{1}{3}6 * 0.21^2\frac{1.054^3}{18.5^2 * 0.78^2} - 6.41 = 85.76$$

4. Змінюємо значення деформацій

$$\Delta\varepsilon_{c(2)}^{(4)} = \varepsilon_{c(2)}^{(3)} + \Delta\varepsilon_{c(2)} = (-0.0133) + (-0.00888) = -0.0222$$

$$\Delta\varepsilon_{c(1)}^{(4)} = 0.2886 + 0.0222 = 0.3108$$

$$\aleph = \frac{\varepsilon_{c(1)} - \varepsilon_{c(2)}}{h} = \frac{0.3108 - (-0.0222)}{0.22} = 1.51$$

$$x_1 = \frac{\varepsilon_{c(1)}}{\aleph} = \frac{0.3108}{1.51} = 0.2$$

$$\overline{\aleph} = \frac{\aleph}{\varepsilon_{c1}} = \frac{1.51}{1.73} = 0.87$$

$$\gamma = \varepsilon_{c(1)}/\varepsilon_{c1} = \frac{0.3108}{1.73} = 0.18$$

e = 1(0.2 -0.11+0)=0.09

M=32.04 (0.21 -0.11+0.09)= 6.07

$$\frac{6 * 14.5}{0.87^2}\sum_{2}^{5}\frac{2.8785}{1+2} * 0.18^3 - \frac{1}{2}6 * 1.054(0.22 - 0.2)^2$$

$$+\frac{1}{3}6 * 0.2^2\frac{1.054^3}{18.5^2 * 0.78^2} - 6.07 = 99.54$$

5. Змінюємо значення деформацій

$$\Delta\varepsilon_{c(2)}^{(5)} = \varepsilon_{c(2)}^{(4)} + \Delta\varepsilon_{c(2)} = (-0.0222) + (-0.0111) = -0.0333$$

$$\Delta\varepsilon_{c(1)}^{(5)} = 0.3108 + 0.0222 = 0.333$$

$$\aleph = \frac{\varepsilon_{c(1)} - \varepsilon_{c(2)}}{h} = \frac{0.333 - (-0.0333)}{0.22} = 1.52$$

$$x_1 = \frac{\varepsilon_{c(1)}}{\aleph} = \frac{0.333}{1.52} = 0.21$$

$$\overline{\aleph} = \frac{\aleph}{\varepsilon_{c1}} = \frac{1.52}{1.73} = 0.87$$

$$\gamma = \varepsilon_{c(1)}/\varepsilon_{c1} = \frac{0.333}{1.73} = 0.19$$

e = 1(0.21 -0.11+0)=0.1

M=32.04 (0.21-0.11+ 0.1)= 6.42

$$\frac{6 * 14.5}{0.87^2}\sum_{2}^{5}\frac{2.8785}{1+2} * 0.19^3 - \frac{1}{2}6 * 1.054(0.22 - 0.21)^2$$

$$+\frac{1}{3}6 * 0.21^2\frac{1.054^3}{18.5^2 * 0.78^2} - 6.42 = 110.64$$

6. Змінюємо значення деформацій

$$\Delta\varepsilon_{c(2)}^{(6)} = \varepsilon_{c(2)}^{(5)} + \Delta\varepsilon_{c(2)} = (-0.0333) + (-0.0133) = -0.0466$$

$$\Delta\varepsilon_{c(1)}^{(6)} = 0.333 + 0.0222 = 0.3552$$

$$\aleph = \frac{\varepsilon_{c(1)} - \varepsilon_{c(2)}}{h} = \frac{0.3552 - (-0.0466)}{0.22} = 1.82$$

$$x_1 = \frac{\varepsilon_{c(1)}}{\aleph} = \frac{0.3552}{1.82} = 0.19$$

$$\overline{\aleph} = \frac{\aleph}{\varepsilon_{c1}} = \frac{1.82}{1.73} = 1.05$$

$$\gamma = \varepsilon_{c(1)}/\varepsilon_{c1} = \frac{0.3552}{1.73} = 0.2$$

e = 1(0.19-0.11+0)=0.08

M=32.04 (0.19 -0.11+0.08)= 5.16

$$\frac{6 * 14.5}{1.05^2}\sum_{2}^{5}\frac{2.8785}{1+2} * 0.2^3 - \frac{1}{2}6 * 1.054(0.22 - 0.19)^2$$

$$+\frac{1}{3}6 * 0.19^2\frac{1.054^3}{18.5^2 * 0.78^2} - 5.16 = 118.22$$

7. Змінюємо значення деформацій

$$\Delta\varepsilon_{c(2)}^{(7)} = \varepsilon_{c(2)}^{(6)} + \Delta\varepsilon_{c(2)} = (-0.0466) + (-0.0155) = -0.0621$$

$$\Delta\varepsilon_{c(1)}^{(7)} = 0.3552 + 0.0222 = 0.3774$$

$$\aleph = \frac{\varepsilon_{c(1)} - \varepsilon_{c(2)}}{h} = \frac{0.3774 - (-0.0621)}{0.22} = 1.99$$

$$x_1 = \frac{\varepsilon_{c(1)}}{\aleph} = \frac{0.3774}{1.99} = 0.19$$

$$\overline{\aleph} = \frac{\aleph}{\varepsilon_{c1}} = \frac{1.99}{1.73} = 1.15$$

$$\gamma = \varepsilon_{c(1)}/\varepsilon_{c1} = \frac{0.3774}{1.73} = 0.21$$

e = 1(0.19-0.11+0)=0.08

M=32.04 (0.19-0.11+0.08)= 5.16

$$\frac{6 * 14.5}{1.15^2}\sum_2^5 \frac{2.8785}{1+2} * 0.21^3 - \frac{1}{2}6 * 1.054(0.22 - 0.19)^2$$

$$+\frac{1}{3}6 * 0.19^2 \frac{1.054^3}{18.5^2 * 0.78^2} - 5.16 = 119.34$$

8. Змінюємо значення деформацій

$$\Delta\varepsilon_{c(2)}^{(8)} = \varepsilon_{c(2)}^{(7)} + \Delta\varepsilon_{c(2)} = (-0.0621) + (-0.0177) = -0.08$$

$$\Delta\varepsilon_{c(1)}^{(8)} = 0.3774 + 0.0222 = 0.3996$$

$$\aleph = \frac{\varepsilon_{c(1)} - \varepsilon_{c(2)}}{h} = \frac{0.3996 - (-0.08)}{0.22} = 2.18$$

$$x_1 = \frac{\varepsilon_{c(1)}}{\aleph} = \frac{0.3996}{2.18} = 0.18$$

$$\overline{\aleph} = \frac{\aleph}{\varepsilon_{c1}} = \frac{2.18}{1.73} = 1.26$$

$$\gamma = \varepsilon_{c(1)}/\varepsilon_{c1} = \frac{0.3996}{1.73} = 0.23$$

e = 1(0.18 -0.11+0)=0.07

M=32.04 (0.18 -0.11+0.07)= 4.51

$$\frac{6 * 14.5}{1.26^2} \sum_2^5 \frac{2.8785}{1+2} * 0.23^3 - \frac{1}{2} 6 * 1.054(0.22 - 0.18)^2$$

$$+ \frac{1}{3} 6 * 0.18^2 \frac{1.054^3}{18.5^2 * 0.78^2} - 4.51 = 108.92$$

Результати заносимо у таблицю

Таблицю 3.2 – Результати розрахунтку для поліпропіленової фібри

Крок	Момент, кНм	Кривизна, 1/r
1	70.04	0.00222
2	79.27	0.00666
3	85.76	0.0133
4	99.54	0.0222
5	110.64	0.0333
6	118.22	0.0466
7	119.34	0.0621
8	118.92	0.0805

За результатами розрахунку будуємо графік "момент-кривизна" (рис.3.2).

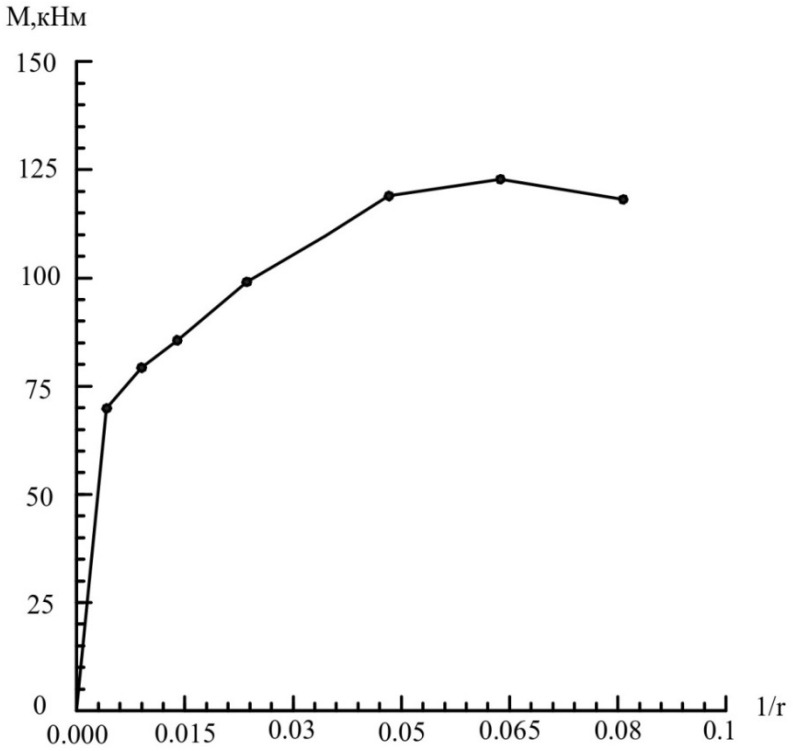


Рисунок 3.2. Графік "момент-кривизна" пропіленової фібри

Зафіксоване на цьому графіку найбільше значення згинального моменту Mmax = 119 кНм і буде несучою здатністю перерізу.

3.3 Практичний розрахунок для базальтової фібри

Вихідні данні для розрахунку:

Ширина перерізу b = 6.0 м; висота перерізу h = 0.22 м; клас бетону - С20/25; Фібра базальтова Technobasalt; довжина 24мм, діаметр 0.018мм , міцність на розтяг 1200МПа, Витрата фібри 3%.

fcd = 14.5 МПа - міцність бетону С16/20 на стиск;

$\varepsilon_{cu1,cd} = 2.22$, значення граничних деформацій розтягу бетону див. таб 2.1,

$\varepsilon_{c1,cd} = 1.73$, значення граничних деформацій стиску бетону див. таб 2.1.

$\varepsilon_{cf} = 0.78$, значення відносних деформацій стиску фібробетону див.таб 2.1.

Визначити несучу здатність перерізу.

1 -й крок

Визначаємо випадок для визначення опору ротягу(f_{cfdt})

$l_{fb} \geq \frac{0.024}{2} = 3.83 \geq 0.012$

Визначаємо довжину анкетування фібри в бетоні, м;

$l_{fb} = \frac{1*0.074*1200}{25} = 1.104$

Визначаємо приведений діаметр фібри:

$d_{f,red} = 1.13*\sqrt{0.00041} = 0.023$

Має місце 2-ий випадок тому f_{cfdt} визначается:

$f_{cfdt} = 1.1*14.5(1.562\frac{0.519^2*0.03*0.024}{8*1*0.0238} + 0.08 - 0.5*0.03) = 0.973$

$K_T = \sqrt{1-(1{,}2-80*0{,}03)^2} = 1{,}562$

Визначаємо коефіцієнт фібрового армування за об'ємом;

$u_{fv} = 3\% = 0{,}03$

Визначаємо коефіцієнти що враховують орієнтацію фібри в об'ємі елемента, приймають згідно таблиці 2.1

$k_{or} = 0.519$

$k_n = 0.52$

Визначаємо коєфіціент розподілення фібри у перерізі елемента:

- для розтягнутої зони:

$u_{fa} = 0.03 * 0.519^2 = 0.008$

- для стиснутої зони

$u_{fa}^{`} = 0.03 * 0.520^2 = 0.0081$

2 -й крок

Задаємся величинами деформацій бетону на стиснутій грані;

$\varepsilon_{c(1)} = \Delta\varepsilon_{c(1)}^{(0)}$ та $\Delta\varepsilon_{(2)}^{(0)} = 0$;

$\Delta\varepsilon_{c(1)}^{(0)} = 0{,}1\varepsilon_{cu1,cd} = 0.1 * 2.22 = 0.222$

Визначаємо висоту стиснутої зони та перевіряємо умови рівноваги;

$$x_1 = \frac{\varepsilon_{c(1)}}{\aleph} = \frac{0.222}{1.009} = 0.22$$

Визначаємо кривизну вигнутої осі в перерізі;

$$\aleph = \frac{0.222 - 0}{0.22} = 1.009$$

Перевіряємо умову;

$x_1 \geq$ h = 0.22 $\geq$ 0.22

Визначаємо відносну кривизну;

$$\overline{\aleph} = \frac{1.009}{1.73} = 0.583$$

Визначаємо відношення деформацій;

$$\gamma = \frac{0.222}{1.73} = 0.128$$

Визначаємо коефіцієнт полінома a_k= див. Рисунок. 2.4 та 2.5

a_1= 2.8785

a_2= -3.1586

a_3= 1.7454

a_4= -0.529

a_5= 6.374*10^2

Визначаємо зовнішню нормальну силу і згинальний момент;

N=0

M=14.1468(0.22-0.11+0.11)= 3.11

Визначаємо за умовою для першої форми рівноваги див. Рис 2.3

(див.Формулу 2.1 та 2.2)

$$\frac{bf_{cd}}{\overline{\aleph}} \sum_{k+1}^{5} \frac{a_k}{k+1} \left(\frac{\varepsilon_{c(1)}^{k+1} - \varepsilon_{c(2)}^{k+1}}{\varepsilon_{c1}^{k+1}}\right) - N = 0$$

$$\frac{6 * 14.5}{0.583} \sum_{1+1}^{5} \frac{2.8785}{1+1} \left(\frac{0.222^2 - 0}{1.73^2}\right) - 0 = 14.1468$$

$$\frac{bf_{cd}}{\overline{\aleph}^2}\sum_{k+1}^{5}\frac{a_k}{k+2}\left(\frac{\varepsilon_{c(1)}^{k+2}-\varepsilon_{c(2)}^{k+2}}{\varepsilon_{c1}^{k+2}}\right)-M=0$$

$$\frac{6*14.5}{0.583^2}\sum_{1+1}^{5}\frac{2.8785}{1+2}\left(\frac{0.222^3-0^3}{1.73^3}\right)-3.11=-318.214<0$$

Зліва меньше нуля. Отже тут використовуємо ІІ-у форму рівноваги (див.Формулу 2.3 та 2.4), тобто частина перерізу розтягнута.

3 -й крок

Визначаємо першу точку на діаграммі стану перерізу:

1.Змінюємо значення деформацій та підставляємо у Формули 2.3 та 2.4

$$\varepsilon_{c(1)}=\Delta\varepsilon_{c(1)}^{(1)}=0.222$$

$$\Delta\varepsilon_{c(2)}^{(1)}=\varepsilon_{c(2)}^{(0)}+\Delta\varepsilon_{c(2)}=0+(-0.00222)=-0.00222$$

з величиною зменшення деформації

$$\Delta\varepsilon_{c(2)}=-0.01\Delta\varepsilon_{cu1}=-0.01*0.222=-0.00222$$

Визначаємо першу точку на діаграммі. див. Формули 2.3 та 2.4

$$\frac{6*14.5}{0.589}\sum_{2}^{5}\frac{2.8785}{1+1}*0.128^2-6*0.973(0.22-0.217-\frac{0.217*0.973}{2*18.5*0.78})-0$$
$$=28.61$$

$$\frac{6*14.5}{0.589^2}\sum_{2}^{5}\frac{2.8785}{1+2}*0.128^3-\frac{1}{2}6*0.973(0.22-0.217)^2$$
$$+\frac{1}{3}6*0.217^2\frac{0.937^3}{18.5^2*0.78^2}-6.54=-4828.67$$

$$x_1=\frac{\varepsilon_{c(1)}}{\aleph}=\frac{0.222}{1.019}=0.217$$

$$\aleph=\frac{\varepsilon_{c(1)}-\varepsilon_{c(2)}}{h}=\frac{0.222-(-0.00222)}{0.22}=1.019$$

$$\overline{\aleph}=\frac{\aleph}{\varepsilon_{c1}}=\frac{1.019}{1.73}=0.589$$

$$\gamma=\varepsilon_{c(1)}/\varepsilon_{c1}=\frac{0.222}{1.73}=0.128$$

e = 1(0.217-0.11+0)=0.107

N=0

M=28.61 (0.22-0.11+0.107)= 6.54

2. Змінюємо значення деформацій

$$\Delta\varepsilon_{c(2)}^{(2)} = \varepsilon_{c(2)}^{(1)} + \Delta\varepsilon_{c(2)} = (-0.00222) + (-0.00444) = -0.00666$$

$$\Delta\varepsilon_{c(2)} = -0.02\Delta\varepsilon_{cu1} = -0.02 * 0.222 = -0.00444$$

Визначаємо рівняння:

$$\frac{6 * 14.5}{0.6^2}\sum_{2}^{5}\frac{2.8785}{1+2} * 0.128^3 - \frac{1}{2}6 * 0.973(0.22 - 0.213)^2$$

$$+\frac{1}{3}6 * 0.213^2\frac{0.973^3}{18.5^2 * 0.78^2} - 6.54 = -4297.48$$

$$x_1 = \frac{\varepsilon_{c(1)}}{\aleph} = \frac{0.222}{1{,}039} = 0.213$$

$$\aleph = \frac{\varepsilon_{c(1)} - \varepsilon_{c(2)}}{h} = \frac{0.222 - (-0.00666)}{0.22} = 1.039$$

$$\overline{\aleph} = \frac{\aleph}{\varepsilon_{c1}} = \frac{1.039}{1.73} = 0.6$$

$$\gamma = \varepsilon_{c(1)}/\varepsilon_{c1} = \frac{0.222}{1.73} = 0.128$$

e = 1(0.217-0.11+0)=0.107

N=0

M=28.61 (0.22-0.11+0.107)= 6.54

3. Змінюємо значення деформацій

$$\Delta\varepsilon_{c(2)}^{(3)} = \varepsilon_{c(2)}^{(2)} + \Delta\varepsilon_{c(2)} = (-0.00666) + (-0.00666) = -0.0133$$

$$\Delta\varepsilon_{c(2)} = -0.02\Delta\varepsilon_{cu1} = -0.03 * 0.222 = -0.00666$$

Визначаємо рівняння:

$$\frac{6 * 14.5}{0.617^2}\sum_{2}^{5}\frac{2.8785}{1+2} * 0.128^3 - \frac{1}{2}6 * 0.973(0.22 - 0.207)^2$$

$$+\frac{1}{3}6 * 0.207^2\frac{0.973^3}{18.5^2 * 0.78^2} - 6.11 = -3524.82$$

$$x_1 = \frac{\varepsilon_{c(1)}}{\aleph} = \frac{0.222}{1{,}069} = 0.207$$

$$\aleph = \frac{\varepsilon_{c(1)} - \varepsilon_{c(2)}}{h} = \frac{0.222 - (-0.0133)}{0.22} = 1.069$$

$$\overline{\aleph} = \frac{\aleph}{\varepsilon_{c1}} = \frac{1.069}{1.73} = 0.617$$

$$\gamma = \varepsilon_{c(1)}/\varepsilon_{c1} = \frac{0.222}{1.73} = 0.128$$

e = 1(0.207-0.11+0)=0.097

N=0

M=28.61 (0.22-0.11+0.097)= 6.11

4. Змінюємо значення деформацій

$$\Delta\varepsilon_{c(2)}^{(4)} = \varepsilon_{c(2)}^{(3)} + \Delta\varepsilon_{c(2)} = (-0.0133) + (-0.00888) = -0.0222$$

$$\Delta\varepsilon_{c(2)} = -0.02\Delta\varepsilon_{cu1} = -0.04 * 0.222 = -0.00888$$

Визначаємо рівняння:

$$\frac{6 * 14.5}{0.64^2}\sum_{2}^{5}\frac{2.8785}{1+2} * 0.128^3 - \frac{1}{2}6 * 0.973(0.22 - 0.2)^2$$

$$+\frac{1}{3}6 * 0.2^2\frac{0.973^3}{18.5^2 * 0.78^2} - 6.11 = -2897.19$$

$$x_1 = \frac{\varepsilon_{c(1)}}{\aleph} = \frac{0.222}{1{,}11} = 0.2$$

$$\aleph = \frac{\varepsilon_{c(1)} - \varepsilon_{c(2)}}{h} = \frac{0.222 - (-0.0222)}{0.22} = 1.11$$

$$\overline{\aleph} = \frac{\aleph}{\varepsilon_{c1}} = \frac{1.11}{1.73} = 0.64$$

$$\gamma = \varepsilon_{c(1)}/\varepsilon_{c1} = \frac{0.222}{1.73} = 0.128$$

e = 1(0.2-0.11+0)=0.09

N=0

M=28.61 (0.22-0.11+0.097)= 6.11

5. Змінюємо значення деформацій

$$\Delta\varepsilon_{c(2)}^{(5)} = \varepsilon_{c(2)}^{(4)} + \Delta\varepsilon_{c(2)} = (-0.0222) + (-0.0111) = -0.0333$$

$$\Delta\varepsilon_{c(2)} = -0.02\Delta\varepsilon_{cu1} = -0.05 * 0.222 = -0.0111$$

Визначаємо рівняння:

$$\frac{6 * 14.5}{0.67^2}\sum_{2}^{5}\frac{2.8785}{1+2} * 0.128^3 - \frac{1}{2}6 * 0.973(0.22 - 0.19)^2 + \frac{1}{3}6 * 0.19^2\frac{0.973^3}{18.5^2 * 0.78^2} - 5.85 = -1976.75$$

$$x_1 = \frac{\varepsilon_{c(1)}}{\aleph} = \frac{0.222}{1{,}11} = 0.19$$

$$\aleph = \frac{\varepsilon_{c(1)} - \varepsilon_{c(2)}}{h} = \frac{0.222 - (-0.0333)}{0.22} = 1.16$$

$$\overline{\aleph} = \frac{\aleph}{\varepsilon_{c1}} = \frac{1.16}{1.73} = 0.67$$

$$\gamma = \varepsilon_{c(1)}/\varepsilon_{c1} = \frac{0.222}{1.73} = 0.128$$

e = 1(0.19-0.11+0)=0.08

N=0

M=28.61 (0.22-0.11+0.08)= 5.85

6. Змінюємо значення деформацій

$$\Delta\varepsilon_{c(2)}^{(6)} = \varepsilon_{c(2)}^{(5)} + \Delta\varepsilon_{c(2)} = (-0.0333) + (-0.0133) = -0.0466$$

$$\Delta\varepsilon_{c(2)} = -0.02\Delta\varepsilon_{cu1} = -0.06 * 0.222 = -0.0133$$

Визначаємо рівняння:

$$\frac{6 * 14.5}{0.7^2}\sum_{2}^{5}\frac{2.8785}{1+2} * 0.128^3 - \frac{1}{2}6 * 0.973(0.22 - 0.18)^2 + \frac{1}{3}6 * 0.18^2\frac{0.973^3}{18.5^2 * 0.78^2} - 5.49 = -917.42$$

$$x_1 = \frac{\varepsilon_{c(1)}}{\aleph} = \frac{0.222}{1{,}22} = 0.18$$

$$\aleph = \frac{\varepsilon_{c(1)} - \varepsilon_{c(2)}}{h} = \frac{0.222 - (-0.0466)}{0.22} = 1.22$$

$$\overline{\aleph} = \frac{\aleph}{\varepsilon_{c1}} = \frac{1.22}{1.73} = 0.7$$

$$\gamma = \varepsilon_{c(1)}/\varepsilon_{c1} = \frac{0.222}{1.73} = 0.128$$

e = 1(0.18-0.11+0)=0.067

N=0

M=28.61 (0.22-0.11+0.067)= 5.49

7. Змінюємо значення деформацій

$$\Delta\varepsilon_{c(2)}^{(7)} = \varepsilon_{c(2)}^{(6)} + \Delta\varepsilon_{c(2)} = (-0.0466) + (-0.0155) = -0.0621$$

$$\Delta\varepsilon_{c(2)} = -0.02\Delta\varepsilon_{cu1} = -0.07 * 0.222 = -0.0155$$

Визначаємо рівняння:

$$\frac{6 * 14.5}{0.74^2}\sum_{2}^{5}\frac{2.8785}{1+2} * 0.128^3 - \frac{1}{2}6 * 0.973(0.22 - 0.17)^2$$

$$+\frac{1}{3}6 * 0.17^2\frac{0.973^3}{18.5^2 * 0.78^2} - 4.92 = -482.86$$

$$x_1 = \frac{\varepsilon_{c(1)}}{\aleph} = \frac{0.222}{1{,}29} = 0.17$$

$$\aleph = \frac{\varepsilon_{c(1)} - \varepsilon_{c(2)}}{h} = \frac{0.222 - (-0.0621)}{0.22} = 1.29$$

$$\overline{\aleph} = \frac{\aleph}{\varepsilon_{c1}} = \frac{1.29}{1.73} = 0.74$$

$$\gamma = \varepsilon_{c(1)}/\varepsilon_{c1} = \frac{0.222}{1.73} = 0.128$$

e = 1(0.18-0.11+0)=0.052

N=0

M=28.61 (0.22-0.11+0.052)= 4.92

8. Змінюємо значення деформацій

$$\Delta\varepsilon_{c(2)}^{(8)} = \varepsilon_{c(2)}^{(7)} + \Delta\varepsilon_{c(2)} = (-0.0621) + (-0.0177) = -0.08$$

$$\Delta\varepsilon_{c(2)} = -0.02\Delta\varepsilon_{cu1} = -0.08 * 0.222 = -0.0177$$

Визначаємо рівняння:

$$\frac{6 * 14.5}{0.77^2} \sum_2^5 \frac{2.8785}{1+2} * 0.128^3 - \frac{1}{2} 6 * 0.973(0.22 - 0.16)^2$$

$$+ \frac{1}{3} 6 * 0.16^2 \frac{0.973^3}{18.5^2 * 0.78^2} - 4.85 = 41.54$$

$$x_1 = \frac{\varepsilon_{c(1)}}{\aleph} = \frac{0.222}{1{,}37} = 0.16$$

$$\aleph = \frac{\varepsilon_{c(1)} - \varepsilon_{c(2)}}{h} = \frac{0.222 - (-0.08)}{0.22} = 1.37$$

$$\overline{\aleph} = \frac{\aleph}{\varepsilon_{c1}} = \frac{1.37}{1.73} = 0.74$$

$$\gamma = \varepsilon_{c(1)} / \varepsilon_{c1} = \frac{0.222}{1.73} = 0.128$$

e = 1(0.16-0.11+0)=0.05

N=0

M=28.61 (0.22-0.11+0.05)= 4.85

"Врівноважуємо" переріз, отримаємо момент для першого кроку M = 41.54 кНм

4 -й крок

Визначаємо наступні точки на діаграммі стану перерізу:

Змінюємо значення деформацій та підставляємо у Формули 2.3 та 2.4

Перераховуємо з новими значеннями $\Delta\varepsilon_{c(1)}$.

Для наступних точок діаграми збільшуємо деформацію більшої стиснутої грані:

1. Змінюємо значення деформацій

$$\Delta\varepsilon_{c(1)}^{(1)} = \Delta\varepsilon_{c(1)}^{(0)} + \Delta\varepsilon_{c(1)},$$

$$\Delta\varepsilon_{c(1)} = 0.01\varepsilon_{cu1}$$

$$\Delta\varepsilon_{c(1)}^{(1)} = 0.222 + 0.0222 = 0.2442$$

$$\Delta\varepsilon_{c(2)}^{(1)} = \varepsilon_{c(2)}^{(0)} + \Delta\varepsilon_{c(2)} = 0 + (-0.00222) = -0.00222$$

$$\aleph = \frac{\varepsilon_{c(1)}-\varepsilon_{c(2)}}{h} = \frac{0.2442-(-0.00222)}{0.22} = 1.12$$

$$x_1 = \frac{\varepsilon_{c(1)}}{\aleph} = \frac{0.2442}{1.12} = 0.21$$

$$\overline{\aleph} = \frac{\aleph}{\varepsilon_{c1}} = \frac{1.12}{1.73} = 0.64$$

$$\gamma = \varepsilon_{c(1)}/\varepsilon_{c1} = \frac{0.2442}{1.73} = 0.141$$

e = 1(0.21-0.11+0)=0.1

M=28.61 (0.21-0.11+0.1)= 6.39

$$\frac{6 * 14.5}{0.64^2}\sum_{2}^{5}\frac{2.8785}{1+2} * 0.141^3 - \frac{1}{2}6 * 0.973(0.22-0.21)^2 + \frac{1}{3}6 * 0.21^2\frac{0.973^3}{18.5^2 * 0.78^2} - 6.39 = 41.54$$

2. Змінюємо значення деформацій

$$\Delta\varepsilon_{c(2)}^{(2)} = \varepsilon_{c(2)}^{(1)} + \Delta\varepsilon_{c(2)} = (-0.00222) + (-0.00444) = -0.00666$$

$$\Delta\varepsilon_{c(1)}^{(2)} = 0.2442 + 0.0222 = 0.2664$$

$$\aleph = \frac{\varepsilon_{c(1)}-\varepsilon_{c(2)}}{h} = \frac{0.2664-(-0.00666)}{0.22} = 1.24$$

$$x_1 = \frac{\varepsilon_{c(1)}}{\aleph} = \frac{0.2664}{1.24} = 0.21$$

$$\overline{\aleph} = \frac{\aleph}{\varepsilon_{c1}} = \frac{1.24}{1.73} = 0.71$$

$$\gamma = \varepsilon_{c(1)}/\varepsilon_{c1} = \frac{0.2664}{1.73} = 0.15$$

e = 1(0.21 -0.11+0)=0.1

M=28.61 (0.21-0.11+ 0.11)= 6.61

$$\frac{6 * 14.5}{0.71^2}\sum_{2}^{5}\frac{2.8785}{1+2} * 0.15^3 - \frac{1}{2}6 * 0.973(0.22-0.21)^2 + \frac{1}{3}6 * 0.21^2\frac{0.973^3}{18.5^2 * 0.78^2} - 6.61 = 53.28$$

3. Змінюємо значення деформацій

$$\Delta\varepsilon_{c(2)}^{(3)} = \varepsilon_{c(2)}^{(2)} + \Delta\varepsilon_{c(2)} = (-0.00666) + (-0.00666) = -0.0133$$

$$\Delta\varepsilon_{c(1)}^{(3)} = 0.2664 + 0.0222 = 0.2886$$

$$\aleph = \frac{\varepsilon_{c(1)} - \varepsilon_{c(2)}}{h} = \frac{0.2886 - (-0.0133)}{0.22} = 1.37$$

$$x_1 = \frac{\varepsilon_{c(1)}}{\aleph} = \frac{0.2886}{1.37} = 0.21$$

$$\overline{\aleph} = \frac{\aleph}{\varepsilon_{c1}} = \frac{1.37}{1.73} = 0.79$$

$$\gamma = \varepsilon_{c(1)}/\varepsilon_{c1} = \frac{0.2886}{1.73} = 0.16$$

e = 1(0.21 -0.11+0)=0.11

M=28.61 (0.21 -0.11+ 0.11)= 6.61

$$\frac{6 * 14.5}{0.79^2}\sum_{2}^{5}\frac{2.8785}{1+2} * 0.16^3 - \frac{1}{2}6 * 0.973(0.22 - 0.21)^2$$

$$+\frac{1}{3}6 * 0.21^2\frac{0.973^3}{18.5^2 * 0.78^2} - 6.61 = 59.41$$

4. Змінюємо значення деформацій

$$\Delta\varepsilon_{c(2)}^{(4)} = \varepsilon_{c(2)}^{(3)} + \Delta\varepsilon_{c(2)} = (-0.0133) + (-0.00888) = -0.0222$$

$$\Delta\varepsilon_{c(1)}^{(4)} = 0.2886 + 0.0222 = 0.3108$$

$$\aleph = \frac{\varepsilon_{c(1)} - \varepsilon_{c(2)}}{h} = \frac{0.3108 - (-0.0222)}{0.22} = 1.51$$

$$x_1 = \frac{\varepsilon_{c(1)}}{\aleph} = \frac{0.3108}{1.51} = 0.2$$

$$\overline{\aleph} = \frac{\aleph}{\varepsilon_{c1}} = \frac{1.51}{1.73} = 0.87$$

$$\gamma = \varepsilon_{c(1)}/\varepsilon_{c1} = \frac{0.3108}{1.73} = 0.18$$

e = 1(0.2 -0.11+0)=0.09

M=28.61 (0.21 -0.11+0.09)= 5.92

$$\frac{6*14.5}{0.87^2}\sum_2^5\frac{2.8785}{1+2}*0.18^3-\frac{1}{2}6*0.973(0.22-0.2)^2$$
$$+\frac{1}{3}6*0.2^2\frac{0.973^3}{18.5^2*0.78^2}-5.92=62.54$$

5. Змінюємо значення деформацій

$$\Delta\varepsilon_{c(2)}^{(5)}=\varepsilon_{c(2)}^{(4)}+\Delta\varepsilon_{c(2)}=(-0.0222)+(-0.0111)=-0.0333$$

$$\Delta\varepsilon_{c(1)}^{(5)}=0.3108+0.0222=0.333$$

$$\aleph=\frac{\varepsilon_{c(1)}-\varepsilon_{c(2)}}{h}=\frac{0.333-(-0.0333)}{0.22}=1.52$$

$$x_1=\frac{\varepsilon_{c(1)}}{\aleph}=\frac{0.333}{1.52}=0.21$$

$$\overline{\aleph}=\frac{\aleph}{\varepsilon_{c1}}=\frac{1.52}{1.73}=0.87$$

$$\gamma=\varepsilon_{c(1)}/\varepsilon_{c1}=\frac{0.333}{1.73}=0.19$$

e = 1(0.21 -0.11+0)=0.1

M=28.61 (0.21-0.11+ 0.1)= 6.39

$$\frac{6*14.5}{0.87^2}\sum_2^5\frac{2.8785}{1+2}*0.19^3-\frac{1}{2}6*0.973(0.22-0.21)^2$$
$$+\frac{1}{3}6*0.21^2\frac{0.973^3}{18.5^2*0.78^2}-6.39=72.31$$

6. Змінюємо значення деформацій

$$\Delta\varepsilon_{c(2)}^{(6)}=\varepsilon_{c(2)}^{(5)}+\Delta\varepsilon_{c(2)}=(-0.0333)+(-0.0133)=-0.0466$$

$$\Delta\varepsilon_{c(1)}^{(6)}=0.333+0.0222=0.3552$$

$$\aleph=\frac{\varepsilon_{c(1)}-\varepsilon_{c(2)}}{h}=\frac{0.3552-(-0.0466)}{0.22}=1.82$$

$$x_1=\frac{\varepsilon_{c(1)}}{\aleph}=\frac{0.3552}{1.82}=0.19$$

$$\overline{\aleph}=\frac{\aleph}{\varepsilon_{c1}}=\frac{1.82}{1.73}=1.05$$

$$\gamma = \varepsilon_{c(1)}/\varepsilon_{c1} = \frac{0.3552}{1.73} = 0.2$$

e = 1(0.19-0.11+0)=0.08

M=28.61 (0.19 -0.11+0.08)= 5.85

$$\frac{6 * 14.5}{1.05^2}\sum_{2}^{5}\frac{2.8785}{1+2} * 0.2^3 - \frac{1}{2}6 * 0.973(0.22 - 0.19)^2$$

$$+\frac{1}{3}6 * 0.19^2\frac{0.973^3}{18.5^2 * 0.78^2} - 5.85 = 75.92$$

7. Змінюємо значення деформацій

$$\Delta\varepsilon_{c(2)}^{(7)} = \varepsilon_{c(2)}^{(6)} + \Delta\varepsilon_{c(2)} = (-0.0466) + (-0.0155) = -0.0621$$

$$\Delta\varepsilon_{c(1)}^{(7)} = 0.3552 + 0.0222 = 0.3774$$

$$\aleph = \frac{\varepsilon_{c(1)} - \varepsilon_{c(2)}}{h} = \frac{0.3774 - (-0.0621)}{0.22} = 1.99$$

$$x_1 = \frac{\varepsilon_{c(1)}}{\aleph} = \frac{0.3774}{1.99} = 0.19$$

$$\overline{\aleph} = \frac{\aleph}{\varepsilon_{c1}} = \frac{1.99}{1.73} = 1.15$$

$$\gamma = \varepsilon_{c(1)}/\varepsilon_{c1} = \frac{0.3774}{1.73} = 0.21$$

e = 1(0.19-0.11+0)=0.08

M=28.61 (0.19-0.11+0.08)= 5.85

$$\frac{6 * 14.5}{1.15^2}\sum_{2}^{5}\frac{2.8785}{1+2} * 0.21^3 - \frac{1}{2}6 * 0.973(0.22 - 0.19)^2$$

$$+\frac{1}{3}6 * 0.19^2\frac{0.973^3}{18.5^2 * 0.78^2} - 5.85 = 77.24$$

8. Змінюємо значення деформацій

$$\Delta\varepsilon_{c(2)}^{(8)} = \varepsilon_{c(2)}^{(7)} + \Delta\varepsilon_{c(2)} = (-0.0621) + (-0.0177) = -0.08$$

$$\Delta\varepsilon_{c(1)}^{(8)} = 0.3774 + 0.0222 = 0.3996$$

$$\aleph = \frac{\varepsilon_{c(1)} - \varepsilon_{c(2)}}{h} = \frac{0.3996 - (-0.08)}{0.22} = 2.18$$

$$x_1 = \frac{\varepsilon_{c(1)}}{\aleph} = \frac{0.3996}{2.18} = 0.18$$

$$\overline{\aleph} = \frac{\aleph}{\varepsilon_{c1}} = \frac{2.18}{1.73} = 1.26$$

$$\gamma = \varepsilon_{c(1)}/\varepsilon_{c1} = \frac{0.3996}{1.73} = 0.23$$

e = 1(0.18 -0.11+0)=0.07

M=28.61(0.18 -0.11+0.07)= 5.62

$$\frac{6 * 14.5}{1.26^2}\sum_{2}^{5}\frac{2.8785}{1+2} * 0.23^3 - \frac{1}{2}6 * 0.973(0.22 - 0.18)^2$$

$$+\frac{1}{3}6 * 0.18^2\frac{0.973^3}{18.5^2 * 0.78^2} - 5.62 = 76.84$$

Результати заносимо у таблицю

Таблицю 3.3 – Результати розрахунтку для базальтової фібри

Крок	Момент, кНм	Кривизна, 1/r
1	41.54	0.00222
2	53.28	0.00666
3	59.41	0.0133
4	62.54	0.0222
5	72.31	0.0333
6	75.92	0.0466
7	77.24	0.0621
8	76.84	0.0805

За результатами розрахунку будуємо графік "момент-кривизна" (рис.3.3).

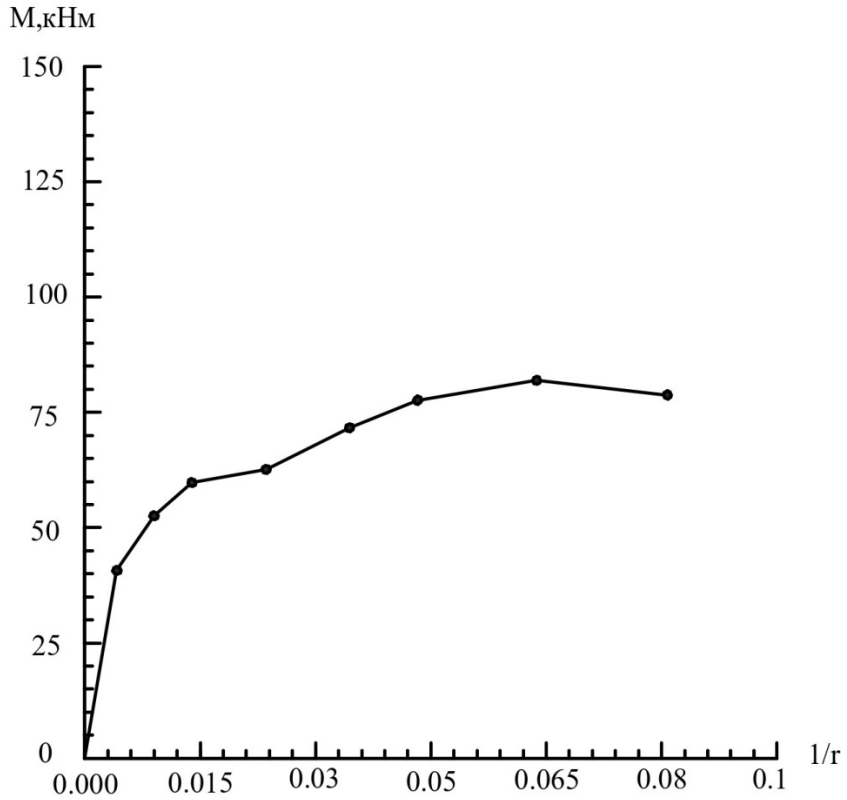


Рисунок 3.3. Графік "момент-кривизна" базальтової фібри

Зафіксоване на цьому графіку найбільше значення згинального моменту Mmax = 77 кНм і буде несучою здатністю перерізу.

3.4 Розрахунки кошторисів для порівняння економічної цінності

При розробці кошторисів були пропущенні однакові роботи а саме: монтаж опалубки.

3.4.1 Розрахунок кошторису для монолітної плити перекриття з фібробетону армованого сталевою фіброю

Форма № 1

Плита перекриття(Магістерська робота)

Локальний кошторис на будівельні роботи № 3-4-1

на Стальна фібра

Монолітна плита перекриття фібробетон(Стальна фібра)

Основа:
креслення (специфікації) №

Кошторисна вартість	10,539	тис. грн.
Кошторисна трудомісткість	0,006	тис.люд.-год.
Кошторисна заробітна плата	0,136	тис. грн.
Середній розряд робіт	3,4	розряд

Складений в поточних цінах станом на “30 листопада” 2024 р.

№ п/п	Обґрунтування (шифр норми)	Найменування робіт і витрат	Одиниця виміру	Кількість	Вартість одиниці, грн.		Загальна вартість, грн.			Витрати труда робітників, люд.-год.	
					Всього	експлуатації машин	Всього	заробітної плати	експлуатації машин	не зайнятих обслуговуваням машин	
					заробітної плати	в тому числі заробітної плати			в тому числі заробітної плати	тих, що обслуговують машини	
										на одиницю	всього
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		Розділ 1. Монолітна плита з фібробетону(сталева фібра)									
1	*ЕД6-66-13*	*Укладання бет онної суміші в конст рукції*	*100м3*	*0,0198*	*527646,27*	*8298,45*	*10447*	*72*	*164*	*186*	*3,68*

		бет ононасосами. Плит и і ребрист і перекрит т я при площі між балками, м2, до 10			*3613,98*	*2123,01*			*42*	*100,44*	*1,99*
		Разом прямі витрати по розділу 1					10447	72	164 42	-	3,68 1,99
		Разом будівельні роботи, грн.					10447				
		в тому числі:									
		вартість матеріалів, виробів та конструкцій, грн.					10211				
		всього заробітна плата, грн.					114				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		Загальновиробничі витрати, грн.					92				
		трудомісткість в загальновиробничих витратах, люд.год.					0,68				
		заробітна плата в загальновиробничих витратах, грн.					22				
		Всього будівельні роботи, грн.					**10539**				
		_ _									
		Всього по розділу 1					**10539**				
		Разом прямі витрати по кошторису					10447	72	164 42	-	3,68 1,99
		Разом будівельні роботи, грн.					10447				
		в тому числі:									
		вартість матеріалів, виробів та конструкцій, грн.					10211				
		всього заробітна плата, грн.					114				
		Загальновиробничі витрати, грн.					92				
		трудомісткість в загальновиробничих витратах, люд.год.					0,68				
		заробітна плата в загальновиробничих витратах, грн.					22				
		Всього будівельні роботи, грн.					**10539**				

		Всього по кошторису	10539				
		Кошторисна трудомісткість, люд.год. Кошторисна заробітна плата, грн.	6 136				

3.4.2 Розрахунок кошторису для монолітної плити перекриття з фібробетону армованого поліпропіленовою фіброю

Форма № 1

Плита перекриття(Магістерська робота)

Локальний кошторис на будівельні роботи № 3-4-2

на Поліпропіленова фібра PoliArm TM Fiber

Монолітна плита перекриття фібробетон(Поліпропіленова фібра PoliArm TM Fiber)

Основа:
креслення (специфікації) №

Кошторисна вартість	16,776	тис. грн.
Кошторисна трудомісткість	0,006	тис.люд.-год.
Кошторисна заробітна плата	0,136	тис. грн.
Середній розряд робіт	3,4	розряд

Складений в поточних цінах станом на “30 листопада” 2024 р.

№ п/п	Обґрунтування	Найменування робіт і витрат	Одиниця виміру	Кількість	Вартість одиниці, грн.	Загальна вартість, грн.	Витрати труда робітників, люд.-год.

	(шифр норми)				Всього	експлуатації машин	Всього	заробітної плати	експлуатації машин	не зайнятих обслуговуваним машин	
					заробітної плати	в тому числі заробітної плати			в тому числі заробітної плати	тих, що обслуговують машини	
										на одиницю	всього
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		Розділ 1. Монолітна плита з фібробетону(поліпропіленова фібра)									
1	*ЕД6-66-13*	*Укладання бет онної суміші в конст рукції бет ононасосами. Плит и і ребрист і перекрит т я при площі між балками, м2, до 10*	*100м3*	*0,0198*	*842646,27* *3613,98*	*8298,45* *2123,01*	*16684*	*72*	*164* *42*	*186* *100,44*	*3,68* *1,99*
		Разом прямі витрати по розділу 1					16684	72	164 42	-	3,68 1,99
		Разом будівельні роботи, грн.					16684				
		в тому числі:									
		вартість матеріалів, виробів та конструкцій, грн.					16448				
		всього заробітна плата, грн.					114				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		Загальновиробничі витрати, грн.					92				
		трудомісткість в загальновиробничих витратах, люд.год.					0,68				
		заробітна плата в загальновиробничих витратах, грн.					22				
		Всього будівельні роботи, грн.					**16776**				

		– **Всього по розділу 1**	**16776**				
		Разом прямі витрати по кошторису	16684	72	164 42	-	3,68 1,99
		Разом будівельні роботи, грн.	16684				
		в тому числі:					
		вартість матеріалів, виробів та конструкцій, грн.	16448				
		всього заробітна плата, грн.	114				
		Загальновиробничі витрати, грн.	92				
		трудомісткість в загальновиробничих витратах, люд.год.	0,68				
		заробітна плата в загальновиробничих витратах, грн.	22				
		Всього будівельні роботи, грн.	**16776**				
		– **Всього по кошторису**	**16776**				
		Кошторисна трудомісткість, люд.год.	**6**				
		Кошторисна заробітна плата, грн.	**136**				

3.4.3 Розрахунок кошторису для монолітної плити перекриття з фібробетону армованого базальтовою фіброю

Форма № 1

Плита перекриття(Магістерська робота)

Локальний кошторис на будівельні роботи № 3-4-3

на Фібра базальтова Technobasalt

Монолітна плита перекриття фібробетон(Фібра базальтова Technobasalt)

Основа:

креслення (специфікації) №

Кошторисна вартість	18,261	тис. грн.
Кошторисна трудомісткість	0,006	тис.люд.-год.
Кошторисна заробітна плата	0,136	тис. грн.
Середній розряд робіт	3,4	розряд

Складений в поточних цінах станом на “30 листопада” 2024 р.

№ п/п	Обґрунтування (шифр норми)	Найменування робіт і витрат	Одиниця виміру	Кількість	Вартість одиниці, грн.		Загальна вартість, грн.			Витрати труда робітників, люд.-год.	
					Всього	експлуатації машин	Всього	заробітної плати	експлуатації машин	не зайнятих обслуговуваням машин	
					заробітної плати	в тому числі заробітної плати			в тому числі заробітної плати	тих, що обслуговують машини	
										на одиницю	всього
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

		Розділ 1. Монолітна плита з фібробетону(базальтова фібра)									
1	*ЕД6-66-13*	*Укладання бет онної суміші в конст рукції бет ононасосами. Плит и і ребрист і перекрит т я при площі між балками, м2, до 10*	*100м3*	*0,0198*	*917646,27* *3613,98*	*8298,45* *2123,01*	*18169*	*72*	*164* *42*	*186* *100,44*	*3,68* *1,99*
		Разом прямі витрати по розділу 1					18169	72	164 42	-	3,68 1,99
		Разом будівельні роботи, грн.					18169				
		в тому числі:									
		вартість матеріалів, виробів та конструкцій, грн.					17933				
		всього заробітна плата, грн.					114				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		Загальновиробничі витрати, грн.					92				
		трудомісткість в загальновиробничих витратах, люд.год.					0,68				
		заробітна плата в загальновиробничих витратах, грн.					22				
		Всього будівельні роботи, грн.					**18261**				
		– –									
		Всього по розділу 1					**18261**				
		Разом прямі витрати по кошторису					18169	72	164 42	-	3,68 1,99
		Разом будівельні роботи, грн.					18169				
		в тому числі:									
		вартість матеріалів, виробів та конструкцій, грн.					17933				
		всього заробітна плата, грн.					114				

		Загальновиробничі витрати, грн. трудомісткість в загальновиробничих витратах, люд.год. заробітна плата в загальновиробничих витратах, грн. **Всього будівельні роботи, грн.** – **Всього по кошторису**	92 0,68 22 **18261** **18261**				
		Кошторисна трудомісткість, люд.год. **Кошторисна заробітна плата, грн.**	**6** **136**				

3.4.4 Розрахунок кошторису для збірної з/б плити перекриття

Форма № 1

Плита перекриття(Магістерська робота)

Локальний кошторис на будівельні роботи № 3-4-4

на Загально будівельні роботи

Плита перекриття(Збірна)

Основа:
креслення (специфікації) №

Кошторисна вартість	7,274	тис. грн.
Кошторисна трудомісткість	0,004	тис.люд.-год.
Кошторисна заробітна плата	0,073	тис. грн.
Середній розряд робіт	3,5	розряд

Складений в поточних цінах станом на “5 квітня” 2023 р.

№ п/п	Обґрунтування (шифр норми)	Найменування робіт і витрат	Одиниця виміру	Кількість	Вартість одиниці, грн.		Загальна вартість, грн.			Витрати труда робітників, люд.-год.	
					Всього	експлуатації машин	Всього	заробітної плати	експлуатації машин	не зайнятих обслуговуваним машин	
					заробітної плати	в тому числі заробітної плати			в тому числі заробітної плати	тих, що обслуговують машини	
										на одиницю	всього
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		Розділ 1. Збірна з/б плита									
1	*Е7-3-4*	*Укладання плит перекрит т я площею до 5 м2 при найбільшій масі монт ажних елемент ів до 5 т*	*100шт*	*0,01*	*27166,62* *4366,01*	*5899,28* *1749,02*	*272*	*44*	*59* *17*	*221,85* *91,3911*	*2,22* *0,91*
2	К584211-3026 варіант 1	Панелі перекриття залізобетонні багатопустотні марки ПК60.15-8ВР2Т серія 1.141-1 вип.66	шт	1	6951,34 -	- -	6951	-	- -	- -	- -
		Разом прямі витрати по розділу 1					7223	44	59 17	-	2,22 0,91
		Разом будівельні роботи, грн.					7223				
		в тому числі:									
		вартість матеріалів, виробів та конструкцій, грн.					7120				
		всього заробітна плата, грн.					61				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

		Загальновиробничі витрати, грн. трудомісткість в загальновиробничих витратах, люд.год. заробітна плата в загальновиробничих витратах, грн. **Всього будівельні роботи, грн.** – **Всього по розділу 1**	51 0,38 12 **7274** **7274**				
		Разом прямі витрати по кошторису Разом будівельні роботи, грн. в тому числі: вартість матеріалів, виробів та конструкцій, грн. всього заробітна плата, грн. Загальновиробничі витрати, грн. трудомісткість в загальновиробничих витратах, люд.год. заробітна плата в загальновиробничих витратах, грн. **Всього будівельні роботи, грн.** – **Всього по кошторису**	7223 7223 7120 61 51 0,38 12 **7274** **7274**	44	59 17	-	2,22 0,91
		Кошторисна трудомісткість, люд.год. **Кошторисна заробітна плата, грн.**	**4** **73**				

3.4.5.1 Розрахунок кошторису для монолітної плити перекриття з бетону армованого сталевою арматурою

Форма № 1

Плита перекриття(Магістерська робота)

Локальний кошторис на будівельні роботи № 3-4-5

на Арматура

Монолітна плита перекриття арматура

Основа:
креслення (специфікації) №

Кошторисна вартість	10,800	тис. грн.
Кошторисна трудомісткість	0,033	тис.люд.-год.
Кошторисна заробітна плата	0,698	тис. грн.
Середній розряд робіт	3,7	розряд

Складений в поточних цінах станом на “30 листопада” 2024 р.

№ п/п	Обґрунтування (шифр норми)	Найменування робіт і витрат	Одиниця виміру	Кількість	Вартість одиниці, грн.		Загальна вартість, грн.			Витрати труда робітників, люд.-год.	
					Всього	експлуатації машин	Всього	заробітної плати	експлуатації машин	не зайнятих обслуговуваням машин	
					заробітної плати	в тому числі заробітної плати			в тому числі заробітної плати	тих, що обслуговують машини	
										на одиницю	всього
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		Розділ 1. Монолітна плита									
1	*ЕД6-61-26*	*Вст ановлення армат урних сіт ок і каркасів*	*т*	*1*	*4335,43*	*45,99*	*4335*	*457*	*46*	*22,67*	*22,67*

		в перекрит т ях вручну, маса елемент а, кг до 20			*456,57*	*14,32*			*14*	*0,765*	*0,77*
2	*ЕД6-66-13*	*Укладання бет онної суміші в конст рукції бетононасосами. Плит и і ребрист і перекрит т я при площі між балками, м2, до 10*	*100м3*	*0,0198*	*302646,27* *3613,98*	*8298,45* *2123,01*	*5992*	*72*	*164* *42*	*186* *100,44*	*3,68* *1,99*
		Разом прямі витрати по розділу 1					10327	529	210 56	-	26,35 2,76
		Разом будівельні роботи, грн.					10327				
		в тому числі:									
		вартість матеріалів, виробів та конструкцій, грн.					9588				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		всього заробітна плата, грн.					585				
		Загальновиробничі витрати, грн.					473				
		трудомісткість в загальновиробничих витратах, люд.год.					3,49				
		заробітна плата в загальновиробничих витратах, грн.					113				
		Всього будівельні роботи, грн.					**10800**				
		– –									
		Всього по розділу 1					**10800**				
		Разом прямі витрати по кошторису					10327	529	210 56	-	26,35 2,76
		Разом будівельні роботи, грн.					10327				
		в тому числі:									
		вартість матеріалів, виробів та конструкцій, грн.					9588				
		всього заробітна плата, грн.					585				

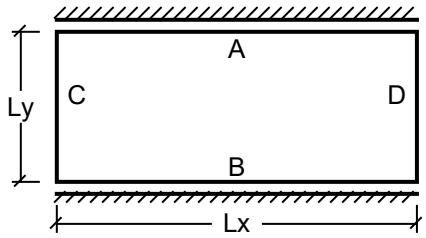
		Загальновиробничі витрати, грн. трудомісткість в загальновиробничих витратах, люд.год. заробітна плата в загальновиробничих витратах, грн. **Всього будівельні роботи, грн.** – **Всього по кошторису**	473 3,49 113 **10800** **10800**				
		Кошторисна трудомісткість, люд.год. **Кошторисна заробітна плата, грн.**	**33** **698**				

3.4.5.2 Експертиза монолітної плити армованою сталевими стрижнями

Для того щоб дізнатися кількість стрижнів арматури для кошторис монолітної з/б плити, була зроблена експертиза плити у программі SCAD Office 21.1.1.1

ЕКСПЕРТИЗА ПЛИТИ, ВИГНУВАНОЇ В ОДНОМУ НАПРЯМКУ

Коефіцієнт надійності за відповідальність $\gamma_n = 1$

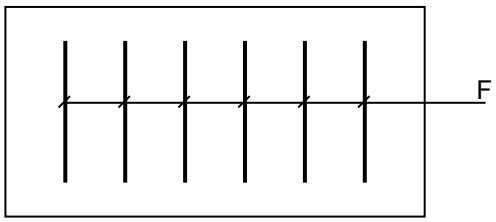
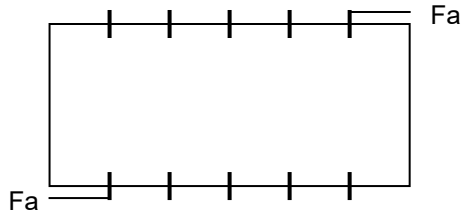


Товщина плити 220 мм
Довжина прольоту L_x 1,5 м
Довжина прольоту L_y 6 м

Умови спирання

Край	Умови спирання
A	защемлений
B	защемлений

Армування плити

У прольоті	На опорі
	

Коефіцієнт умов роботи арматури 1
Захисний шар
верхній 20 мм
нижній 20 мм

Арматура	**Клас**	**Діаметр**	**Крок**
		мм	мм
F	A-III	12	120
F_a	A-III	12	120

Бетон
Вид бетону: Тяжкий
Клас бетону: B25
Щільність бетону 2,5 Т/м^3

Умови твердіння: Природне
Коефіцієнт умов твердіння 1

Коефіцієнти умов роботи бетону		
γ_{b2}	облік навантажень тривалої дії	0,9

Тріщиностійкість
Категорія тріщиностійкості - 3
Умови експлуатації конструкції: У приміщенні
Режим вологості бетону - Природна вологість
Допустима ширина розкриття тріщин:
Тривале розкриття 0,3 мм

Навантаження

Навантаження	Тип	Нормативне значення (Т/м^2)	Коефіцієнт надійності за навантаженням
Власна вага		0,55	1.1
Характеристичне	Постійна	1	1

Сумарне розрахункове навантаження 1,605 Т/м^2

Максимально допустимий прогин 30 мм

Результати розрахунку		
Перевірено по ДСТУ	**Перевірка**	**Коефіцієнт використання**
ДБН В.1.2-2:2006	Згинальний момент від сумарного розподіленого навантаження	0,475
ДБН В.1.2-2:2006	Поперечна сила від сумарного розподіленого навантаження	0,193
ДБН В.1.2-2:2006	Максимальна ширина розкриття тріщин у прольоті плити	0,847
ДБН В.1.2-2:2006	Максимальний прогин у центрі плити	0,604
ДБН В.1.2-2:2006	Максимальна ширина розкриття тріщин у затисканні	0,847

Коефіцієнт використання 0,847 - Максимальна ширина розкриття тріщин у прольоті плити

Звіт сформований програмою SCAD Office, версія: 21.1.1.1

ВИСНОВКИ

1. Результати аналізу показали, що дисперсійне армування(фібра) може використовуватись як заміна звичайної сталевої арматури.
2. Таблиця результатів дослідження

№	Найменування	Порівняльні характеристики				
		Витрати фібри %/м^3	Ціна фібри грн/кг	Навантаження кг/м^2	Вага плити т	Ціна тис.грн
1	Стальна фібра	3%	75	1227	4.8	10.54
2	Поліпропіленова фібра PoliArm TM Fiber	3%	180	1326	4.8	16.78
3	Базальтова фібра Technobasalt	3%	205	858	4.8	18.27
4	Збірна з/б плита	-	-	800	2.85	7.28
5	Монолітна плита з арматурою	-	-	1000	4.87	10.8

3. Таблиця результатів порівняння у % значенні(за 100% була взята збірна плита перекриття)

№	Найменування	Порівняльні характеристики %		
		Навантаження кг/м^2	Ціна тис.грн	Відношення Ціни до навантаження
1	Стальна фібра	153.5%	144.8%	0.94
2	Поліпропіленова фібра PoliArm TM Fiber	165.75%	230.5%	1.39
3	Базальтова фібра Technobasalt	107.25%	251%	2.34
4	Збірна з/б плита	100%	100%	1
5	Монолітна плита з арматурою	125%	148.35%	1.18

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ-Н Б В.2.6-218-2016 Настанова з проектування та виготовлення конструкцій з дисперсноармованого бетону. [На заміну ДСТУ-Н Б В.2.6-78:2009; чинний від 2017.04.01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2017. 32с.
2. ДБН В.1.2-2:2006 Навантаження і впливи. Норми проектування. [На заміну СНиП 2.01.07-85 (за винятком розділу 10); чинний від 2007.01.01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2007. 75с.
3. Хоменко О.Г. Залізобетонні конструкції : навчальний електронний посібник. Глухів, 2017. 208с.
4. Рабінович Ф.Н. Дисперсноармовані бетони : за видав. Будвидав., 1989. 176с.
5. ДБН В.2.6-98:2009 Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. Зі Зміною № 1[Чинний від 01.06.2020]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2020. 70с.
6. ДСТУ Б В.2.6-156:2010 Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. [Чинний від 01.06.2011]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. 117с.
7. Фібра поліпропіленова ТМ Fiber. URL: https://fiber.ua/uk (дата звернення 25.10.2024).
8. Технобазальт. Сучасні технології армування. URL: https://technobasalt.com/ (дата звернення 25.10.2024).
9. Рабінович Ф.М. Композити на основі дисперсно армованих бетонів. Питання теорії та проектування, технологія, конструкції : монографія. : за видав. АВС, 2004. 560с.
10. Рахімов Р. З. Фібробетон - будівельний матеріал XXI століття. Бетон і

сухі будівельні суміші. № 254, 2008. 35-42с.

11. Войлоков І. А., Лушанкін П. Ст, Васильєв Г. П., Дорофєєв Д.А. Типорозмір фібри як ключовий фактор підвищення характеристик бетонного дисперсно-армованого композиту : за видав. Вісник цивільних інженерів, 2019. 105с.
12. Червоний І.М. Про механізм підвищення міцності бетонупри введенні мікронаповнювачів, 1987. 101с.
13. Дворкін Л.Й., Бабич Є.М., Житковський В.В., Бордюженко О.М. Високоміцні швидкотверднучі бетони та фібро бетони : монографія. Рівне : НУВГП, 2017. 331 с.
14. Волков І.В., Газін. Е.М. Фібробетон. Особливості та перспективи застосування у будівельних конструкціях : за видав. Будпрофіль. 2003. 63с.
15. Талантова К.В. Формування властивостей сталефібробетону відповідно до умов експлуатації конструкцій : за видав. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури, 2012. 321с.