

Міністерство освіти і науки України  
Український державний університет науки і технологій

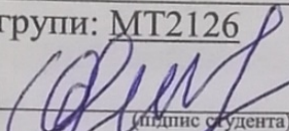
ННЦ «Мости і тунелі»  
(назва факультету/ННЦ)

«Транспортна інфраструктура»  
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка  
до кваліфікаційної роботи  
ОС «магістр»  
(ступінь вищої освіти)

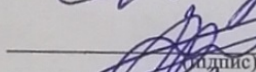
на тему: Обґрунтування попереднього напруження натягу на бетон  
для підвищення надійності і довговічності залізобетонних мостів  
за освітньою програмою «Мости і транспортні тунелі»  
зі спеціальності: 192 Будівництво та цивільна інженерія  
(шифр і назва спеціальності)

Виконав: студент групи: МТ2126

  
(підпис студента)

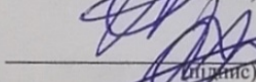
/ Анна МИТРОФАНОВА /  
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник:

  
(підпис)

/ зав. каф. Олексій ТЮТЬКІН /  
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

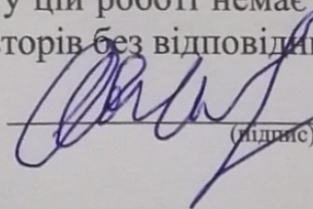
Нормоконтролер:

  
(підпис)

/ зав. каф. Олексій ТЮТЬКІН /  
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з  
праць інших авторів без відповідних посилань.

Студентка

  
(підпис)

Дніпро – 2022 рік

## ЗАЯВА

Я, Митрофанова Анна Горівна

(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

студента(ки) групи МТ2126 ННЦ «Мости і тунелі»

спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»

(код та назва спеціальності)

освітньої програми «Мости і транспортні тунелі»

(назва освітньої програми)

освітнього ступеня магістр

(бакалавр, магістр)

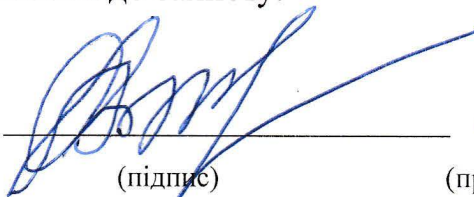
заявляю, що моя випускна кваліфікаційна робота на тему:

Об'єднання попереднього напруження натягу на бетон для підвищення надійності і довговічності залізобетонних елементів

виконана самостійно і в ній не міститься елементів плагіату. Всі запозичення з друкованих та електронних джерел мають відповідні посилання. Прошу перевірити її на наявність академічного плагіату.

Я ознайомлений(а) з чинним «Порядком перевірки кваліфікаційних випускних робіт здобувачів вищої освіти на виявлення текстових та графічних запозичень засобами перевірки на плагіат», згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску випускної кваліфікаційної роботи до захисту.

Студент(ка)

  
(підпис)

Анна Митрофанова

(прізвище, ім'я, по батькові)

Дата 08.12.2022р

Керівник ВКР

  
(підпис)

Олександр Пашин

(прізвище, ім'я, по батькові)

Міністерство освіти і науки України  
Український державний університет науки і технологій  
Кафедра «Транспортна інфраструктура»

**ДОВІДКА**

**про відсутність плагіату у випускній кваліфікаційній роботі**

За результатами перевірки випускної кваліфікаційної роботи (ВКР)  
здобувача вищої освіти освітнього ступеня (ОС) «магістр»

Митрофанової Анни Ігорівни

(прізвище, ім'я, по батькові)

на тему: «Обґрунтування попереднього напружен-  
ня бетону на бетон для підвищення надій-  
ності і довготривалості залізобетонних мостів»

в роботі не виявлено порушень академічної доброчесності.

Керівник ВКР

  
(підпис)

О.Л. Плавини

(прізвище, ім'я, по батькові)

**Ministry of Education and Science of Ukraine**  
**Ukrainian State University of Science and Technologies**

Bridges and tunnels  
(faculty/TRC)

«Transport infrastructure»  
(department)

**Explanatory Note**  
**to Master's Thesis**  
**Master**  
(higher education degree)

on the topic: Rationale for pre-stressing concrete to increase  
the reliability and durability of reinforced concrete bridges  
according to educational curriculum Bridges and vehicular traffic tunnels  
in the Specialization: 192 Building and civil engineering  
(Specialization and its code )

Done by the student of the group: MT2126 / Anna MYTROFANOVA\_ /  
(name, surname)

Scientific Supervisor: / Head of Dept. Oleksii TIUTKIN /  
(position, name, surname)

Normative controller : / Head of Dept. Oleksii TIUTKIN /  
(position, name, surname)

**Міністерство освіти і науки України**  
**Український державний університет науки і технологій**

ННЦ: «Мости і тунелі»

Кафедра: «Транспортна інфраструктура»

Рівень вищої освіти: «Магістр»

Освітня програма: «Мости і транспортні тунелі»

Спеціальність: 192 «Будівництво та цивільна інженерія»

(шифр та назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

«Транспортна інфраструктура»

\_\_\_\_\_ **Олексій ТЮТЬКІН**

(підпис)

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Дата \_\_\_\_\_

**ЗАВДАННЯ**

на кваліфікаційну роботу

ОС «магістр»

(ступінь вищої освіти)

студентці Митрофановій Анні Ігорівні

(Прізвище, Ім'я По батькові)

1. Тема роботи: «Обґрунтування попереднього напруження натягу на бетон для підвищення надійності і довговічності залізобетонних мостів»

Керівник роботи: Тютюкін Олексій Леонідович, д.т.н., професор

(Прізвище, Ім'я, По батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом від «14» січня 2022 р. № 20ст

2. Строк подання студентом роботи: «19» грудня 2022 р.

3. Вихідні дані до роботи: Результати аналізу інженерно-геологічних та гідрогеологічних умов, конструкцій залізобетонних мостів та дані, що отримані під час пошуку в Internet.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно опрацювати):

Вступ. Розділ 1. Загальні дані. Розділ 2. Архітектурно-будівельні рішення з будівництва шляхопроводу. Розділ 3. Варіанти прогонових будов. Розділ 4. Розрахунок розрізних прогонових будов під тимчасові рухомі навантаження. Розділ 5. Чисельний аналіз напружено-деформованого стану варіантів прогонових будов. Розділ 6. Техніко-економічне порівняння прогонових будов. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Презентація за матеріалами досліджень, викладених в магістерській роботі (PowerPoint, 10...12 слайдів).

## 6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав: (підпис консультанта, дата)	Завдання прийняв: (підпис студента, дата)

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ. Розділ 1. Загальні дані. Розділ 2. Архітектурно-будівельні рішення з будівництва шляхопроводу.	07.11.2022 – 20.11.2022	
2	Розділ 3. Варіанти прогонових будов. Розділ 4. Розрахунок розрізних прогонових будов під тимчасові рухомі навантаження.	21.11.2022 – 04.12.2022	
3	Розділ 5. Чисельний аналіз напружено-деформованого стану варіантів прогонових будов. Розділ 6. Техніко-економічне порівняння прогонових будов. Висновки. Оформлення ВКР.	05.12.2022 – 18.12.2022	
4	Перевірка роботи на наявність збігів текстових (літерних і цифрових) символів та графічних фрагментів. Отримання відгуку.	19.12.2022 – 25.12.2022	
5	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	19.12.2022	
6	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	26.12.2022-30.12.2022	

Студентка

\_\_\_\_\_ (підпис)

Анна МИТРОФАНОВА

\_\_\_\_\_ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Олексій ТЮТЬКІН

\_\_\_\_\_ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

## РЕФЕРАТ

Дипломна робота магістра представлена на 60 сторінках та містить 65 рисунків, 14 таблиць, 20 літературних джерел.

**Об'єкт дослідження або розробки:** автодорожній міст.

**Предмет дослідження:** нерозрізна монолітна прогонова будова з пост-напруженням на бетоні.

**Мета роботи** полягає в обґрунтуванні попереднього напруження натягу на бетон для підвищення надійності і довговічності залізобетонних мостів.

В дипломній роботі магістра вирішені наступні **задачі:**

1. Проаналізовані вихідні дані про міст.
2. Проведено опис штучної споруди.
3. Розроблено 2 варіанти прогонових будов.
4. Виконано моделювання та аналіз напружено-деформаційного стану варіантів прогонових будов.
5. Проведено техніко-економічне порівняння прогонових будов.

**Галузь застосування:** мостобудування.

**Ключові слова:** нерозрізна прогонова будова, розрізна прогонова будова, натяг на бетон, метод скінченних елементів, тимчасові рухомі навантаження

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	7
РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНІ ДАНІ.....	10
<b>1.1 Фізико-географічні умови</b> .....	10
<b>1.2 Геологічна будова та гідрогеологічні умови</b> .....	12
<b>1.3 Фізико-механічні характеристики ґрунтів</b> .....	15
РОЗДІЛ 2 АРХІТЕКТУРНО-БУДІВЕЛЬНІ РІШЕННЯ З БУДІВНИЦТВА ШЛЯХОПРОВОДУ .....	22
<b>2.1 Навантаження</b> .....	22
<b>2.2 Опис споруди</b> .....	23
<b>2.3 Опори</b> .....	24
РОЗДІЛ 3 ВАРІАНТИ ПРОГОНОВИХ БУДОВ.....	27
<b>3.1 Монолітна нерозрізна прогонова будова</b> .....	27
<b>3.2 Балки ДерждорНДІ 33, 24 м</b> .....	29
РОЗДІЛ 4 РОЗРАХУНОК РОЗРІЗНИХ ПРОГОНОВИХ БУДОВ ПІД ТИМЧАСОВІ РУХОМІ НАВАНТАЖЕННЯ А-11 ТА НК80.....	32
РОЗДІЛ 5 ЧИСЕЛЬНИЙ АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ВАРІАНТІВ ПРОГОНОВИХ БУДОВ.....	35
<b>5.1 Варіант 1. Нерозрізна монолітна прогонова будова з використанням     пост-напруженням на бетоні</b> .....	35
<b>5.2 Варіант 2. Розрізні прогонові будови 33, 24 м</b> .....	46
<b>5.2.1 Прогонова будова 33 м</b> .....	46
<b>5.2.2 Прогонова будова 24 м</b> .....	51
<b>5.3 Порівняння варіантів результатів переміщень та напружень в     прогонових будовах</b> .....	54
РОЗДІЛ 6 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ПОРІВНЯННЯ ПРОГОНОВИХ БУДОВ	56
ВИСНОВКИ.....	57
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	59

## ВСТУП

Впровадження концепції попередньо-напруженого залізобетону в 1950 році проклало шлях до революції в проектуванні мостів. Практичне застосування попередньо-напруженого бетону було введено в 1928 році французьким вченим Еженом Фейсьєном, який рекомендував використовувати високоміцний сталевий дріт і високоміцний бетон для забезпечення більш високого рівня попереднього обтиснення. Було розроблено два різних способи попереднього обтиснення бетону: післянапруження (застосований Фейсієнтом), при якому сталь натягується після того, як бетон був залитий і затвердів, і попереднє обтиснення (розроблене німецьким інженером Е. Хойером у 1938 р.), при якому сталь натягується перед заливкою бетону [5].

Мала міцність бетону на розтяг є причиною утворення тріщин в бетоні розтягнутих зон елементів залізобетонних конструкцій при експлуатаційних навантаженнях. Значне розкриття тріщин, нерідко досягає 0,2...0,3 мм і більше, у багатьох випадках небезпечно з точки зору корозії арматури. Додання арматурі періодичного профілю трохи зменшує розкриття тріщин, однак цього властивості залізобетону повністю не усуває.

З розвитком техніки широке застосування знайшли бетони підвищеної міцності класів В40 і вище, а також високоякісні арматурні сталі з тимчасовим опором до 20 тис. кгс/см<sup>2</sup> і більше, що економічно виправдано, оскільки відношення вартості до міцності високоміцних матеріалів, що застосовуються для залізобетону, значно нижче, ніж для матеріалів менш міцних.

Попередньо напружений залізобетон не є особливим залізобетоном; він утворюється з тих же матеріалів, що і залізобетон, що не піддається попередньою напрузі. Однак попереднє напруження надає залізобетону додаткові якості, які можуть бути ефективно використані.

Численні експериментальні дослідження показали, що попереднє напруження практично не впливає на величину руйнівного навантаження, але істотно (в кілька разів) підвищує тріщиностійкість і жорсткість залізобетонних

елементів.

Покращуючи якість залізобетону, попереднє напруження дозволяє широко використовувати високоміцні матеріали, економити сталь (в ряді випадків до 70 %), сприяти зниженню загальної ваги конструкцій, отримувати конструкції, добре чинять опір багаторазово повторюється динамічним впливам.

Для підвищення тріщиностійкості залізобетонних конструкцій проводиться їх попереднє напруження (до застосування основних навантажень), яке виробляють таким чином, щоб утворювалося попереднє обтиснення тих зон бетону, в яких при основних навантаженнях очікуються напруження розтягу.

Одним із методів створення попередньо-напруженого залізобетону є «натяг» на бетон, тобто натяг арматури (високоміцних сталевих канатів), розміщеної в каналах або пазах елемента, за допомогою пристосувань, що спираються на готовий елемент по його кінцях (після досягнення бетоном необхідної міцності). Арматуру за допомогою анкерів фіксують в натягнутому положенні, і вона обжимає бетон, згодом канали ін'єктують цементним розчином під тиском, а пази заповнюють бетоном [2].

В наш час найбільш нагальною потребою у будівництві автомобільних доріг на сьогодні є ремонт або заміна існуючих мостів. У зв'язку зі збільшенням потреб та зростаючим трафіком, на додаток до старіння та екстенсивного використання. Як повідомляється на сайті «Укравтодору», на вересень 2021 року було обстежено 73 % мостів на дорогах державного значення та 25 % – місцевого. За підсумками обстеження 53 % усіх штучних споруд не відповідають нормативним вимогам. Першочергового ремонту потребують 710 мостів, стан 160 з них наблизений до аварійного. Внаслідок російської агресії 2022 року було знищено понад 300 мостів. Тобто понад 1000 мостів в Україні мають бути замінені протягом наступного десятиліття.

Стає все більш важливим впровадити стандартний метод заміни, який би прискорив процес та зробив його ефективним з точки зору витрат. Вимоги до проєктування та будівництва залізобетонних мостів кардинально змінилися за останні роки, але і зміни в проєктуванні є актуальними. Система нерозрізних

мостів набуває все більшої популярності завдяки своїй меншій вазі порівняно з балковими мостами. Однак існують певні обмеження при використанні цієї системи для заміни існуючих мостів із залізобетонними балками.

Очевидно, що коли міст виводиться з експлуатації для ремонту або заміни, це спричиняє значні незручності для руху транспорту через цей район. Існує багато варіантів заміни існуючих мостів або будівництва нових, тому при виборі конкретної мостової системи необхідно прийняти відповідне рішення. Необхідно досягти балансу між факторами міцності, вартості та термінів будівництва, не порушуючи при цьому безпеку руху.

На прикладі шляхопроводу, спорудженого при будівництві нової траси Н-31 буде досліджений метод натягу на бетон – технологія попереднього стиснення бетонних елементів для компенсації очікуваних розтягуючих напружень, що виникають в результаті подальших навантажень.

## РОЗДІЛ 1

### ЗАГАЛЬНІ ДАНІ

Проект шляхопроводу через автомобільну дорогу основного ходу виконано в рамках об'єкту «Будівництво автомобільної дороги державного значення Н-31 Дніпро – Царичанка – Кобеляки–Решетилівка від с. Лобойківка до межі Дніпропетровської області на ділянці км 28+600 – межа Дніпропетровської області, Дніпропетровська область».

Вихідними даними для розробки проєкту автомобільної дороги є:

Завдання на проєктування №4-42/20 від 07.09.2020 р. виданого Державним агентством автомобільних доріг України. Інженерно-геологічні вишукування для розробки робочої документації (РД) «Будівництво автомобільної дороги державного значення Н-31 Дніпро – Царичанка – Кобеляки – Решетилівка від с. Лобойківка до межі Дніпропетровської області на ділянці км 28+600 – межа Дніпропетровської області, Дніпропетровська область».

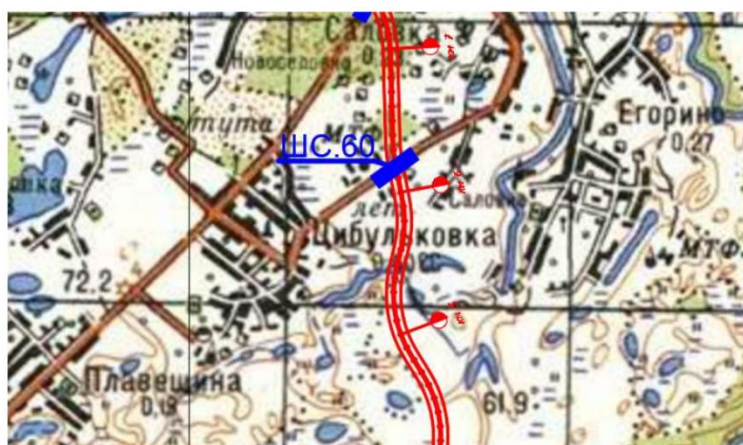


Рисунок 1.1 – Схема розташування споруди на ділянці будівництва

#### 1.1 Фізико-географічні умови

Досліджувана територія розташована у Лівобережнодніпровсько-Приазовському краї у Орільсько-Самарській низовинній області на Полтавській пластово-аккумулятивній рівнині на палеогенових і неогенових відкладах. Вивчена ділянка розташована на першій надзаплавній правобережній терасі р. Оріль. Абсолютні позначка поверхні гірл свердловин на майданчику 61,50 –

62,05 м.

Клімат району помірно-континентальний, що характеризується посушливим літом, затяжною осінню, короткою зимою з частими розтанями та примхливою весною. Спостерігаються різкі коливання температури, сильні вітри, снігові замети. Згідно ДСТУ-Н Б.В-1.1-27:2010 «Будівельна кліматологія» описуваний район належить до II будівельно-кліматичної зони.

Середньорічна кількість опадів 550 мм, з них рідких та змішаних 491 мм.

В січні переважають вітри північно-західного, південно-східного, південного напрямку, а у липні північно-західного. Середньорічна температура повітря складає 8,7°C. Самий холодний місяць січень має середню місячну температуру -4,7°C. Абсолютна мінімальна температура -34°C. Самий спекотний місяць липень має середню місячну температуру +21,6°C. Абсолютна максимальна температура +40°C.

Тривалість періоду із середньодобовою негативною температурою 109 днів.

Нормативна глибина сезонного промерзання розрахована згідно «Пособія по проектуванню оснований зданий и сооружений (к СНиП 2.02.01-83)» складає для суглинків і глин 0,76 м; для супісків, пісків дрібних та пилюватих 0,93 м; для пісків гравіюватих, крупних та середньої крупності 1,00 м; для великоуламкових ґрунтів – 1,13 м. Максимальна глибина промерзання зафіксована у другій декаді січня 1969 р.- 1,23 м.

Згідно ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 «Будівельна кліматологія» середні місячні та річні температури повітря в °С наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1– Середні місячні та річні температури повітря в °С

Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень	Середня річна температура, °С
-4,7	-3,8	+1,1	+9,6	+16,0	+19,6	+21,6	+20,7	+15,4	+8,6	+2,2	-2,5	+8,7

Тривалість періоду з середньодобовою мінусовою температурою 100 днів. Заморозки ночами починаються з другої декади вересня і закінчуються у першій декаді травня. У січні переважають вітри західного напрямку із середньою швидкістю 5,2 м/с, а в липні – північно-західного з середньою швидкістю 3,8 м/с. Середня швидкість вітру – 4.61 м/с, переважає північний та західний напрямок вітру.

Середньорічна вологість становить 74 %. Середньорічна кількість опадів 550 мм.

Згідно ДБН В.2.3-4:2007 «Споруди транспорту. Автомобільні дороги» додаток А шляхопровід розташований у південній дорожньо-кліматичній зоні (У-III).

## **1.2 Геологічна будова та гідрогеологічні умови**

У геоструктурному відношенні досліджувана територія розташована у західній частині Дніпровсько-Донецької мезозойської западини.

В геологічній будові приймають участь кристалічні породи докембрію, продукти їх вивітрювання перекриті товщою осадових накопичень мезозою, палеогену та неогену перекритих четвертинними відкладами.

До дослідженої глибини 45,00 м залягають палеогенові суглинки, четвертинні алювіально- делювіальні супіски та піски, сучасні алювіально-делювіальні піски, еолово-делювіальні лесоподібні супіски, перекриті ґрунтово-рослинним шаром. В процесі вишукувань до глибини 45,00 м, виділено 7 інженерно-геологічних елементів (ІГЕ):

- ІГЕ-2а (*eQIV*) Ґрунтово-рослинний шар – супісок темно-бурий, гумусований, твердий. Зустрінутий всіма свердловинами. Потужність ІГЕ – 0,30-,060 м. Номер ґрунту по складності розробки згідно ДСТУ Б.Д.2.2-1:2012 сб.1 – 9б.

ІГЕ-4 (*vdQI-IV*) Супісок лесоподібний темно- та жовто-бурий пілуватий, твердий. Зустрінутий всіма свердловинами під ІГЕ-2а. Потужність ІГЕ – 0,80-

1,90 м. Номер ґрунту по складності розробки згідно з ДСТУ Б.Д.2.2-1:2012 сб.1 – 36а.

ІГЕ-6 (*adQI-II*) Пісок жовто-сірий дрібний, середньої щільності, малого ступеню насичення водою. Зустрінутий всіма свердловинами під ІГЕ-4. Потужність ІГЕ – 0,90-1,80 м. Номер ґрунту по складності розробки згідно з ДСТУ Б.Д.2.2-1:2012 сб.1 – 29а.

ІГЕ-6.1 (*adQI-II*) Пісок жовто-сірий та сірий дрібний, середньої щільності, насичений водою. Зустрінутий всіма свердловинами під ІГЕ-6. Потужність ІГЕ – 6,70-7,50 м. Номер ґрунту по складності розробки згідно з ДСТУ Б.Д.2.2-1:2012 сб.1 – 29а.

- ІГЕ-5.1б (*adQI-II*) Супісок пісковий сірий та зеленувато-сірий, пластичний, із тонкими прошарками глини та насиченого водою піску. Зустрінутий всіма свердловинами в ІГЕ-6.1. Потужність ІГЕ – 24,60-26,30 м. Номер ґрунту по складності розробки згідно з ДСТУ Б.Д.2.2-1:2012 сб.1 – 36а.

ІГЕ-6.1а (*adQI-II*) Пісок сірий та зеленувато-сірий, дрібний, щільний, насичений водою. Зустрінутий всіма свердловинами під ІГЕ-5.1б. Потужність ІГЕ – 1,60-2,10 м. Номер ґрунту по складності розробки згідно з ДСТУ Б.Д.2.2-1:2012 сб.1 – 29а.

ІГЕ-10 (р) Суглинок пісковий, зеленувато-сірий, важкий, твердий, сильно-набрякливий, із прошарками піску та супіску. Зустрінутий під ІГЕ-6.1. Розкрита потужність ІГЕ – 2,50-8,30 м. Номер ґрунту по складності розробки згідно з ДСТУ Б.Д.2.2-1:2012 сб.1 – 35в.

Підземні води зустрінуті на глибині 2,30 – 3,50 м на абсолютних позначках 58,55 – 59,20 м. Водоносний горизонт відкритий безнапірний. Живлення горизонту відбувається за рахунок атмосферних опадів, а в період паводків за рахунок р.Оріль. Розвантаження горизонту відбувається в Оріль. Водовмісні породи алювіально-делювіальні піски та супіски. Коливання рівня підземних вод можливо на 1,50 м вище зафіксованого свердловинами. Територія підтоплена. Хімічний склад підземних вод наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Хімічний склад підземних вод

Показник	Свердловина № 1*	
	гл. 3,55 м	
	мг-экв дм <sup>3</sup>	мг дм <sup>3</sup>
Сухий залишок		2076
Хлориди (Cl <sup>-</sup> )	23,61	838,3
Сульфати (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	2,16	103,7
Гідрокарбонати (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	9,0	549,0
Натрій + калій (Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup> )	31,9	733,7
Кальцій (Ca <sup>2+</sup> )	0,99	19,84
Магній (Mg <sup>2+</sup> )	2,48	30,16
Залізо		0,5
Загальна жорсткість	3,47	
Водневий показник (од. рН)	8,2	
Вільна CO <sub>2</sub>	–	–
Агресивна CO <sub>2</sub>	–	–

Згідно ДБН В.1.1-12:2014 «Будівництво в сейсмічних районах України» територія розташована в районі з п'ятибальною сейсмічністю по картах ОСР-2004-А та В, шестибальною сейсмічністю по карті ОСР-2004-С.

Рішення про вибір карти приймається проєктувальником та узгоджується з замовником.

Згідно таблиці 5.1 ДБН В.1.1-12:2014 «Будівництво в сейсмічних районах України» – категорія ґрунтів по сейсмічним властивостям III (третя).

Категорія складності інженерно-геологічних умов ділянки згідно «Додатка Ж» ДБН А.2.1-1-2008 «Інженерні вишукування для будівництва» – III (складні).

На майданчику виділено 7 ІГЕ з мінливими властивостями та потужністю (особливо ІГЕ-5.1б);

- присутні специфічні набрякливі ґрунти;
- територія підтоплена.

Набрякливі глини (ІГЕ-10) знаходяться на значній глибині (34,70 – 37,50 м) під підземними водами. При цьому тиск набрякання невеликий 80 кПа. Тому ці ґрунти не вплинуть на несучу здатність споруди.

### **1.3 Фізико-механічні характеристики ґрунтів**

Властивості ґрунтів визначені відповідно до вимог «Додатка М» ДБН А.2.1-1-2008.

Окремі, нормативні та розрахункові значення фізико-механічних характеристик ґрунтів наведені у таблиці 4 та додатку Б.

Специфічні ґрунти: ІГЕ-10 – набрякливі. Проектувати основи та фундаменти потрібно з урахуванням рекомендацій розділу 4 для набрякливих ґрунтів «Пособия по проектированию оснований зданий и сооружений (к СНиП 2.02.01-83)».

Треба ураховувати, що при замочуванні суглинки ІГЕ-4 можуть надбати текучої консистенції.

Таблиця 1.3 – Фізико-механічні характеристики ґрунтів

Властивості ґрунту	Одиниця вимірювання	ІГЕ-4			ІГЕ-6		
		від	до	норм	від	до	норм
Щільність часток ґрунту ( $S$ )	г/см <sup>3</sup>	2,67	2,67	<b>2,67</b>	2,65	2,65	<b>2,65</b>
Щільність ґрунту ( $\square$ )	г/см <sup>3</sup>	1,69	2,03	<b>1,88</b>	1,69	1,84	<b>1,78</b>
Щільність сухого ґрунту ( $\square d$ )	г/см <sup>3</sup>	1,59	1,77	<b>1,69</b>	1,55	1,64	<b>1,61</b>
Пористість $P$		33,7	40,4	<b>36,7</b>	38,1	41,5	<b>39,2</b>
Коефіцієнт пористості ( $e$ )		0,51	0,68	<b>0,58</b>	0,65	0,71	<b>0,65</b>
Вологість природна ( $W$ )	%	6,0	15,0	<b>11,4</b>	9,0	12,0	<b>10,4</b>
Вологість на межі текучості ( $WL$ )	%	16,0	25,0	<b>19,8</b>	—	—	—
Вологість на межі розкочування ( $Wp$ )	%	10,0	18,0	<b>13,8</b>	—	—	—
Число пластичності ( $Ip$ )		5,0	7,0	<b>6,0</b>	—	—	—

Таблиця 1.3 – Фізико-механічні характеристики ґрунтів (продовження)

Показник текучості ( $IL$ )		<0	0,20	<0	—	—	—
Коефіцієнт водонасичення ( $Sr$ )		0,24	0,79	<b>0,52</b>	0,34	0,52	<b>0,43</b>
Питоме зчеплення ( $C$ )	кПа			<b>25,0</b>			<b>2,0</b>
Кут внутрішнього тертя ( $\varphi$ )	град.			<b>24</b>			<b>32</b>
Модуль деформації природної вологості	МПа			<b>31,0</b>			<b>28,0</b>
Модуль деформації насичений водою	МПа			<b>17,0</b>			
Початковий тиск просідання	кПа			<b>&gt;300</b>	—	—	—
Тиск набрякання	кПа	—	—	—	—	—	—
Відносне вільне набрякання		—	—	—	—	—	—
<b>РОЗРАХУНКОВІ ЗНАЧЕННЯ ПРИ РОЗРАХУНКУ ПО НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ</b> при довірчій імовірності $\alpha=0,98$							
<b>Щільність ґрунту (<math>\rho</math>)</b>	г/см <sup>3</sup>	<b>1,66/2,10</b>			<b>1,69/1,87</b>		
<b>Питоме зчеплення (<math>CI</math>)</b>	кПа	<b>16,7</b>			<b>0</b>		
<b>Кут внутрішнього тертя (<math>\varphi</math>)</b>	град.	<b>21</b>			<b>29</b>		
<b>РОЗРАХУНКОВІ ЗНАЧЕННЯ ПРИ РОЗРАХУНКУ ПО ДЕФОРМАЦІЯМ</b> при довірчій імовірності $\alpha=0,90$							
<b>Щільність ґрунту (<math>\rho</math>)</b>	г/см <sup>3</sup>	<b>1,75/2,01</b>			<b>1,73/1,83</b>		
<b>Питоме зчеплення (<math>CI</math>)</b>	кПа	<b>25,0</b>			<b>2,0</b>		
<b>Кут внутрішнього тертя (<math>\varphi</math>)</b>	град.	<b>24</b>			<b>32</b>		
<b>Умовний опір (<math>R0</math>)</b>	кПа	<b>320/—</b>			<b>196</b>		

\*в чисельнику наведено розрахунковий опір при природній вологості, а в знаменнику – при повному водонасиченні

Таблиця 1.3 – Фізико-механічні характеристики ґрунтів (продовження)

Властивості ґрунту	Одиниця вимірювання	ІГЕ-6.1			ІГЕ-5.16		
		від	до	норм	від	до	норм
		Пісок жовто-сірий та сірий дрібний, середньої щільності, насичений водою			Супісок пісковий сірий та зеленувато-сірий, пластичний, із тонкими прошарками глини та насиченого водою піску		
Щільність часток ґрунту ( $\rho_s$ )	г/см <sup>3</sup>	2,65	2,65	<b>2,65</b>	2,66	2,70	<b>2,68</b>
Щільність ґрунту ( $\rho$ )	г/см <sup>3</sup>	1,96	2,12	<b>2,07</b>	1,78	2,15	<b>2,01</b>
Щільність сухого ґрунту ( $\rho_d$ )	г/см <sup>3</sup>	1,68	1,85	<b>1,76</b>	1,33	1,84	<b>1,63</b>
Пористість $II$		30,2	36,6	<b>33,6</b>	31,3	50,7	<b>39,2</b>
Коефіцієнт пористості ( $e$ )		0,43	0,58	<b>0,51</b>	0,46	1,03	<b>0,64</b>
Вологість природна ( $W$ )	%	13,0	19,0	<b>17,4</b>	17,0	35,0	<b>23,2</b>
Вологість на межі текучості ( $WL$ )	%	—	—	—	17,0	45,0	<b>25,4</b>
Вологість на межі розкочування ( $Wp$ )	%	—	—	—	13,0	33,0	<b>19,4</b>
Число пластичності ( $Ip$ )		—	—	—	3,0	13,0	<b>6,0</b>
Показник текучості ( $IL$ )		—	—	—	<0	1,00	<b>0,63</b>
Коефіцієнт водонасичення ( $Sr$ )		0,75	0,99	<b>0,91</b>	0,86	1,00	<b>0,97</b>
Питоме зчеплення ( $C$ )	кПа			<b>5,0</b>	0	57,3	<b>16,9</b>
Кут внутрішнього тертя ( $\phi$ )	град.			<b>37</b>	22	37	<b>28</b>
Модуль деформації природної вологості	МПа			<b>33,0</b>	19,2	32,8	<b>25,2</b>
Модуль деформації насичений водою	МПа				15,0	49,2	<b>24,3</b>
Початковий тиск просідання	кПа	—	—	—	—	—	—
Відносна просідність при тиску 300 кПа		—	—	—	—	—	—
Тиск набрякання	кПа	—	—	—	—	—	—
Відносне вільне набрякання		—	—	—	—	—	—
<b>РОЗРАХУНКОВІ ЗНАЧЕННЯ ПРИ РОЗРАХУНКУ ПО НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ</b> при довірчої імовірності $\alpha=0,98$							
Щільність ґрунту ( $\rho_I$ )	г/см <sup>3</sup>	<b>2,05/2,09</b>			<b>1,99/2,03</b>		
Питоме зчеплення ( $CI$ )	кПа	<b>0</b>			<b>9,6</b>		
Кут внутрішнього тертя ( $\phi_I$ )	град.	<b>30</b>			<b>27</b>		

РОЗРАХУНКОВІ ЗНАЧЕННЯ ПРИ РОЗРАХУНКУ ПО ДЕФОРМАЦІЯМ			
при довірчій імовірності $\alpha=0,90$			
Щільність ґрунту ( $\square II$ )	г/см <sup>3</sup>	2,05/2,09	2,00/2,2,02
Питоме зчеплення ( $CIH$ )	кПа	5,0	12,6
Кут внутрішнього тертя ( $\square II$ )	град.	33	27
Умовний опір ( $RO$ )	кПа	235	100

Таблиця 1.3 – Фізико-механічні характеристики ґрунтів (продовження)

Властивості ґрунту	Одиниця вимірювання	ІГЕ-6.1 Пісок жовто-сірий та сірий дрібний, щільний, насичений водою			ІГЕ-10 (p) Суглинок пісковий, зеленувато- сірий, важкий, твердий, сильно-набрякливий, із прошарками піску та супіску		
		від	до	норм	від	до	норм
Щільність часток ґрунту ( $\square S$ )	г/см <sup>3</sup>	2,65	2,66	<b>2,65</b>	2,69	2,72	<b>2,71</b>
Щільність ґрунту ( $\square$ )	г/см <sup>3</sup>	2,17	2,21	<b>2,19</b>	1,72	2,12	<b>1,83</b>
Щільність сухого ґрунту ( $\square d$ )	г/см <sup>3</sup>	1,89	1,96	<b>1,92</b>	1,28	1,88	<b>1,41</b>
Пористість $II$		26,0	28,9	<b>27,8</b>	30,9	52,6	<b>48,0</b>
Коефіцієнт пористості ( $e$ )		0,35	0,41	<b>0,39</b>	0,45	1,11	<b>0,92</b>
Вологість природна ( $W$ )	%	13,0	15,0	<b>14,3</b>	13,0	34,0	<b>30,1</b>
Вологість на межі текучості ( $WL$ )	%	—	—	—	43,0	52,0	<b>45,6</b>
Вологість на межі розкочування ( $Wp$ )	%	—	—	—	23,0	37,0	<b>31,0</b>
Число пластичності ( $Ip$ )		—	—	—	9,0	22,0	<b>14,6</b>
Показник текучості ( $IL$ )		—	—	—	<0	0,25	<0
Коефіцієнт водонасичення ( $Sr$ )		0,96	1,00	<b>0,99</b>	0,79	1,00	<b>0,88</b>
Питоме зчеплення ( $C$ )	кПа			<b>6,0</b>	22,0	74,3	<b>47,7</b>
Кут внутрішнього тертя ( $\square$ )	град.			<b>38</b>	24	37	<b>29</b>
Модуль деформації природної вологості	МПа			<b>48</b>			<b>15,4</b>
Модуль деформації насичений водою	МПа				9,7	33,6	<b>14,1</b>
Початковий тиск просідання	кПа	—	—	—	—	—	—
Відносна просідність при тиску 300 кПа		—	—	—	—	—	—
Тиск набрякання	кПа	—	—	—			<b>80</b>

Відносне вільне набрякання		—	—	—	0,031	0,352	<b>0,185</b>
<b>РОЗРАХУНКОВІ ЗНАЧЕННЯ ПРИ РОЗРАХУНКУ ПО НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ</b>							
при довірчій імовірності $\alpha=0,98$							
<b>Щільність ґрунту (<math>\square I</math>)</b>	г/см <sup>3</sup>	<b>2,14/2,24</b>		<b>1,80/1,86</b>			
<b>Питоме зчеплення (<math>CI</math>)</b>	кПа	<b>0</b>		<b>38,3</b>			
<b>Кут внутрішнього тертя (<math>\square I</math>)</b>	град.	<b>34</b>		<b>26</b>			
<b>РОЗРАХУНКОВІ ЗНАЧЕННЯ ПРИ РОЗРАХУНКУ ПО ДЕФОРМАЦІЯМ</b>							
при довірчій імовірності $\alpha=0,90$							
<b>Щільність ґрунту (<math>\square II</math>)</b>	г/см <sup>3</sup>	<b>2,16/2,22</b>		<b>1,81/1,85</b>			
<b>Питоме зчеплення (<math>CI II</math>)</b>	кПа	<b>6,0</b>		<b>42,2</b>			
Кут внутрішнього тертя ( $\square II$ )	град.	38		28			
Умовний опір ( $RO$ )	кПа	235		300			

Згідно ДБН В.2.3-4:2007 «Споруди транспорту. Автомобільні дороги» додаток А ділянка розташована у південній дорожньо-кліматичній зоні (У-III).

В геологічній будові приймають участь кристалічні породи докембрію, продукти їх вивітрювання перекриті товщою осадових накопичень мезозою, палеогену та неогену перекритих четвертинними відкладами.

До дослідженої глибини 45,00 м залягають палеогенові суглинки, четвертинні алювіально- делювіальні супіски та піски, сучасні алювіально-делювіальні піски, еолово-делювіальні лесоподібні супіски, перекриті ґрунтово-рослинним шаром.

В процесі вишукувань до глибини 45,00 м, виділено 7 інженерно-геологічних елементів (ІГЕ).

Специфічні ґрунти: ІГЕ-10 – набрякливі. Проектувати основи та фундаменти потрібно з урахуванням рекомендацій розділу 4 для набрякливих ґрунтів «Пособия по проектированию оснований зданий и сооружений (к СНиП 2.02.01-83)».

Підземні води зустрінуті на глибині 2,30 – 3,50 м на абсолютних позначках 58,55 – 59,20 м Коливання рівня підземних вод можливо на 1,50 м вище зафіксованого свердловиною. Територія підтоплена.

Треба ураховувати, що при замочуванні супіски ІГЕ-4 можуть надбати текучої консистенції.

Категорії складності інженерно-геологічні умови майданчика згідно «Додатка Ж» ДБН А.2.1-1- 2008 «Інженерні вишукування для будівництва» - ІІІ (складна).

Згідно додатку А. таблиці 1. ДБН В.1.1-12:2014 «Будівництво у сейсмічних районах України» територія розташована в районі з п'ятибальною сейсмічністю по картах ОСР-2004-А та В, шестибальною сейсмічністю по карті ОСР-2004-С.

Згідно таблиці 5.1 ДБН В.1.1-12:2014 «Будівництво в сейсмічних районах України» – категорія ґрунтів по сейсмічним властивостям ІІІ (третя).

Нормативна глибина сезонного промерзання складає для суглинків та глин 0,76 м, для супісків та дрібних пісків – 0,93 м.

Рекомендуються пальові фундаменти з заглибленням у суглинки ІГЕ-10.

## РОЗДІЛ 2

### АРХІТЕКТУРНО-БУДІВЕЛЬНІ РІШЕННЯ

#### З БУДІВНИЦТВА ШЛЯХОПРОВОДУ

##### 2.1 Навантаження

Сейсмічність району будівництва – об'єкт знаходиться в п'ятибальній зоні, згідно ДБН В.1.2-14 рисунку Б.1. За висновками інженерно-геологічних досліджень ґрунти відносяться до III категорії за сейсмічними властивостями, але для нормативної сейсмічності майданчика будівництва за сейсмічністю район 5 балів не нормується.

До постійних навантажень першої частини віднесені навантаження від власної ваги прогонової будови, ваги елементів опалубки, ваги свіжовкладеного бетону. До другої частини постійних навантажень віднесені: бар'єрна огорожа, перильна огорожа, водовідвід, асфальтобетонне покриття товщиною 11 см.

Тимчасові навантаження прийняті згідно ДБВ В.2.3.15-2009 «Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи» А-11 та НК-80, враховані змінені коефіцієнти надійності та динамічні коефіцієнти.

До інших тимчасових навантажень віднесені температурні та вітрові навантаження, від різниці температур, усадки бетону.

Температурні навантаження враховуються для підрахунку переміщень та оцінювання напружень.

Нормативний температурний кліматичний вплив при розрахунку переміщень розраховували згідно з ДБН В.2.3:15-2009.

Нормативні температури повітря в теплу  $t_{n,T}$  і холодну  $t_{x,T}$  пору року становлять:

$$t_{n,T} = t_{VII} + T,$$

де  $t_{VII}$  – середня температура повітря найбільш теплого місяця, приймається згідно з ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010;  $T$  – постійна величина для визначення температури повітря найбільш спекотної доби, прийнята згідно з картою ізоліній ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010, °С.

За розрахункову мінімальну температуру  $t_{x,T}$  для мостів слід приймати середню температуру зовнішнього повітря найбільш холодної п'ятиденки в районі будівництва відповідно до вимог ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 із забезпеченістю 0,98.

Вплив сонячної радіації на температуру елементів слід враховувати у вигляді додаткового нагрівання на 10 °С.

Для врахування температури в розрахунках споруди для м.Дніпро  $t_{VII} = 21,6$  °С;  $T = 30$  °С;  $t_{x,T} = -26$  °С.

Вітрові навантаження приймаються за вимогами ДБН В.2.3:15-2009.

Сейсмічні навантаження являють собою сили інерції, які виникають за рахунок сейсмічного збудження основи. Сейсмічність майданчика будівництва згідно ДБН В.1.1-12 становить 5 балів з врахуванням категорії по ґрунту за сейсмічними властивостями (III кат.).

Горизонтальне сейсмічне навантаження визначається за формулою  $S_{ki} = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot S_{0k}$ , де  $k_1$

$= 0,25$  (табл. 6.3, ДБН В.1.1-12);  $k_2 = 1,3$  (табл. 6.4);  $k_3 = 1,0$ ; ґрунт – III кат.,  $k_{гр} = 0,75$  (табл. 5.1, 6.6)

Розрахунок споруди проводилося в програмах: ПК ЛИРА-САПР 2020 (R3); MIDAS Civil 2019 (v2.2).

## 2.2 Опис споруди

Шляхопровід запроектовано прямим в плані. Споруду запроектовано над автомобільною дорогою основного ходу.

Довжина шляхопроводу по осі дороги складає між передніми гранями шафових стінок 81,7 м, габарит Г-7+2х0,75м Ширина споруди – 9,78м (між зовнішніми гранями карнизних блоків), смуги безпеки споруд становлять: зліва – 0,5 м, справа – 0,5 м. Шляхопровід трьох-прогоновий. Статична схема шляхопроводу: 23,5+33+23,5м, нерозрізна.

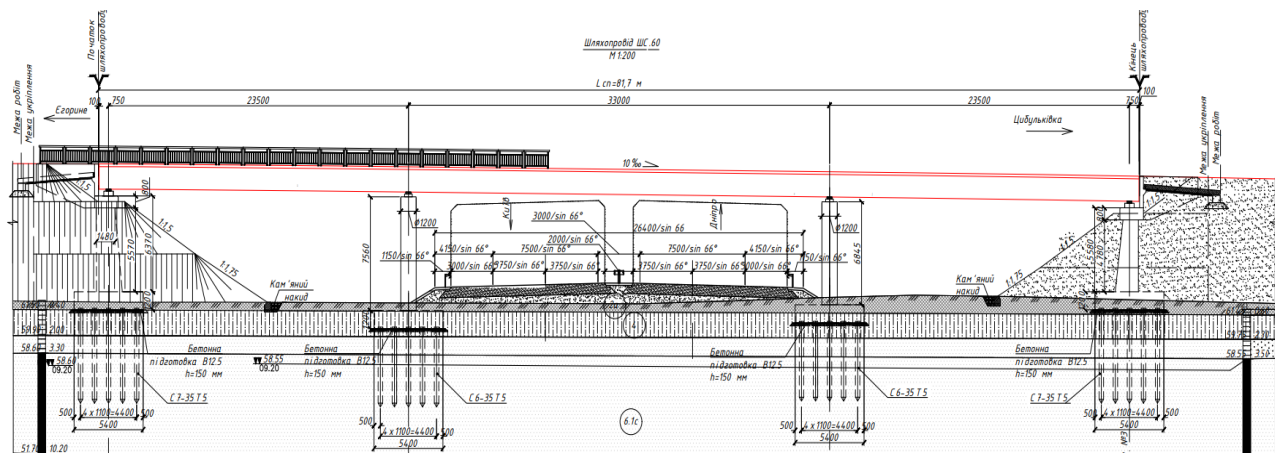


Рисунок 2.1 – Фасад мосту

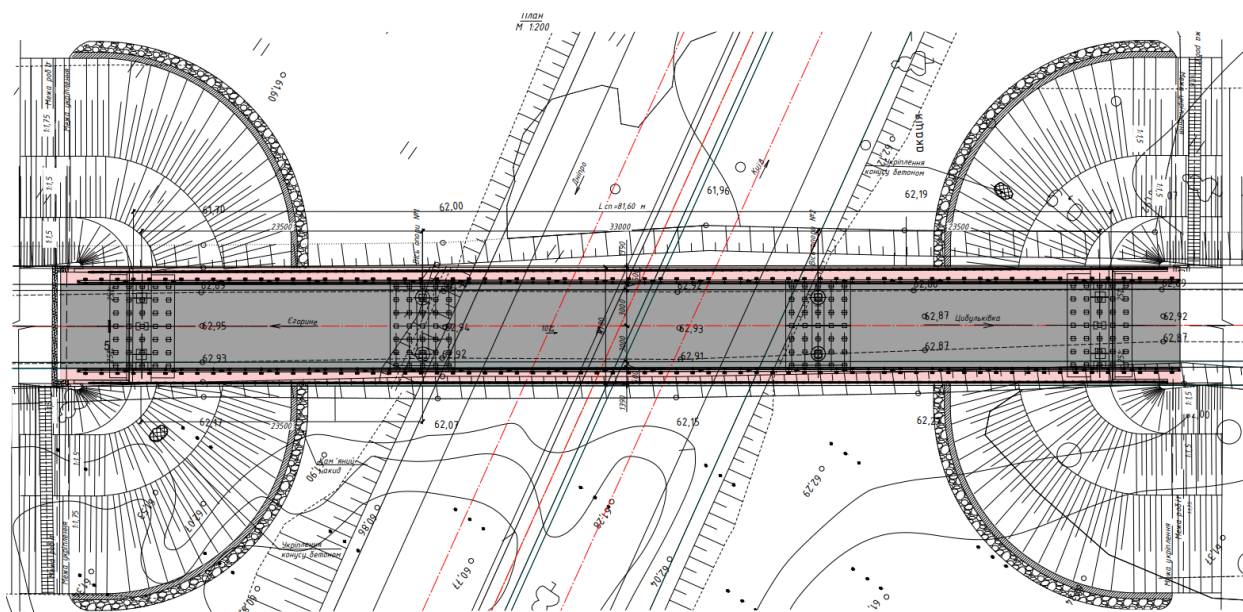


Рисунок 2.2 – План мосту

### 2.3 Опори

Проміжні опори №1 і №2 монолітні залізобетонні стійкові, індивідуального проектування. Фундамент проміжної опори – забивні палі 350x350 мм, довжиною 6,0 м, об'єднані монолітним ростверком.

Крайні опори №0 і №3 монолітні залізобетонні індивідуального проектування. Тіло кожної опори складається із прямокутної стійки (1,48x 5,57м та 1,48x4,78 м товщ. 0,5) кроком 3,3м, монолітної насадки та шафної стінки. Тіло опори обирається на монолітний ростверк, який влаштовується на забивних палях 350x350 мм. Довжина палей 6.0 та 7.0 м.. Випуски з палей заходять в монолітні ростверки.

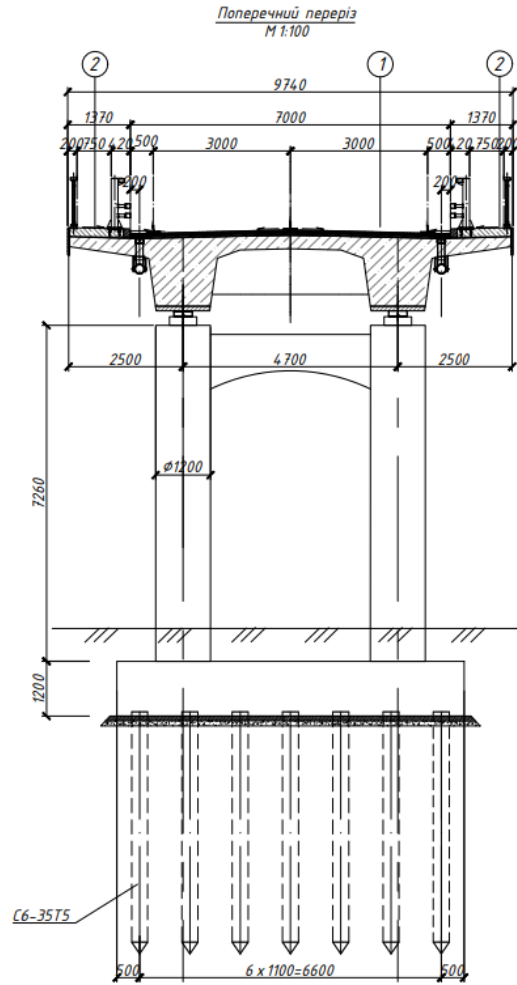


Рисунок 2.3 – Переріз мосту вид на опору №1

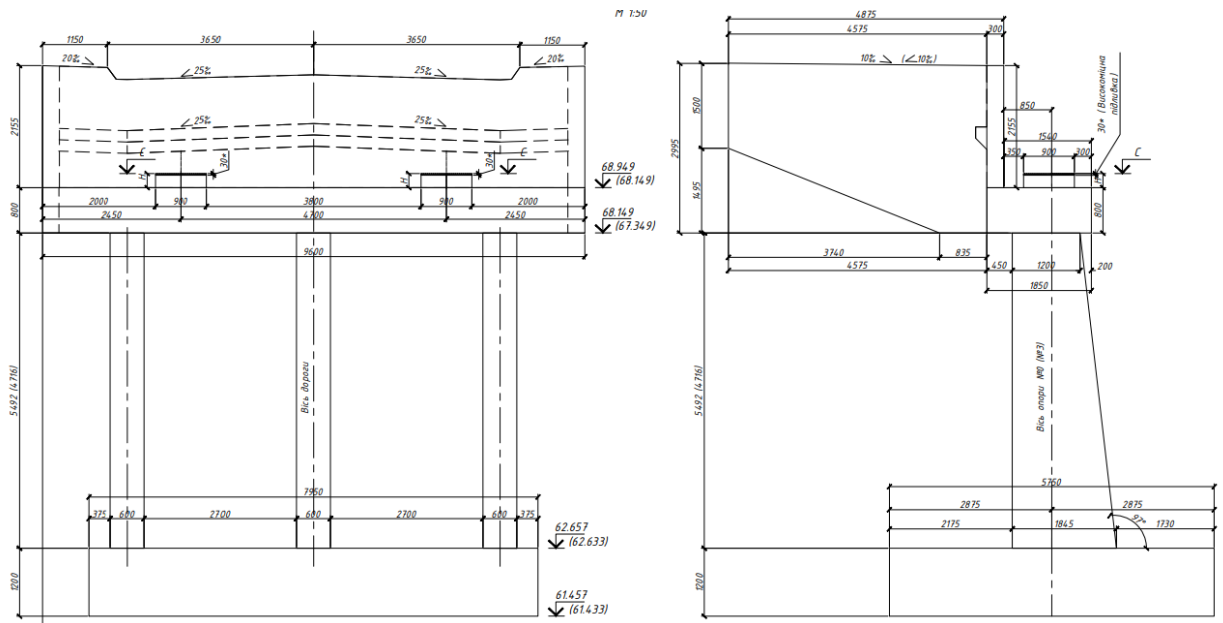


Рисунок 2.4 – Крайні опори №0 і №3



## РОЗДІЛ 3

### ВАРІАНТИ ПРОГОНОВИХ БУДОВ

#### 3.1 Монолітна нерозрізна прогонова будова

Прогонова будова споруди – монолітна нерозрізна балкова з попередньо напруженого залізобетону з незмінними розмірами балки 1500x1300 мм. Балки об'єднані монолітними поперечними діафрагмами висотою на опорах – 1200 мм. Має схему 23,50+33,00+23.50м.

Проект розроблено відповідно чинним будівельним нормам, технічним умовам, правилам та стандартам з урахуванням вимог вибухової та пожежної безпеки, та правил техніки безпеки в будівництві. Шляхопровід розрахований на навантаження А-11, НК-80 та натовп. Використовується бетон класу В40, F300, W8.

Натяг пучків на бетон здійснюється при його міцності, що становить не менше 70% від проектного класу бетону. Початкові напруження в пучках 1400 Н/мм<sup>2</sup>. Зусилля на домкрат 3990 кН

Загальний поперечний переріз

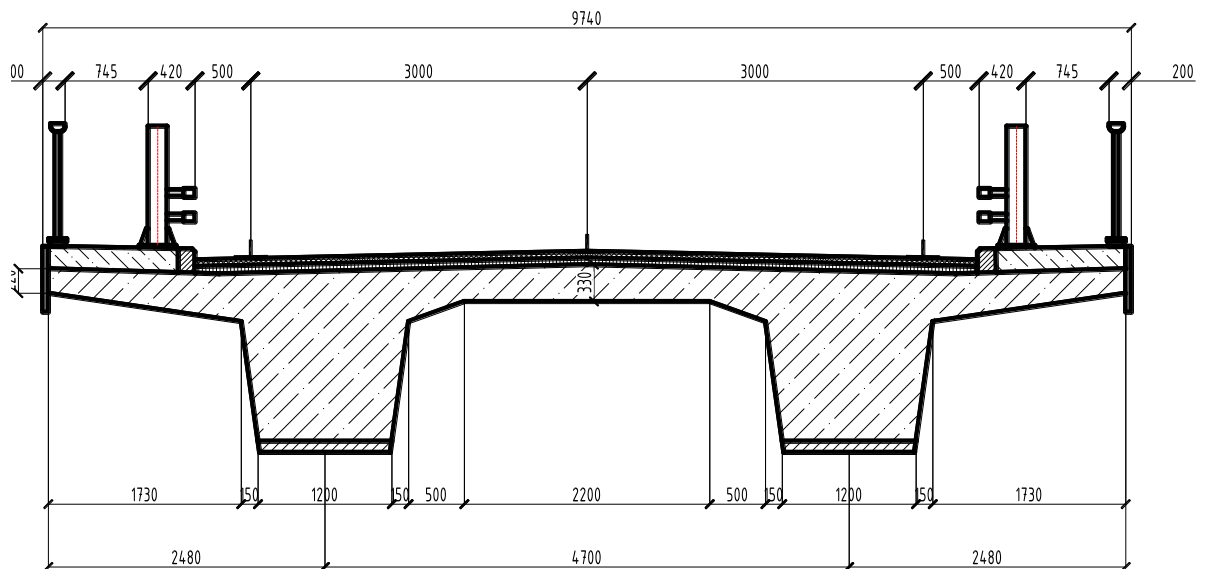


Рисунок 3.1 – Поперечний вид на прогонову будову

Таблиця 3.1 – Відомість деталей і матеріалів попередньо напруженої арматур

Поз.	Позначення	Найменування	Кільк.	Маса кг	Примітки
		Деталі			
1		Пучок 6819(19 канатів Y1860 S7 за EN10138, $\varnothing$ 15,7 мм, 150мм <sup>2</sup> )	шт. м.п. кг		8 675 15033,0
2		Натяжний анкер МА 2311 6819 фірми Dywidag	шт.		16
3		Каналоутворювач металева труба $\varnothing$ 95x0.4мм, оцинкована, за EN 523	м.п.		683
4		З'єднання анкерів та куплерів з каналоутворювачем	шт.		16
		Матеріали			
		Заповнювач, високоміцний розічин	м <sup>3</sup>		2.9
	Бетон прогонової будови	Бетон В40, F300, W8	м <sup>3</sup>		541.5

Таблиця 3.2 – Витрати арматури

Марка елемента	Вироби арматурні												Разом, кг
	Арматура класу, кг												
	ДСТУ 3760:2019(ГОСТ 5781-82)												
	A240C(A-I)			A400C(A- III)									
	$\varnothing$ 8	$\varnothing$ 10	$\varnothing$ всього	$\varnothing$ 10	$\varnothing$ 12	$\varnothing$ 14	$\varnothing$ 16	$\varnothing$ 18	$\varnothing$ 20	$\varnothing$ 22	$\varnothing$ 25	Всього	
489.	121.	611.	183.	77	120	90	45	67	98	98	57664.	58276.	
9	8	7	7	73.0	14.2	98.7	85.6	35.6	84.9	84.9	6	2	

### 3.2 Балки ДерждорНДІ 33, 24 м

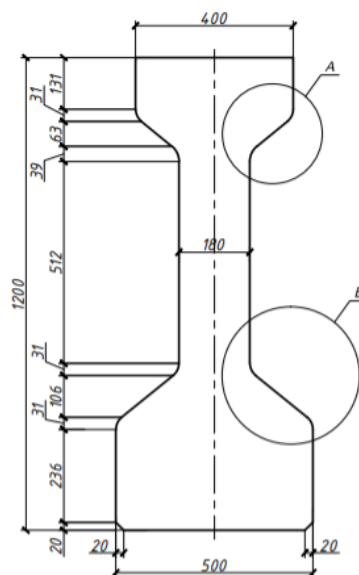


Рисунок 3.2 – Загальний вид балки впоперек

Балка розроблена у відповідності до вимог ДБН В.1.2-15:2009 «Мости та труби. Навантаження і впливи», ДБН В.2.3-14:2006 «Мости та труби. Правила проектування», ДБН В.2.3-22:2009 «Мости та труби. Основні вимоги проектування». Балки розраховані на збірно-монолітний варіант прогонової будови, який передбачає влаштування монолітної або збірно-монолітної плити проїзної частини товщиною 200 – 225 мм, (клас бетону за міцністю на стиск В35-В45), гідроізоляції та а/б покриття товщиною до 150 мм. Тимчасові рухомі навантаження А-15 та НК-100.

Конструкція призначена для використання в новому будівництві та ремонтах транспортних споруд, розташованих на автомобільних дорогах загального користування та міських вулицях.

Компоновка габаритів. Балки використовують для компоновки габаритів мостів згідно вимог ДБН В.2.3-22:2009. Відстань між балками приймалася 160 см, виліт тротуарної консолі 100 см.

Матеріали. Для виготовлення балок прогонових будов використовується бетон з середньою щільністю від 2200 до 2500 кг/м<sup>3</sup> за ДСТУ Б В.2.6-2:2009. Клас бетону за міцністю на стиск В45, за морозостійкістю – F200 (за ДБН В.2.3-

14). Попередньо-напружена арматура – канати типу К-7 (діаметр  $D=15,0$  мм) за ГОСТ 13840-68. Ненапружена арматура та сталь закладних деталей, що використовуються для армування балки представлені в таблиці 3.3.



Рисунок 3.3 – балка с плоскою плитою та балка без плити

Таблиця 3.3 – Напружена арматура та закладні деталі

Найменування сталі	Вид виробу	Марка сталі
Арматурна сталь Класу А-I	Закладні деталі	СтЗсп, СтЗпс, СтЗкп
Арматурна сталь Класу А-III	В'язальні сітки та каркаси	25Г2С
Арматурна сталь Класу Вр-II	В'язальні сітки	За ГОСТ 7348
Прокатна сталь штабова	Закладні деталі	16Д СтЗсп.СтЗпс

Робочі креслення розроблені для крайньої і проміжної балок. Крайні балки відрізняються від проміжних наявністю закладних деталей для кріплення опалубки при влаштуванні монолітного тротуару.

Марка балки (Б 3300.120.40.К, Б 3300.120.40.П) Б – тип конструкції (балка); 120 – висота балки, см; 40 – ширина верхнього поясу, см; К, П – крайні і проміжні. Балка армована в нижній зоні попередньо-напруженими канатами у кількості 54 шт., у верхній зоні – чотирма канатами. Частина канатів «обривається» в прогоні. Обрив здійснюється ізоляцією кінцевих ділянок промасленим щільним папером по бітумній мастиці, паклею (мішковиною), що просочена бітумом, або іншим матеріалом при умові виключення щеплення канатів з бетоном.

Напруження канатів виконують домкратами з зусиллям 133 кН. Контрольоване напруження з врахуванням втрат становить 764 МПа. Передача зусилля обтиску на бетон здійснюється при його міцності, що відповідає класу В 40 за ДСТУ Б В.2.7-43-96.

Таблиця 3.4- Витрати арматури на балку 33м

Марка елемента	Робоча арматура	Вироби арматурні							Вироби закладні							Загальні витрати, кг		
		Арматура класу, кг							Разом, кг	Арматура класу, кг							Разом, кг	
		А-III				Арм-ий дріт В <sub>p</sub> -II	В'язальний дріт	А-I		А-III	Всього, кг	Ст.3сп			Разом, кг			
		ГОСТ 5781-82										ГОСТ 5781-82	ГОСТ 5781-82	ГОСТ 82-70				
Канати типу К-7 (Ø15 мм)	Ø8	Ø12	Ø16	Всього	Ø6	ГОСТ 5781-82	ГОСТ 5781-82	Ø8	Ø36	Ø16	Всього, кг	510x460x12	100x80x10	Всього, кг				
Б3300.120.40.П	2103,49	213,0	1313,86	1049,51	2576,37	14,71	17,00	2608,08	1,04	43,1	18,16	62,3	44,2	---	44,2	106,5	4818,07	
Б3300.120.40.К	2103,49	213,0	1313,86	1049,51	2576,37	14,71	17,00	2608,08	15,76	43,1	18,16	77,02	44,2	28,98	73,18	150,2	4861,77	

Таблиця 3.5 – Витрати матеріалів на балку 33м

Марка елемента	Клас Бетону	Витрати матеріалів на виріб						маса
		Бетон, м <sup>3</sup>	К-7	А-I	А-III	Вр- II	Ст.3сп	т
Б3300.120.40П	В45	12.2	2103.49	44.14	2576.37	14.71	44.2	32.85
Б3300.120.40К		12.2	2103.49	58.86	2576.37	14.71	73.18	32.89

Таблиця 3.6 – Витрати арматури на балку 24м

Марка елемента	Робоча арматура	Вироби арматурні							Вироби закладні							Загальні витрати, кг		
		Арматура класу, кг							Разом, кг	Арматура класу, кг							Разом, кг	
		А-III				Арматурний дріт В <sub>p</sub> -II	В'язальний дріт	А-I		А-III	Всього, кг	Ст.3сп			Разом, кг			
		ГОСТ 5781-82										ГОСТ 5781-82	ГОСТ 5781-82	ГОСТ 82-70				
Канати типу К-7 (Ø15 мм)	Ø8	Ø12	Ø16	Всього	Ø6	ГОСТ 5781-82	ГОСТ 5781-82	Ø8	Ø36	Ø16	Всього, кг	510x460x12	100x80x10	Всього, кг				
Б2400.110.40.П	1134,2	212,56	870,46	374,8	1457,82	10,21	15,00	1483,0	1,04	43,1	17,2	61,34	44,2	---	44,2	105,54	2722,74	
Б2400.110.40.К	1134,2	212,56	870,46	372,8	1457,82	10,21	15,00	1483,0	11,92	43,1	17,2	72,22	44,2	21,42	65,62	137,84	2755,04	

Таблиця 3.7 – Витрати матеріалів на балку 24м

Марка елемента	Клас бетону	Витрати матеріалів на виріб						маса
		Бетон, м <sup>3</sup>	К-7	А-I	А-III	Вр- II	Ст.3сп	т
Б2400.110.40П	В45	7.6	1134.2	44.14	1475	10.21	44.2	20.20
Б2400.110.40К		7.6	2103.49	58.86	147	10.21	65.62	20.20

## РОЗДІЛ 4

### РОЗРАХУНОК РОЗРІЗНИХ ПРОГОНОВИХ БУДОВ ПІД ТИМЧАСОВІ РУХОМІ НАВАНТАЖЕННЯ А-11 ТА НК80

Розрізна балка ДерждорНДІ використовується під тимчасові рухомі навантаження А-15 та НК-100. Для більш точного порівняння прогонних будов було прийнято рішення розрахувати балку ДерждорНДІ на 33 та 24м під тимчасові рухомі навантаження А-11 та НК-80.

Чисельний аналіз провадиться відповідно до вимог положень ДБН В.2.3-14:2006 «Посібники з оцінки та прогнозування технічного стану автодорожніх мостів», ДБН В.1.2-15:2009 «Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження та впливу», та інші нормативні документи.

Розрахунок проводиться на основі реальних розмірів елементів будівництва, механічних характеристик матеріалів та опис наявних дефектів, зафіксованих в результаті обстеження.

Тимчасові навантаження А-11 та НК-80 розподіляються між балками відповідно до коефіцієнта поперечної установки (КПУ). КПУ визначається за узагальненим методом позацентрового стиску М.Є. Гібшмана для кожного виду навантаження окремо, як сума ординат ліній впливу тиску під центрами тяжіння транспортних одиниць або смуг навантаження, для натовпу як ордината під точкою додатка рівнодіючої. Розглядають три варіанти тимчасового завантаження. Перший варіант завантаження А-11 + натовп Розрахункові смуги навантаження зміщуються на край проїжджої частини з відстанню 1,5 м від осі навантаження до смуги безпеки і далі через 3м. У цьому варіанті навантаження від транспортних засобів поєднується з навантаженням натовпу на тротуарі. Другий варіант завантаження А-11 Розрахункові смуги навантаження зміщуються край їздового поля з відстанню 1,5 м від бордюру до осі навантаження і далі через 3м. Враховуються дві смуги навантаження 12 незалежно від габариту моста, що передбачає більше однієї смуги руху. Третій варіант завантаження НК-80 Розрахункова смуга зміщується на край проїжджої

частини з відстанню 1,75 м від осі навантаження до смуги безпеки.  
Обчислюємо геометричні характеристики наведеного перерізу балки.

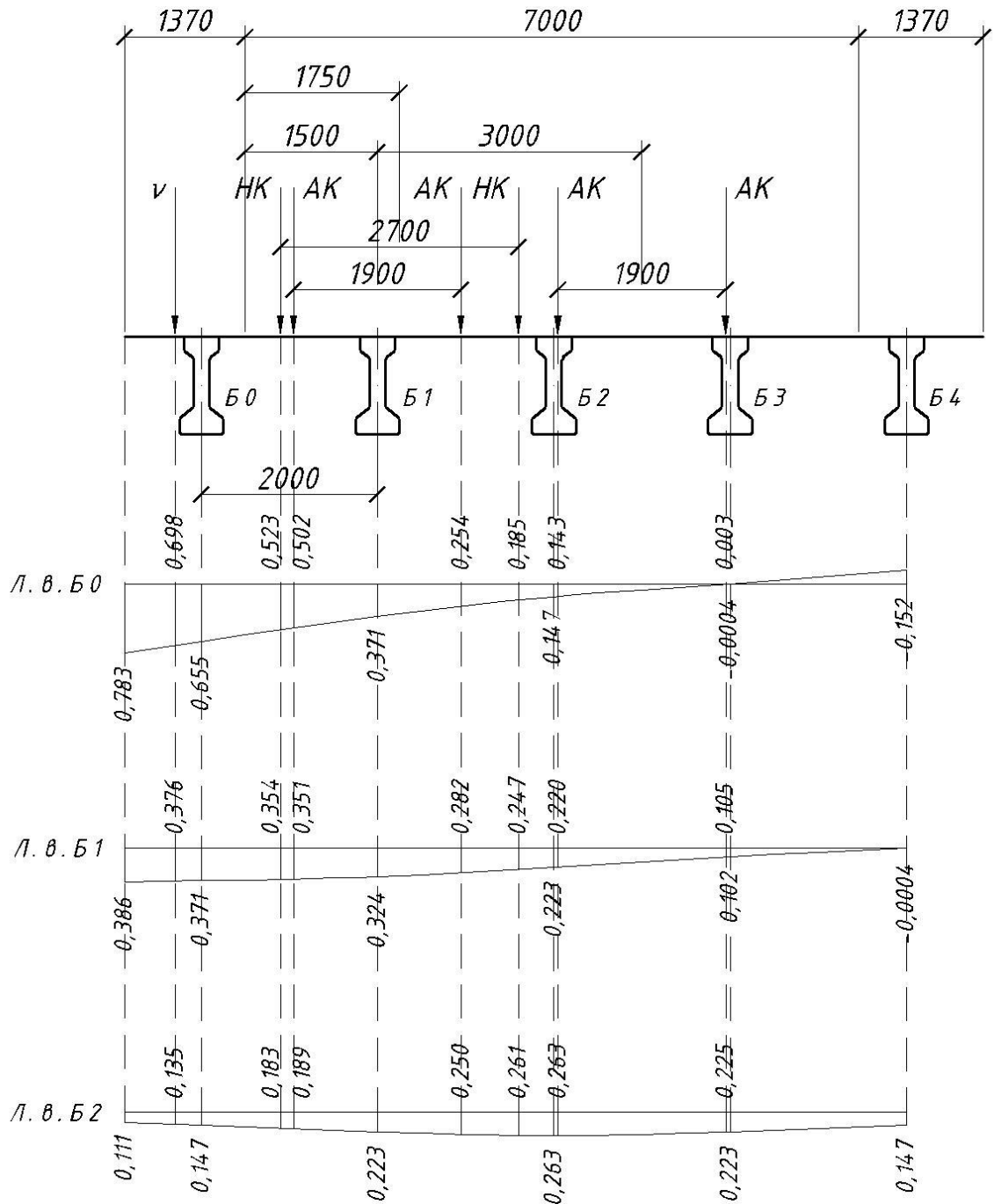


Рисунок 4.1 – Схема до визначення КПУ А-11, НК-80  
для балки довжиною 33 м

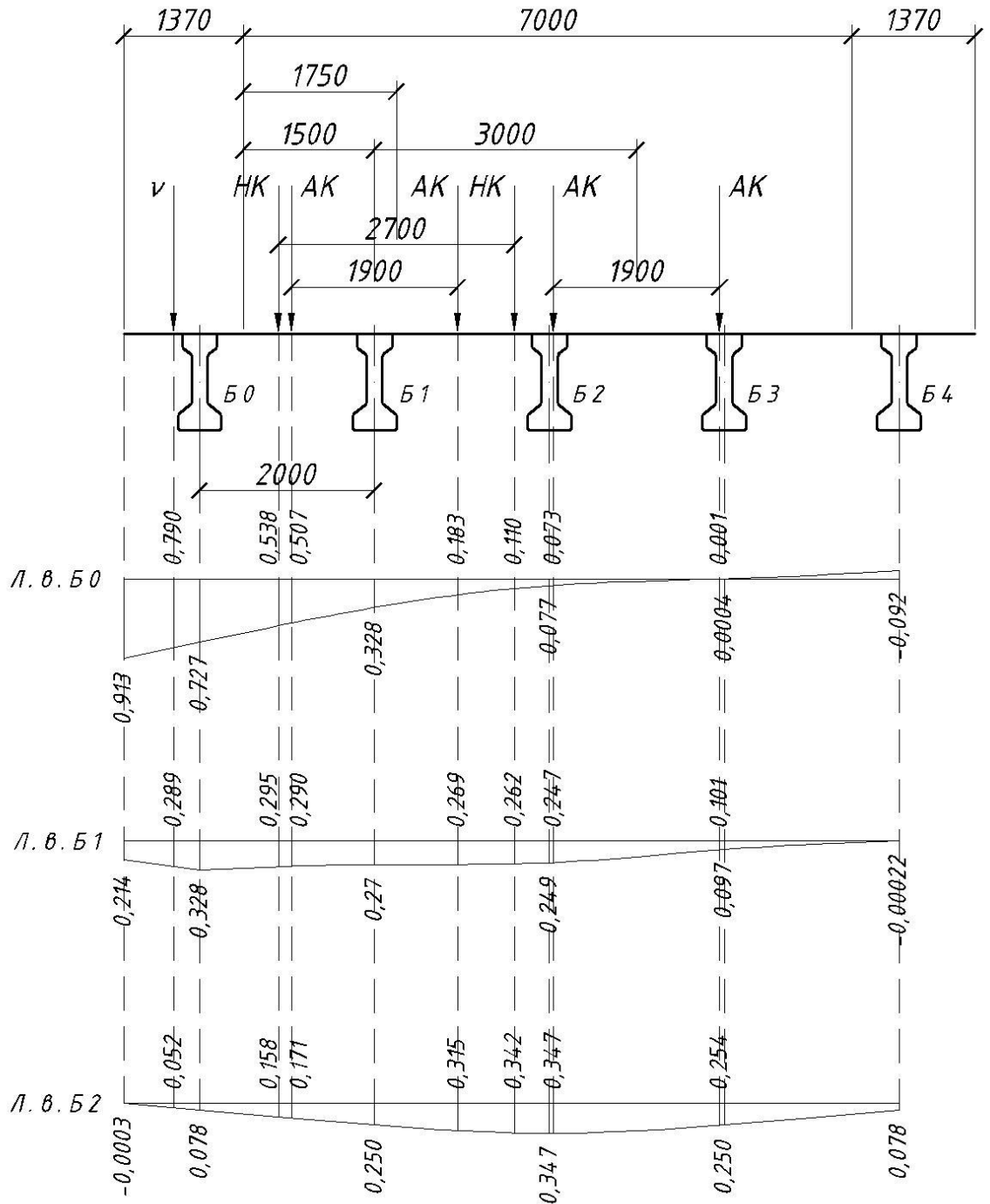


Рисунок 4.2 – Схема до визначення КПУ А-11, НК-80  
для балки довжиною 24 м

Усі подальші розрахунки виконано в комплексі MATHCAD.

## РОЗДІЛ 5

### ЧИСЕЛЬНИЙ АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ВАРІАНТІВ ПРОГОНОВИХ БУДОВ

Розрахунок об'ємної моделі виконується у програмному забезпеченні ANSYS, а побудова виконується у програмі AutoCAD. На основі попередньо зробленої стрижневої схеми, за її лініям, відбувається видавлювання розрахованих перерізів. Готова побудована модель у AutoCAD, імпортується у програмний блок ANSYS Mechanical, де задаються усі граничні умови для моделі та розраховані навантаження. Тип прикладеної сили від навантаження та її значення наведено на рисунках. Далі модель розбивається на скінченні елементи, для подальшого розрахунку самою програмою ANSYS.

#### 5.1 Варіант 1. Нерозрізна монолітна прогонова будова з використанням пост-напруження на бетоні

Має схему 23,50+33,00+23.50 м.

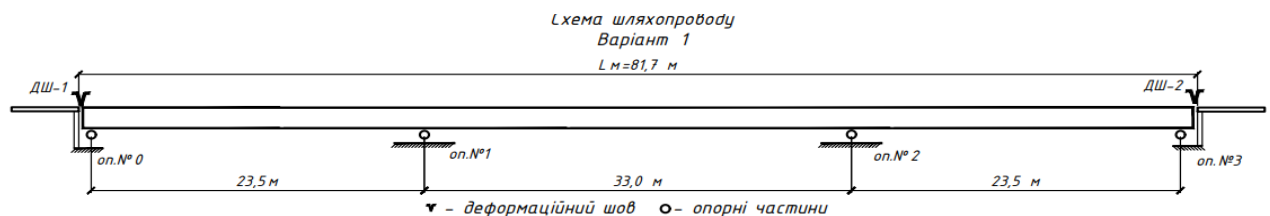


Рисунок 5.1 – Розрахункова схема мосту

Спочатку було змодельовано прогонову будову в програмі AutoCAD. Готова побудована модель у AutoCAD, імпортується в ANSYS. Змодельована нерозрізна балка зображена на рисунку 5.2 та 5.3.

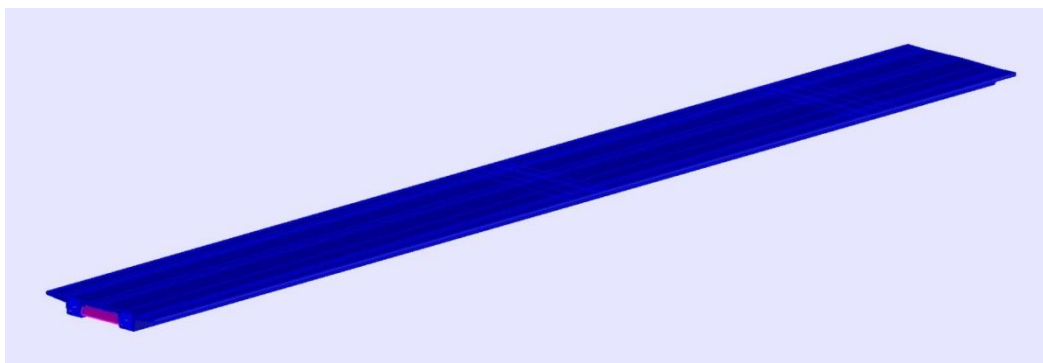


Рисунок 5.2 – Змодельована нерозрізна балка у AutoCAD

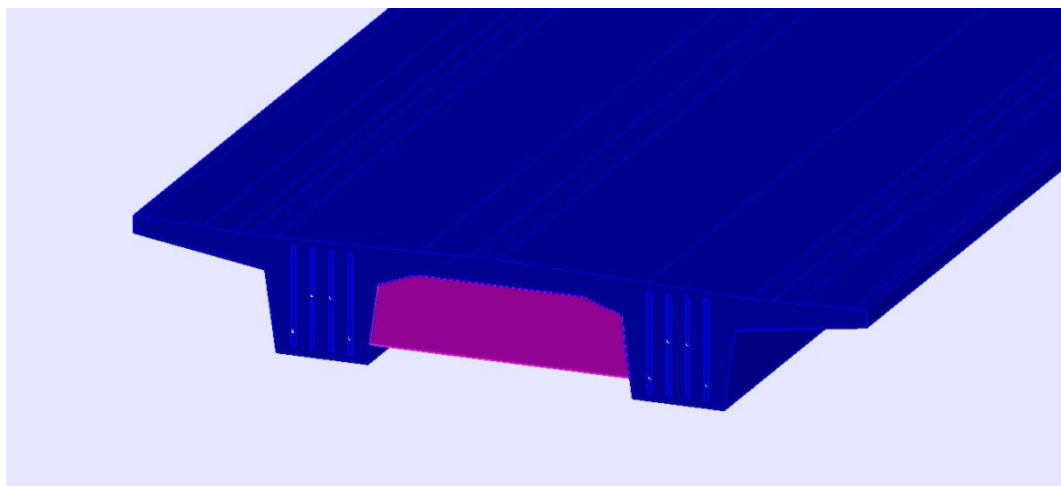


Рисунок 5.3 – Змодельована нерозрізна балка у AutoCAD.  
Розміщення арматури

Далі було пророблено розбиття моделі на скінченні елементи.

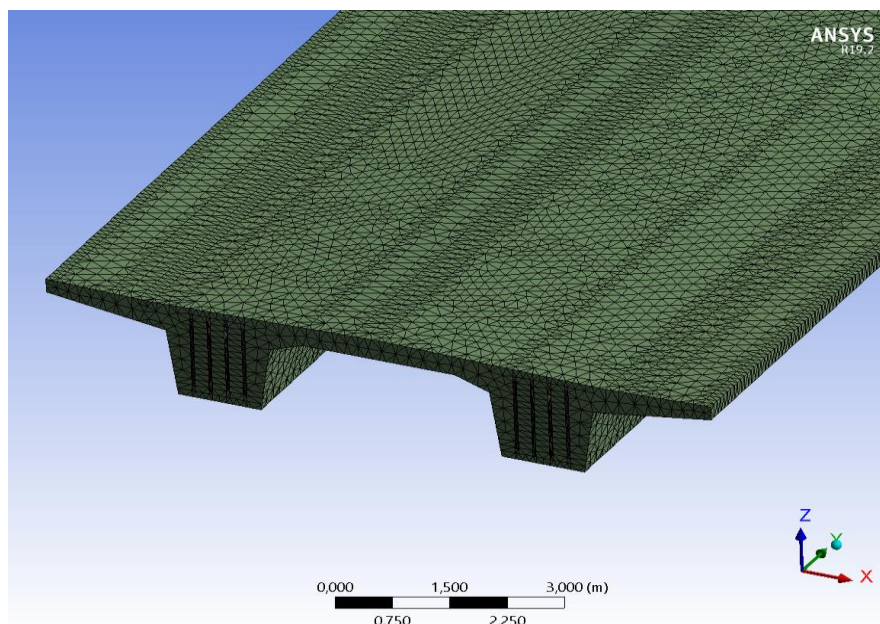


Рисунок 5.4 – Розбивка на скінченні елементи

Statistics	
Nodes	1955727
Elements	997889

Рисунок 5.5 – Кількість скінченних елементів

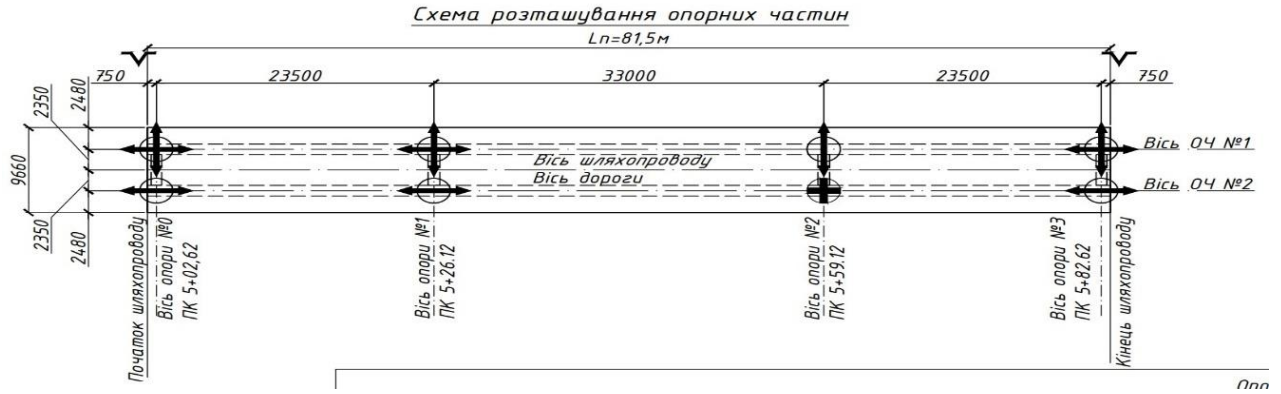


Рисунок 5.6 – Схема розташування опорних частин

Після розбиття моделі на скінченні елементи було задано граничні умови. Наступний крок це задання моделі постійного навантаження від власної ваги, перильного огородження, тротуарної плити, покриття на тротуарі, покриття проїзду. Задання граничних умов та постійного навантаження зображено на рисунках 5.7, 5.8.

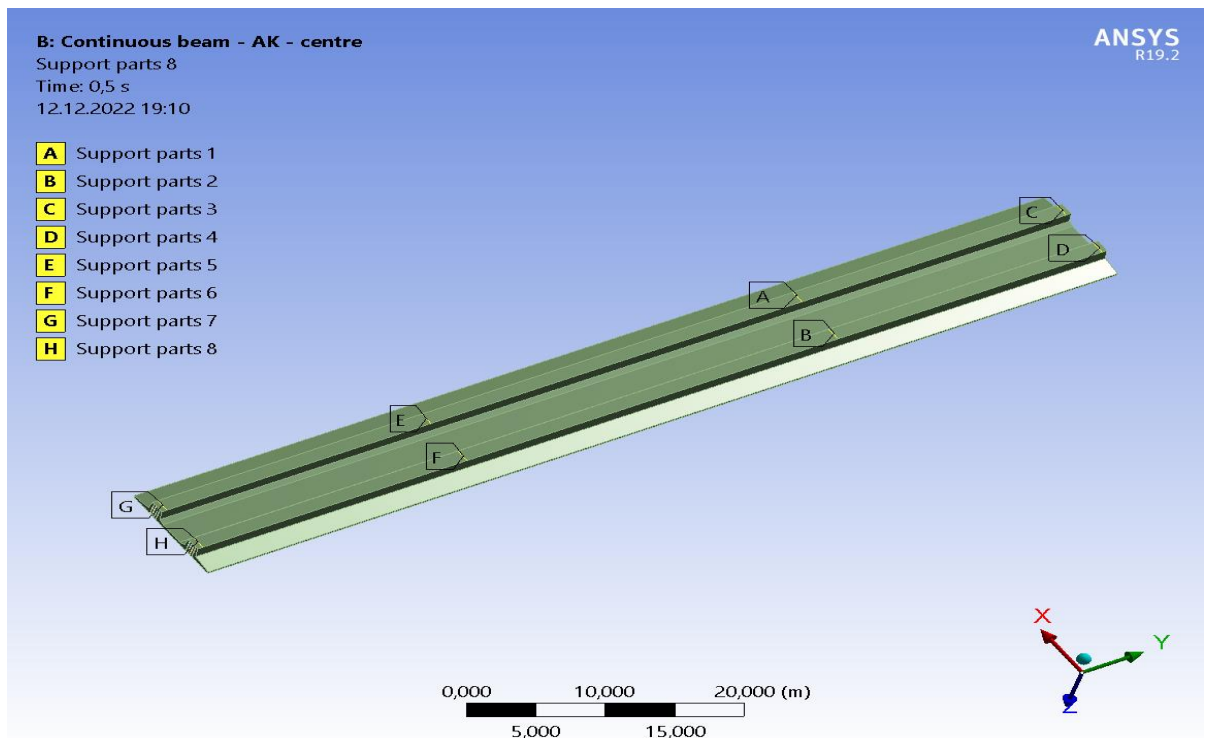


Рисунок 5.7 – Граничні умови

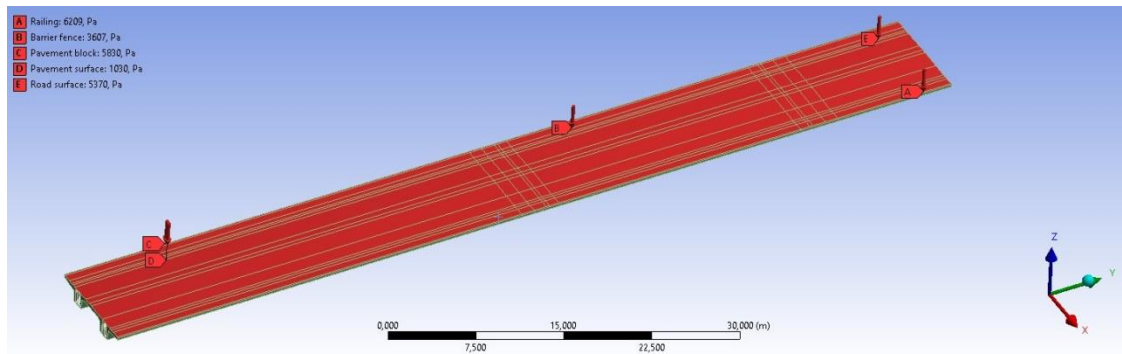


Рисунок 5.8 – Постійне навантаження. ПО, БО, Тротуарна плита, Покриття на тротуари, Покриття проїзду

Діючі сили від пост-напруження задані як бокові стискаючі сили. Зображено на рисунку 5.9.

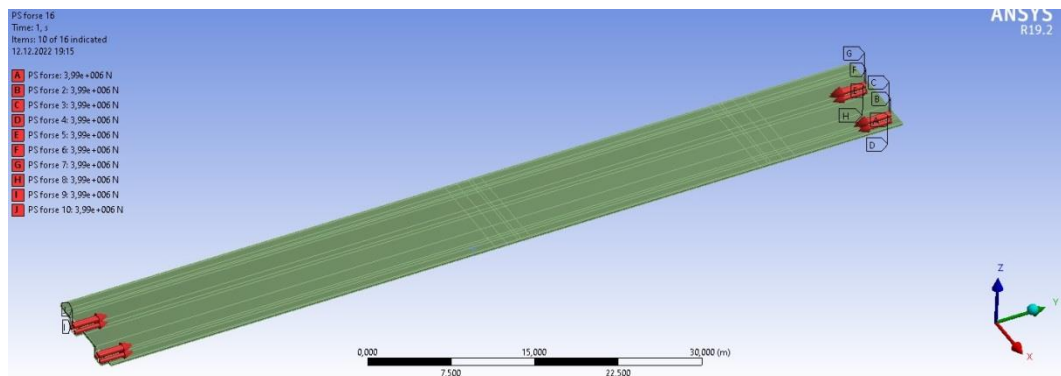


Рисунок 5.9 – Діючі сили від постнапруження

Наступним кроком є задання моделі тимчасового рухомого навантаження А-11 та НК-80. Зображено на рисунках 5.10-5.13.

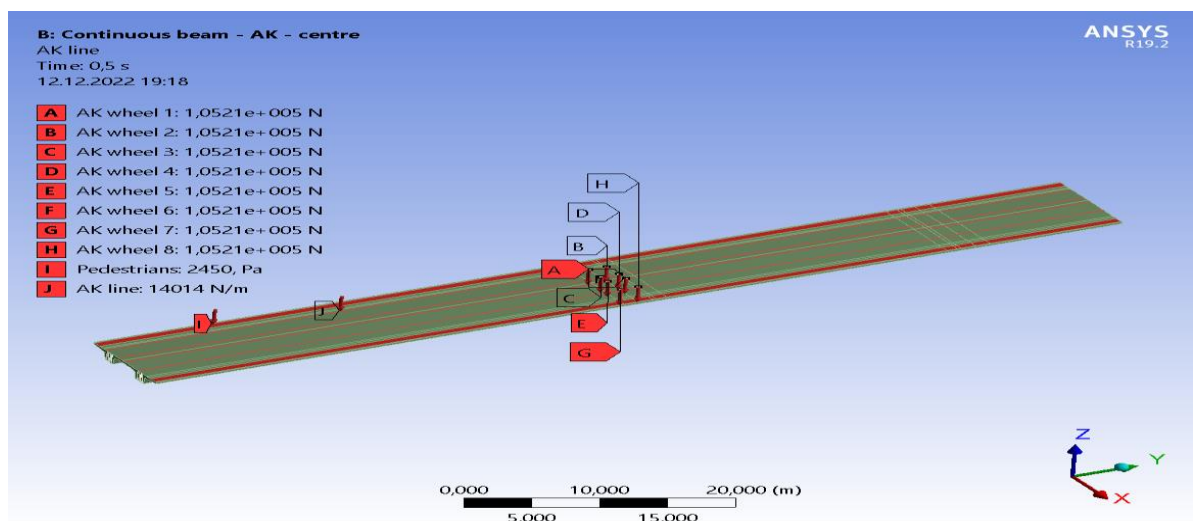


Рисунок 5.10 – Тимчасове навантаження головного прогону за моделлю АК

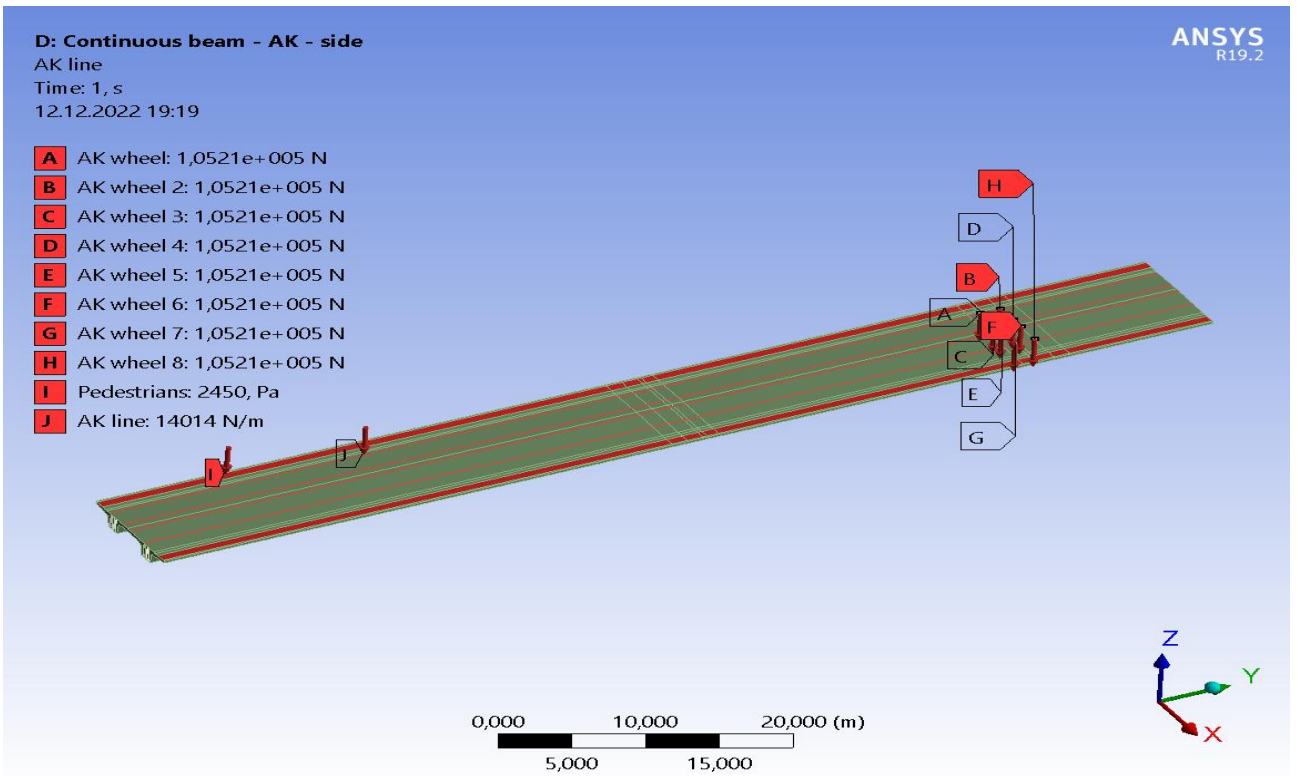


Рисунок 5.11 – Тимчасове навантаження головного прогону за моделлю НК

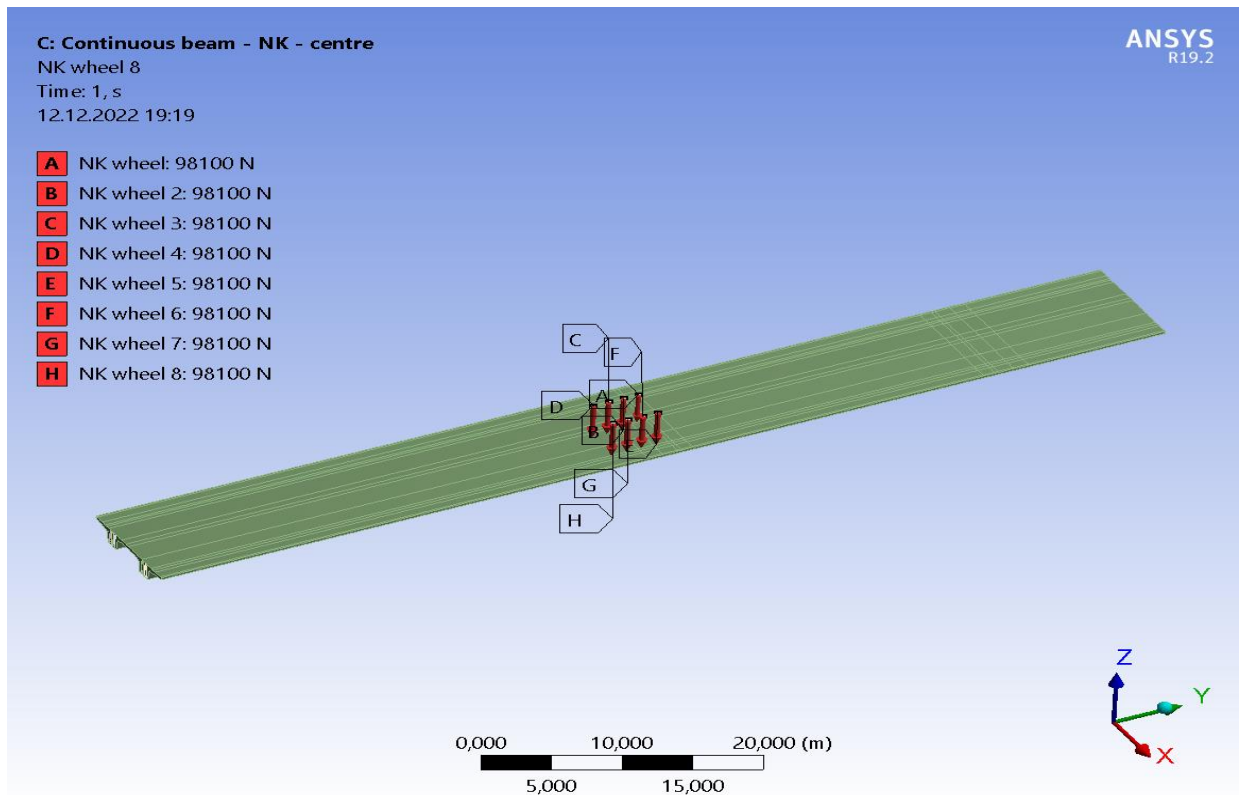


Рисунок 5.12 – Тимчасове навантаження бокового прогону за моделлю АК

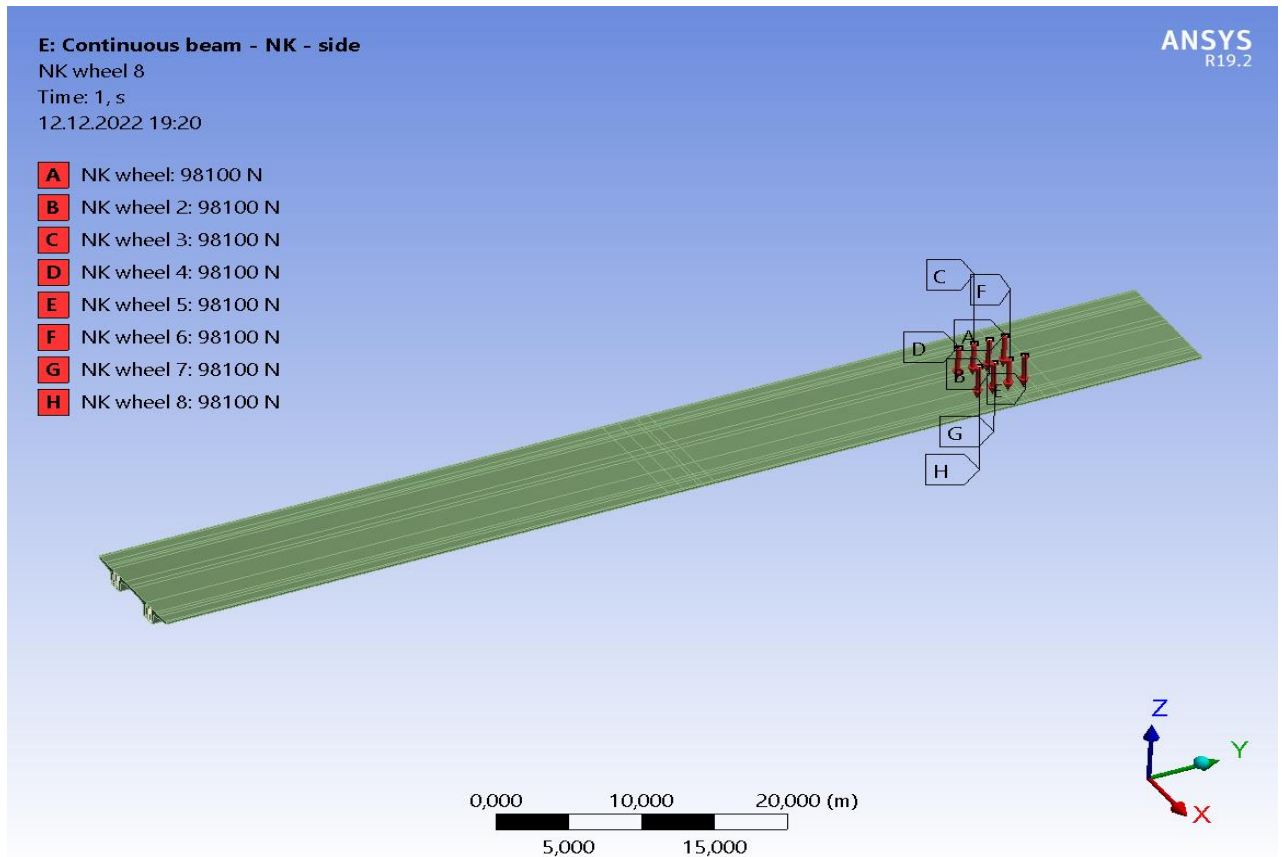


Рисунок 5.13 – Тимчасове навантаження бокового прогону за моделлю НК

Після надання моделі усіх граничних умов та розрахункових навантажень було пророблено розрахунок. Усі результати виведені в рисунках 5.14-5.29 та в таблицях 5.1-5.2

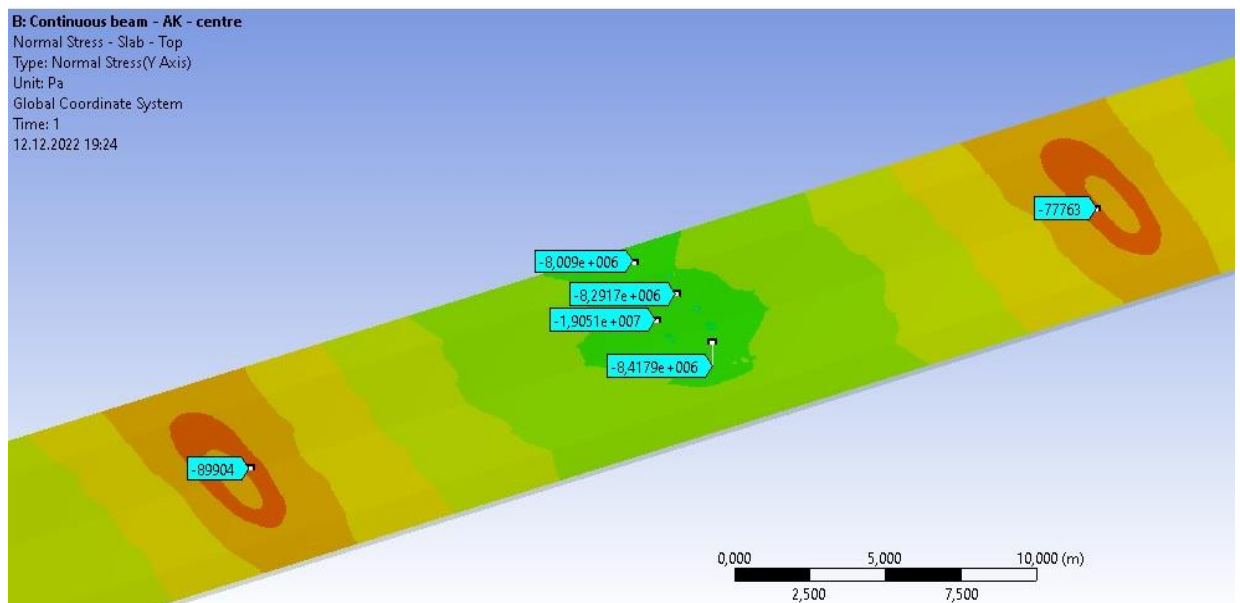


Рисунок 5.14 – Нормальні напруження у верхній площині плити за навантаженням центрального прогону моделлю АК

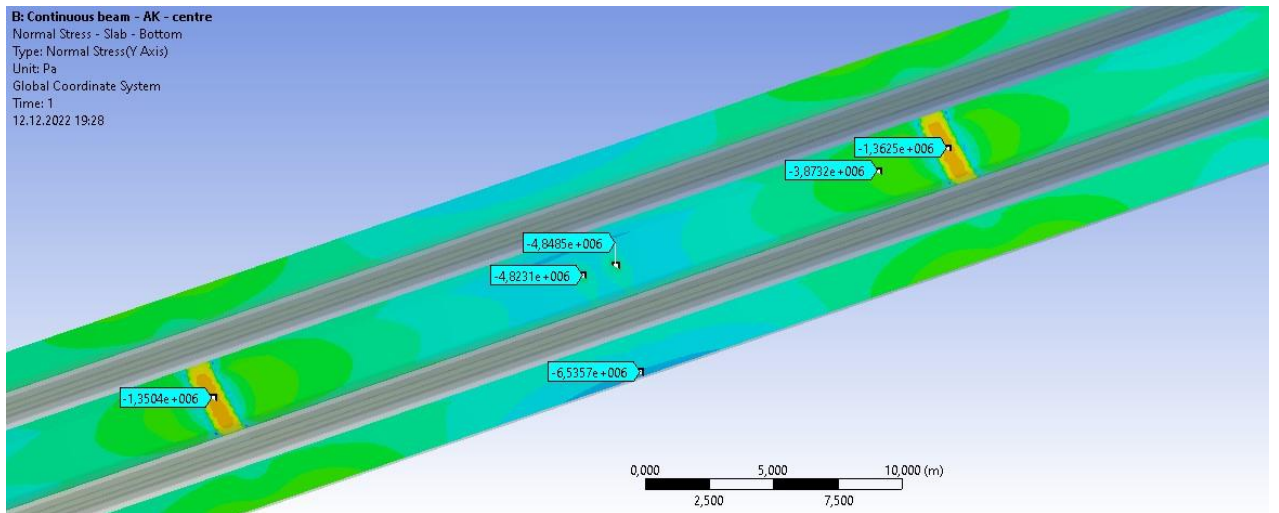


Рисунок 5.15 – Нормальні напруження у нижній площині плити за навантаженням центрального прогону моделлю АК

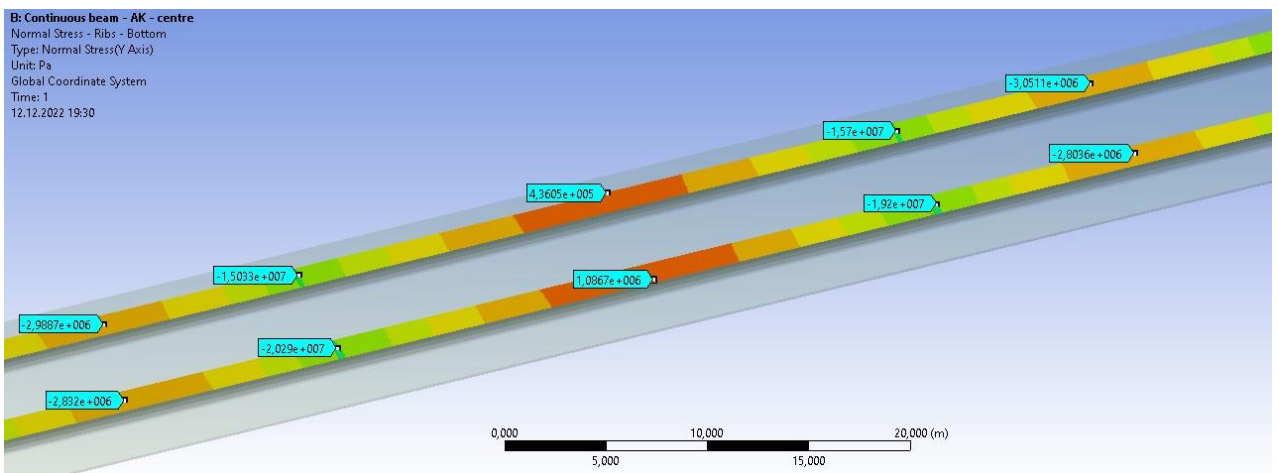


Рисунок 5.16 – Нормальні напруження у нижній площині ребер за навантаженням центрального прогону моделлю АК

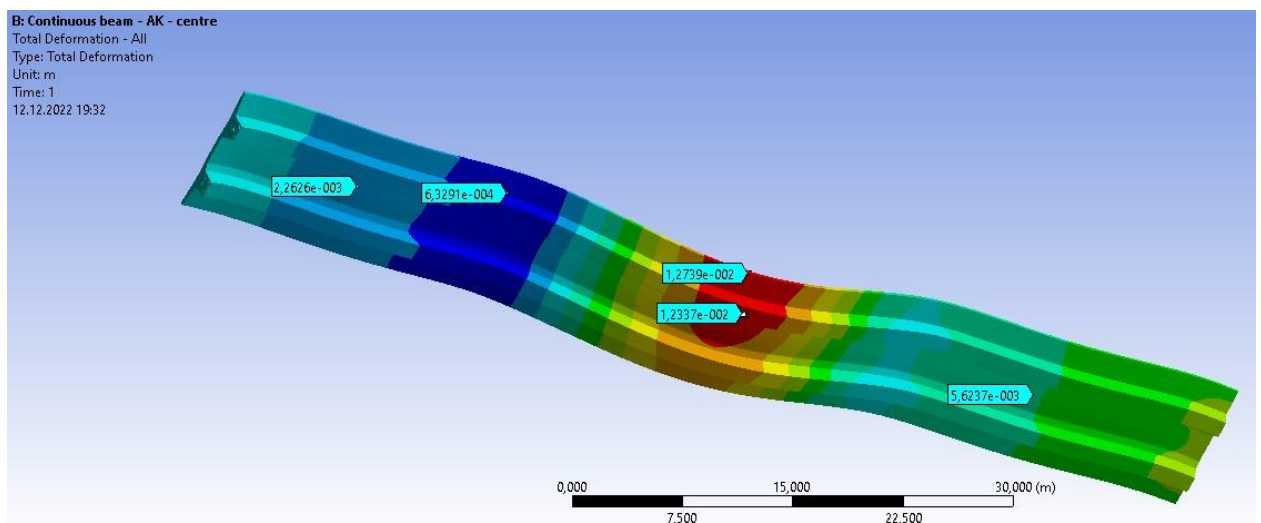


Рисунок 5.17 – Загальні переміщення за навантаженням центрального прогону від моделі АК

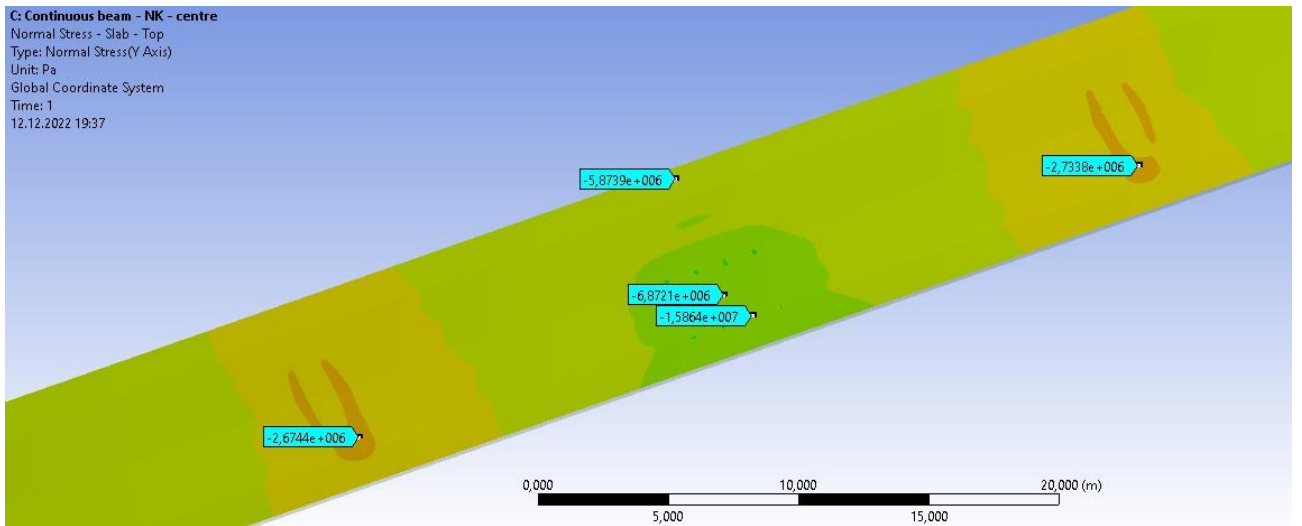


Рисунок 5.18 – Нормальні напруження у верхній площині плити за навантаженням центрального прогону моделлю НК

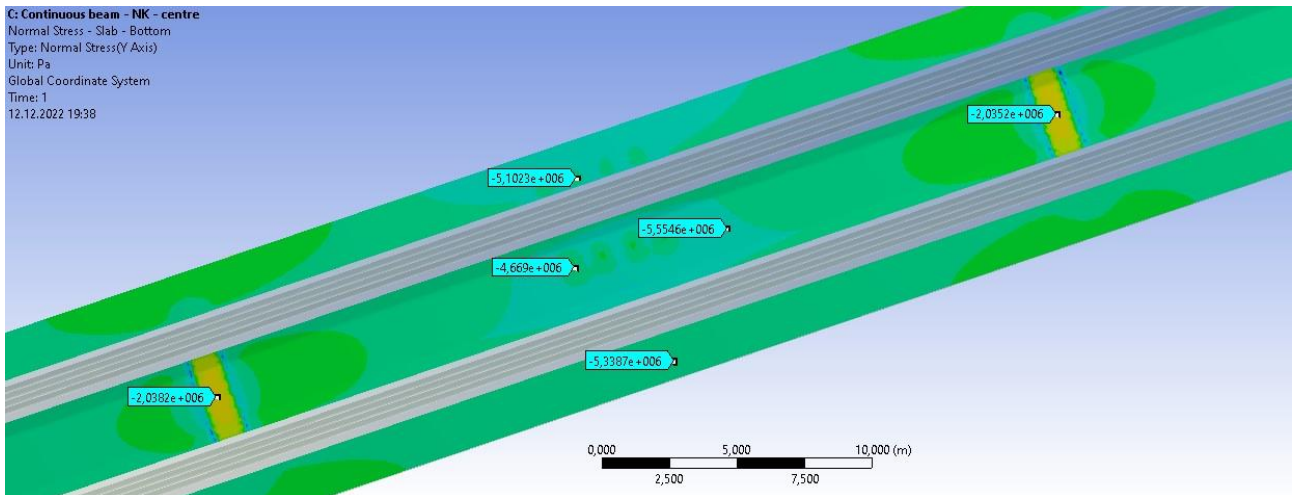


Рисунок 5.19 – Нормальні напруження у нижній площині плити за навантаженням центрального прогону моделлю НК

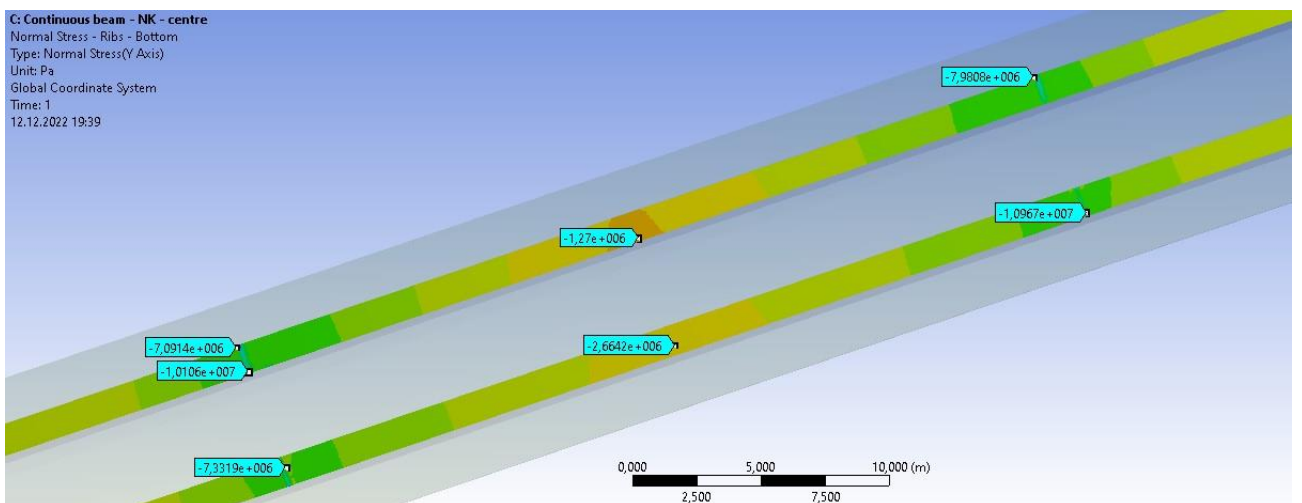


Рисунок 5.20 – Нормальні напруження у нижній площині ребер за навантаженням центрального прогону моделлю НК

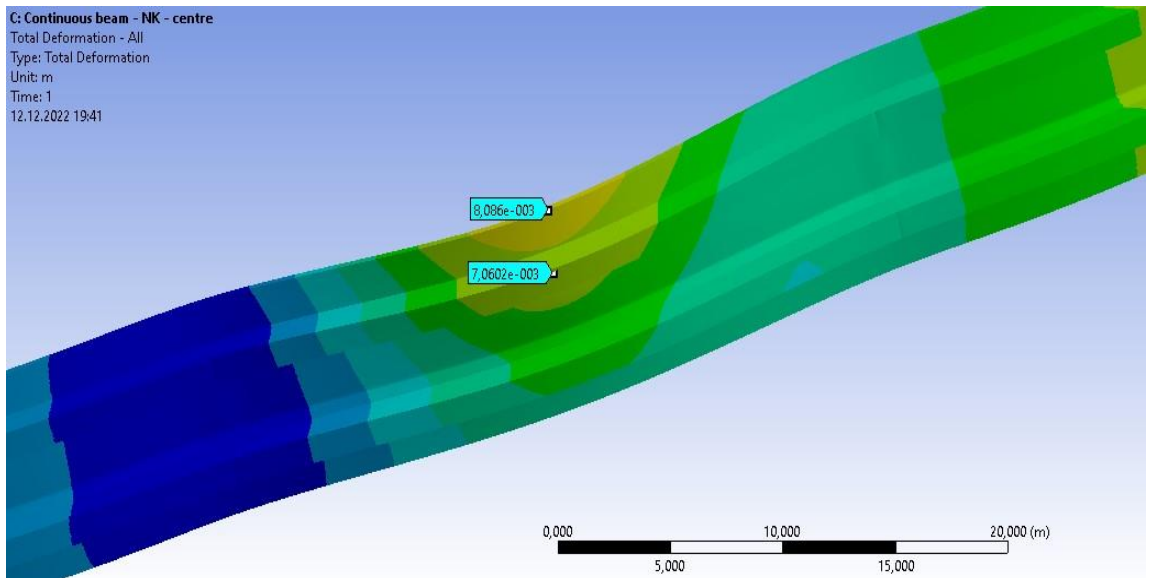


Рисунок 5.21 – Загальні переміщення за навантаженням центрального прогону від моделі НК

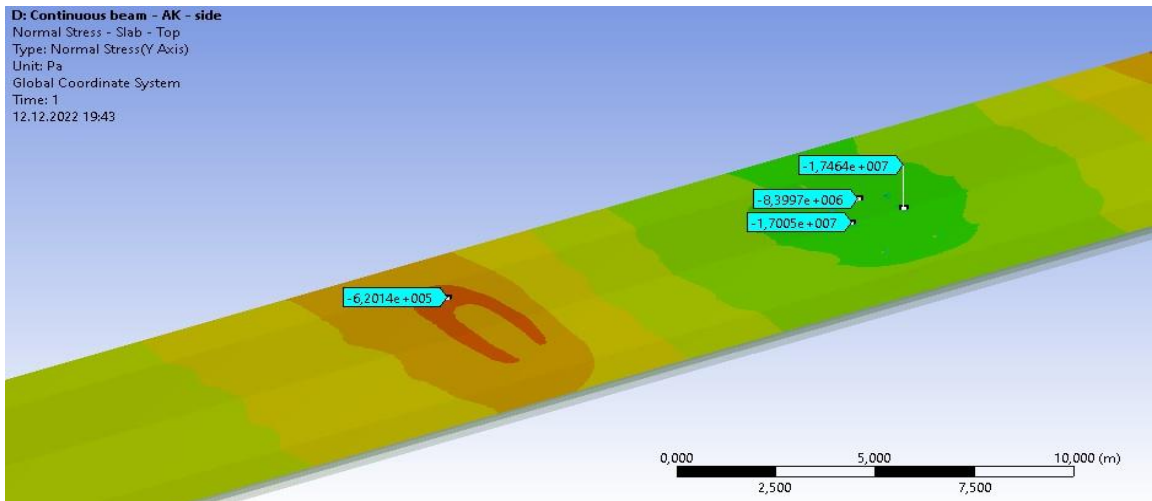


Рисунок 5.22 – Нормальні напруження у верхній площині плити за навантаженням бокового прогону моделлю АК

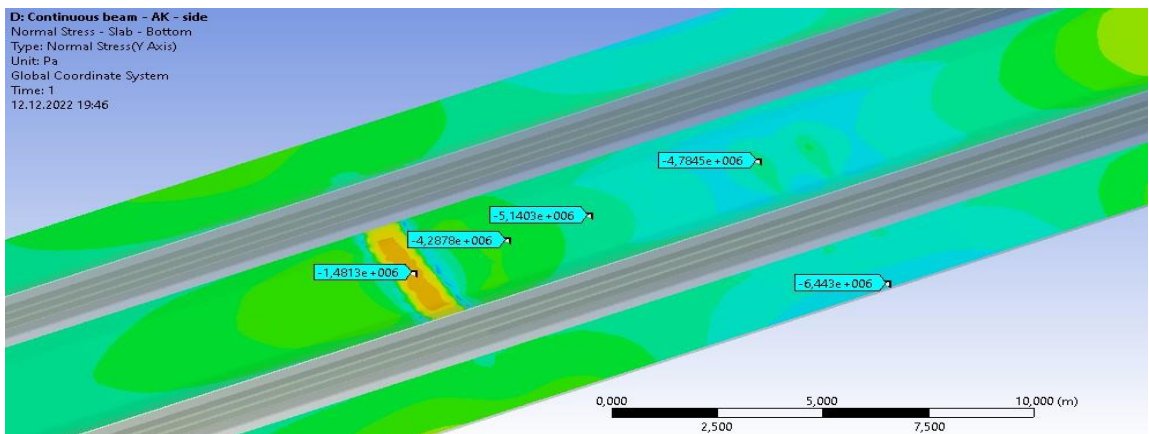


Рисунок 5.23 – Нормальні напруження у нижній площині плити за навантаженням бокового прогону моделлю АК

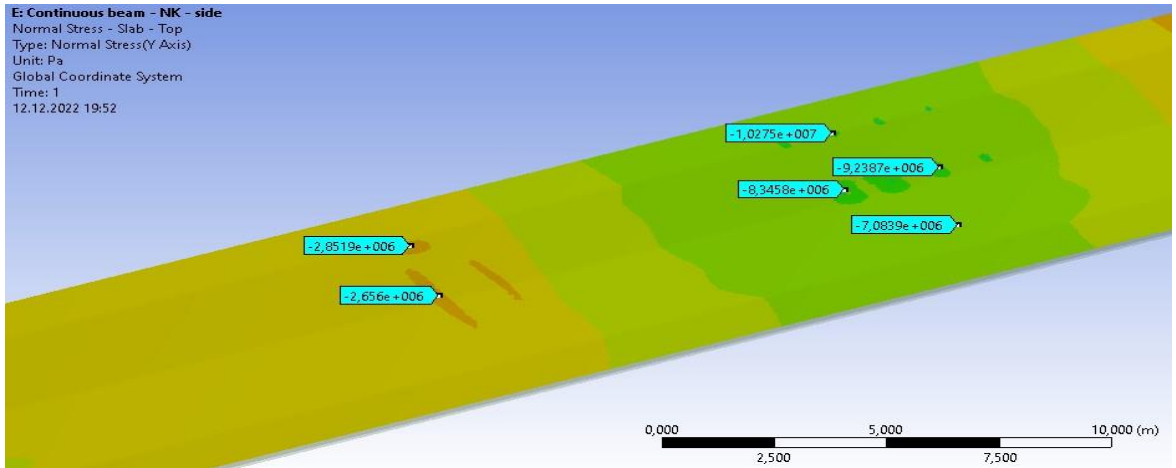


Рисунок 5.24 – Нормальні напруження у нижній площині ребер за навантаженням бокового прогону моделлю АК

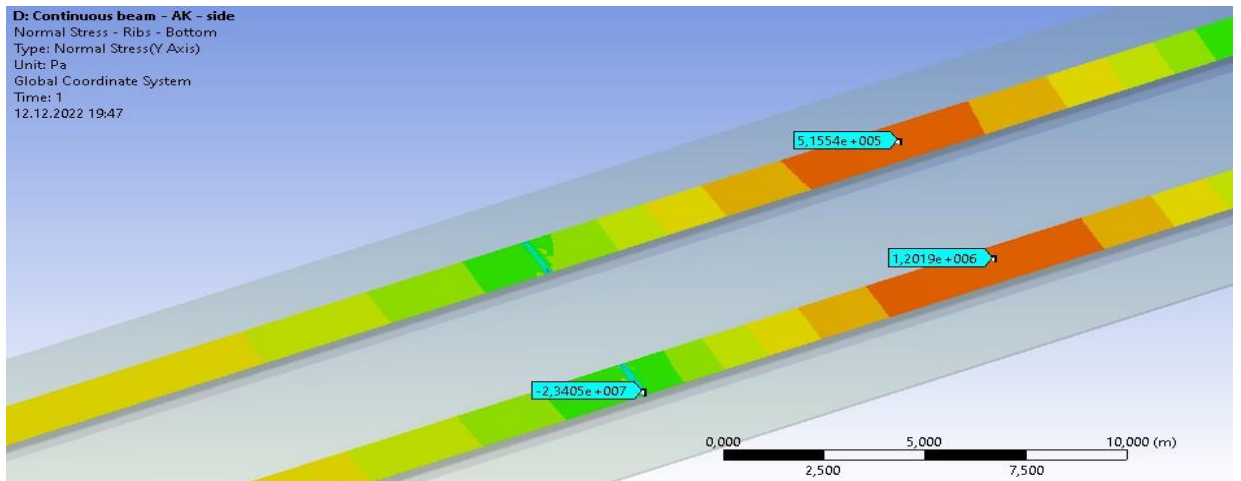


Рисунок 5.25 – Загальні переміщення за навантаженням бокового прогону від моделі АК

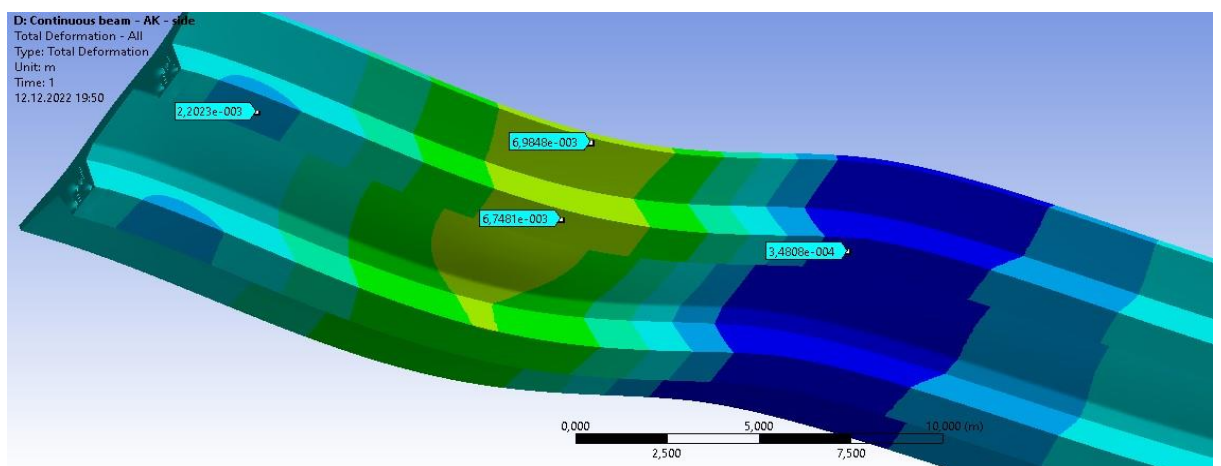


Рисунок 5.26 – Нормальні напруження у верхній площині плити за навантаженням бокового прогону моделлю НК

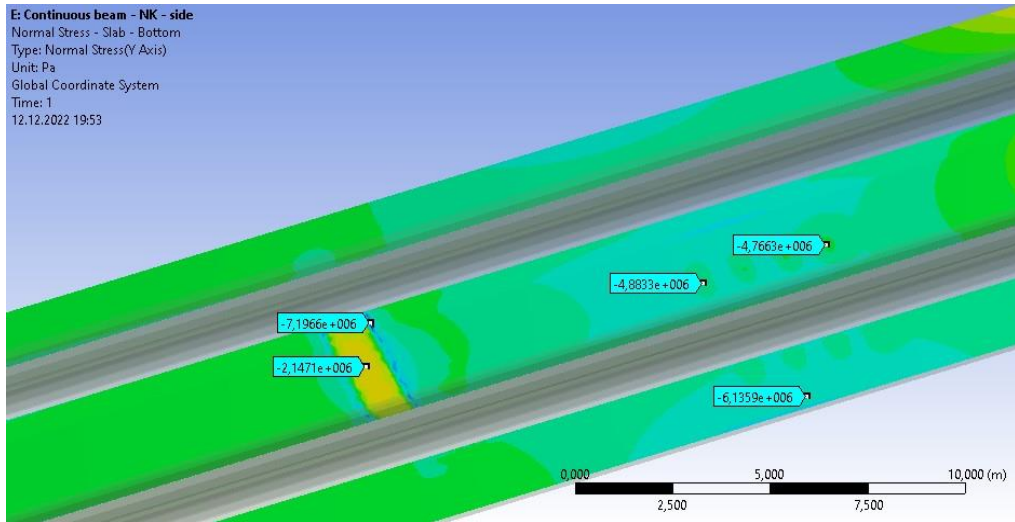


Рисунок 5.27 – Нормальні напруження у нижній площині плити за навантаженням бокового прогону моделлю НК

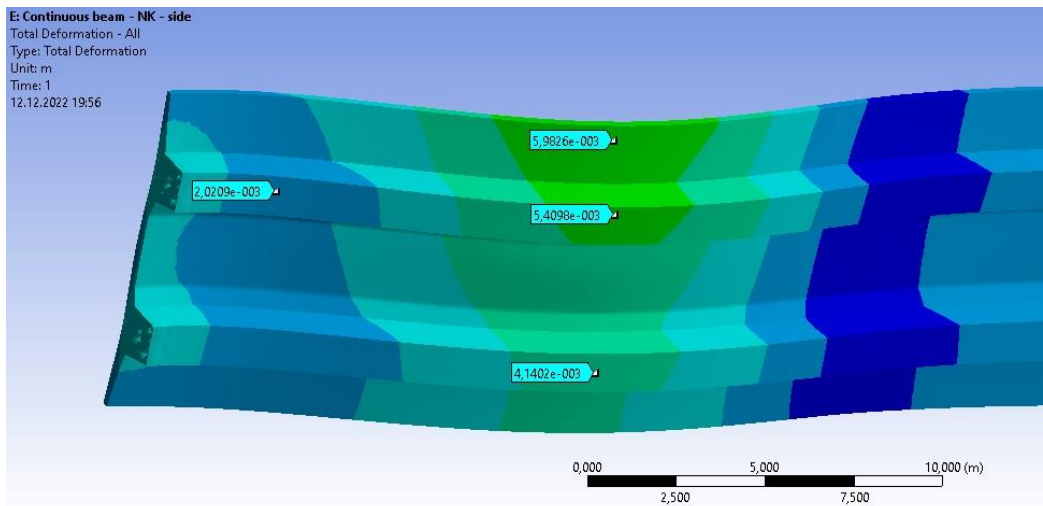


Рисунок 5.28 – Нормальні напруження у нижній площині ребер за навантаженням бокового прогону моделлю НК

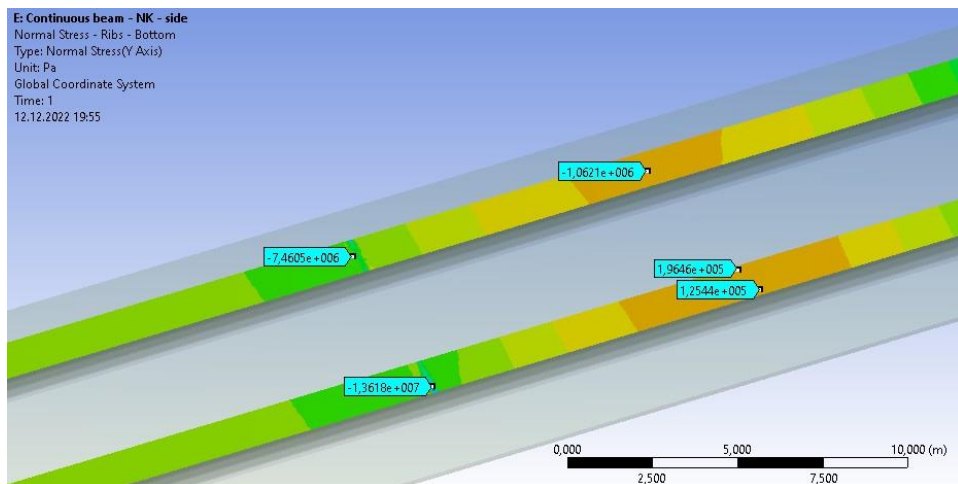


Рисунок 5.29 – Загальні переміщення за навантаженням бокового прогону від моделі НК

## 5.2 Варіант 2. Розрізні прогонові будови 33, 24 м

Повторюємо всі вище показані операції з 33 та 24 метровими розрізними прогоновими будовами з використанням попереднього-напруження.

### 5.2.1 Прогонова будова 33 м

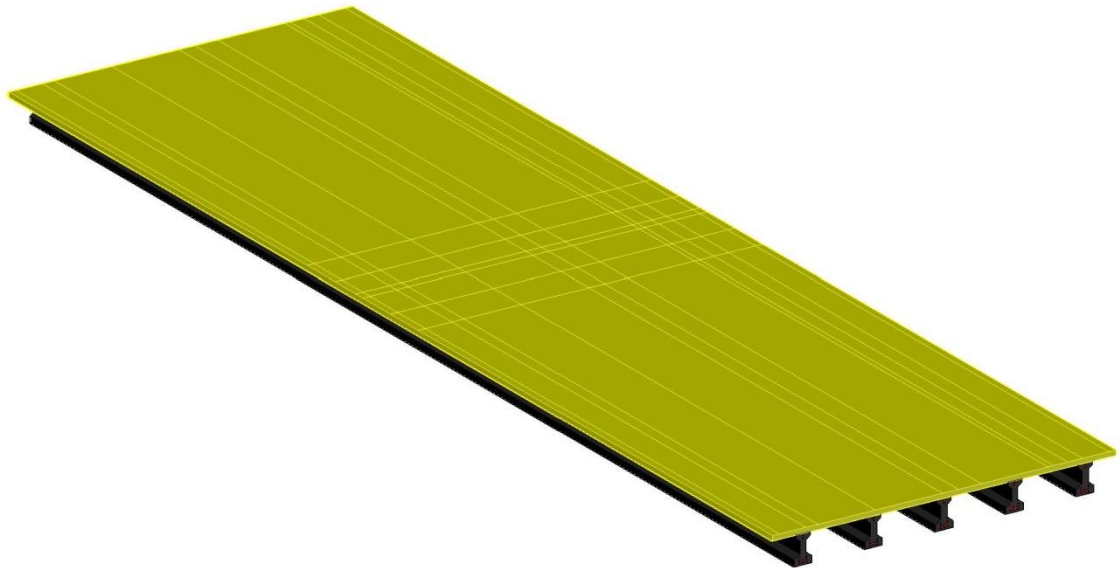


Рисунок 5.30 – Змодельована розрізна 33 м прогонова будова AutoCAD

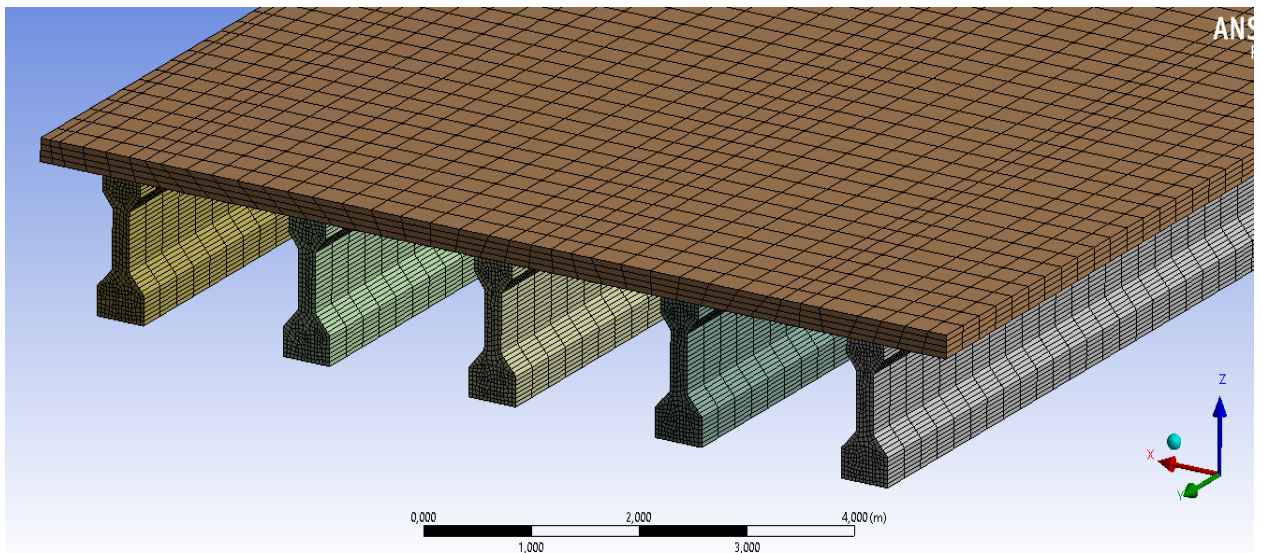


Рисунок 5.31 – Розбивка на скінченні елементи

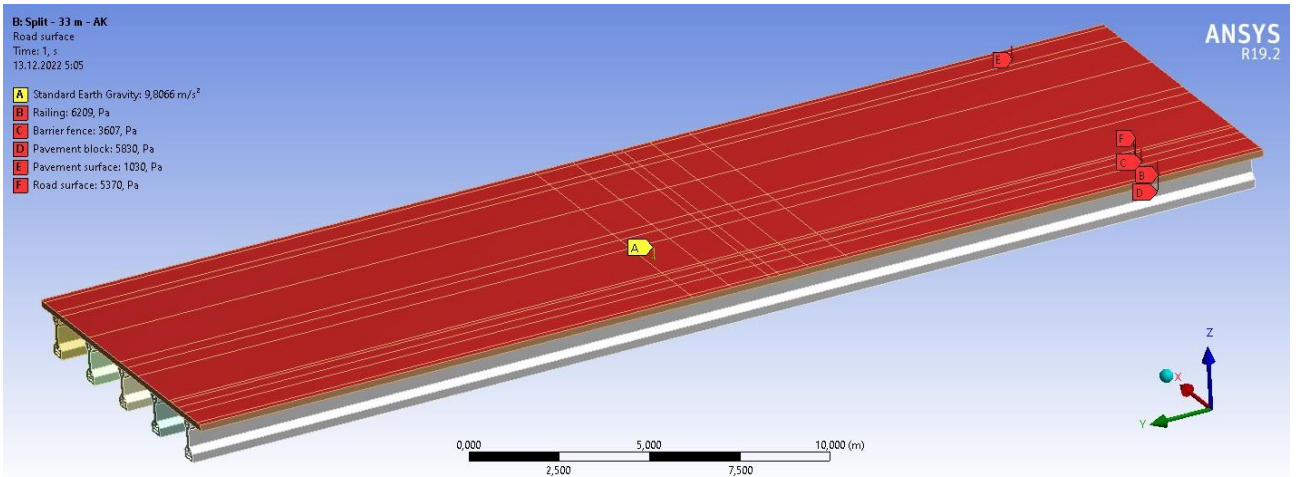


Рисунок 5.32 – Постійне навантаження. ПО, БО, Тротуарна плита, Покриття на тротуари, Покриття проїзду

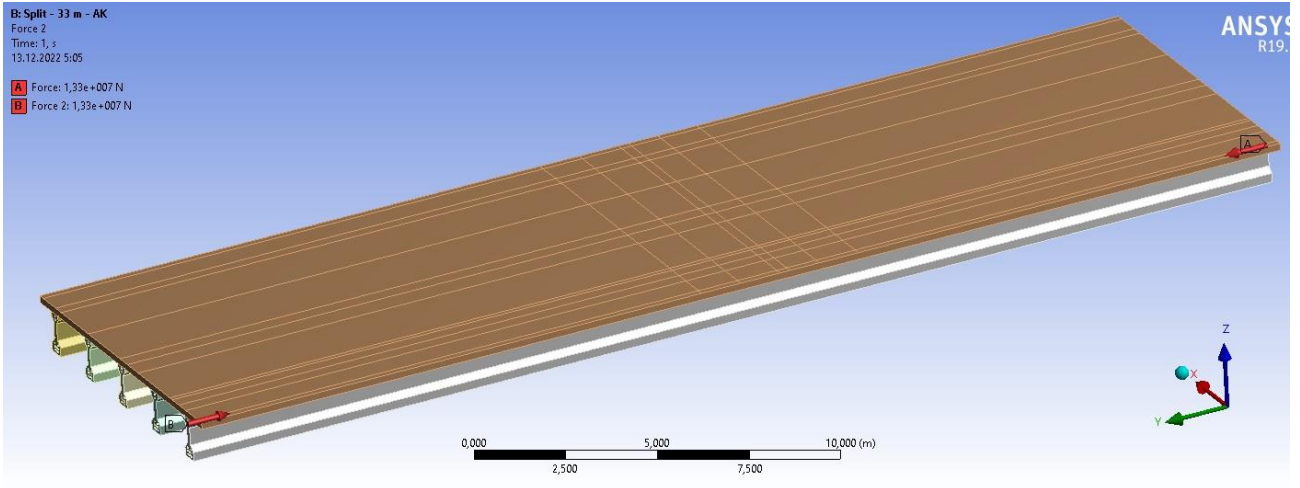


Рисунок 5.33 – Діючі сили від попереднього-напруження

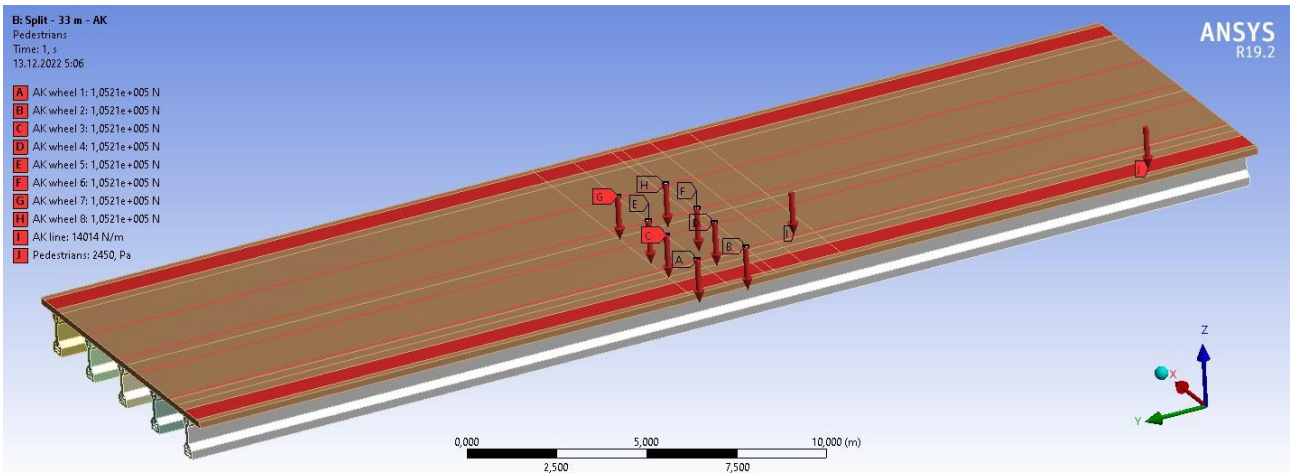


Рисунок 5.34 – Схема навантаження за АК

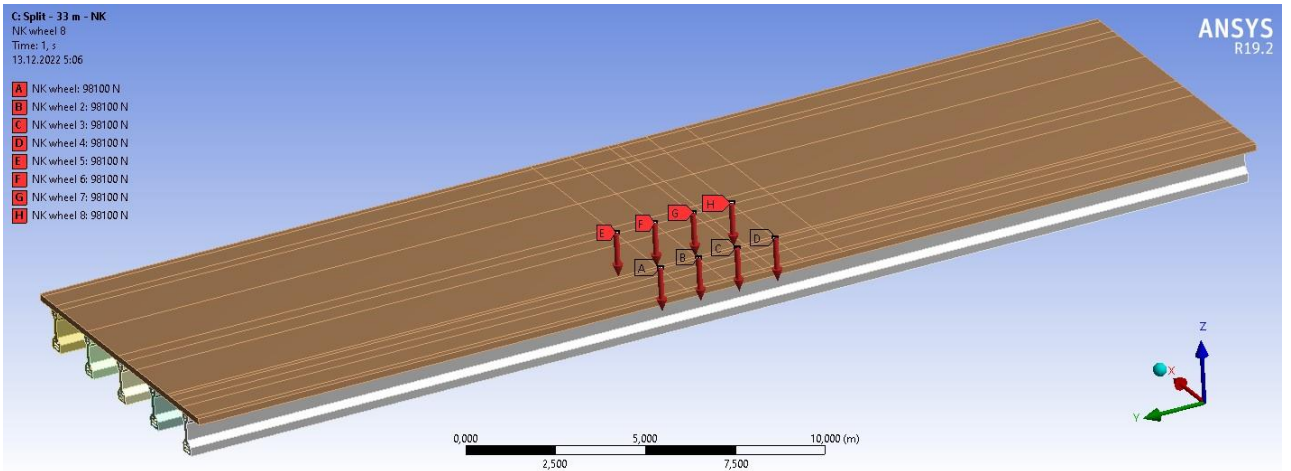


Рисунок 5.35 – Схема навантаження за НК

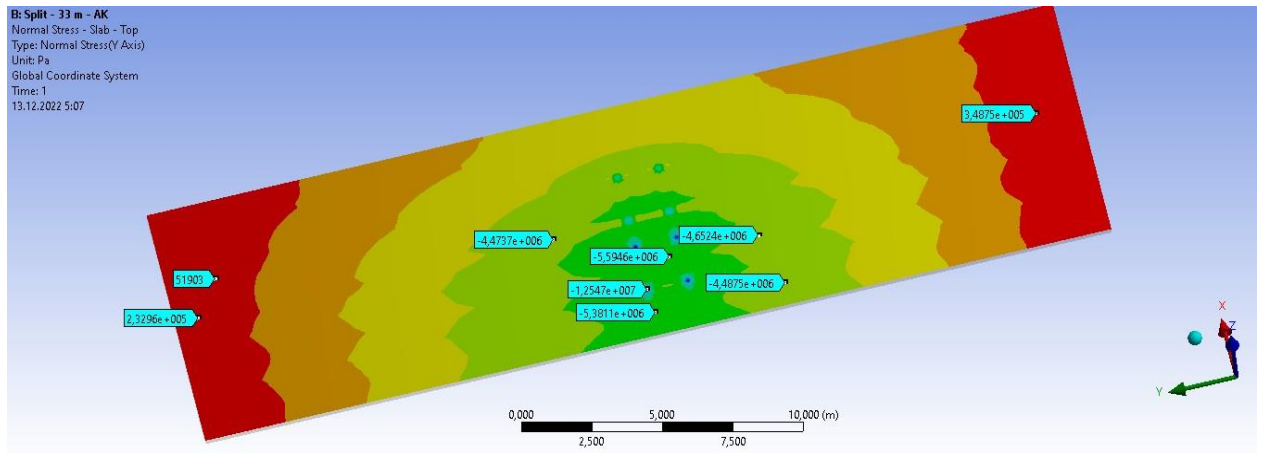


Рисунок 5.36 – Нормальні напруження у верхній площині плити за моделлю АК

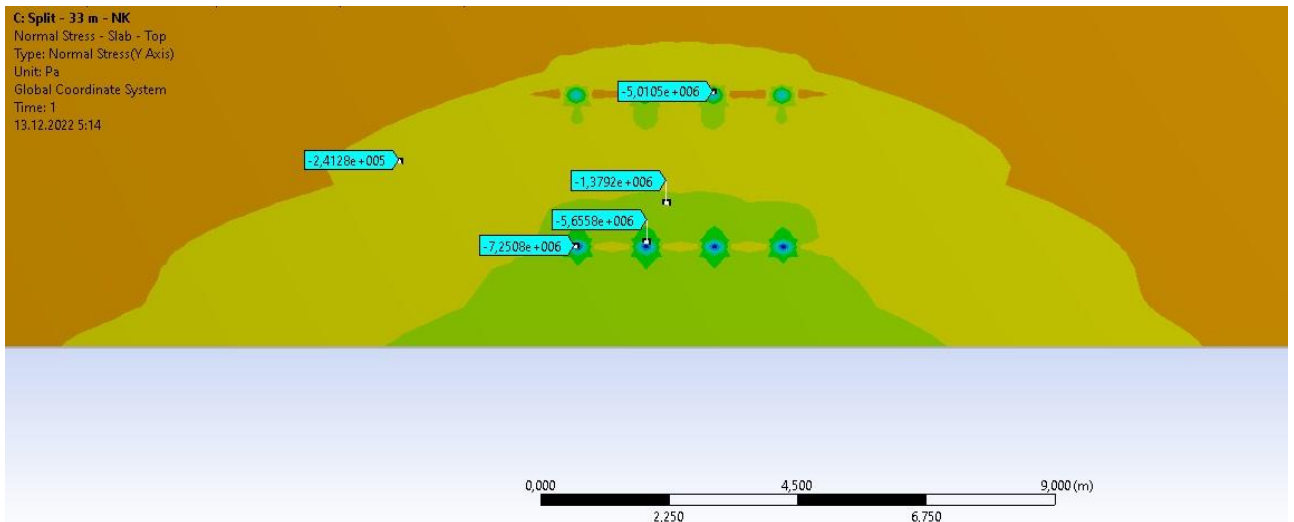


Рисунок 5.37 – Нормальні напруження у верхній площині плити за моделлю НК

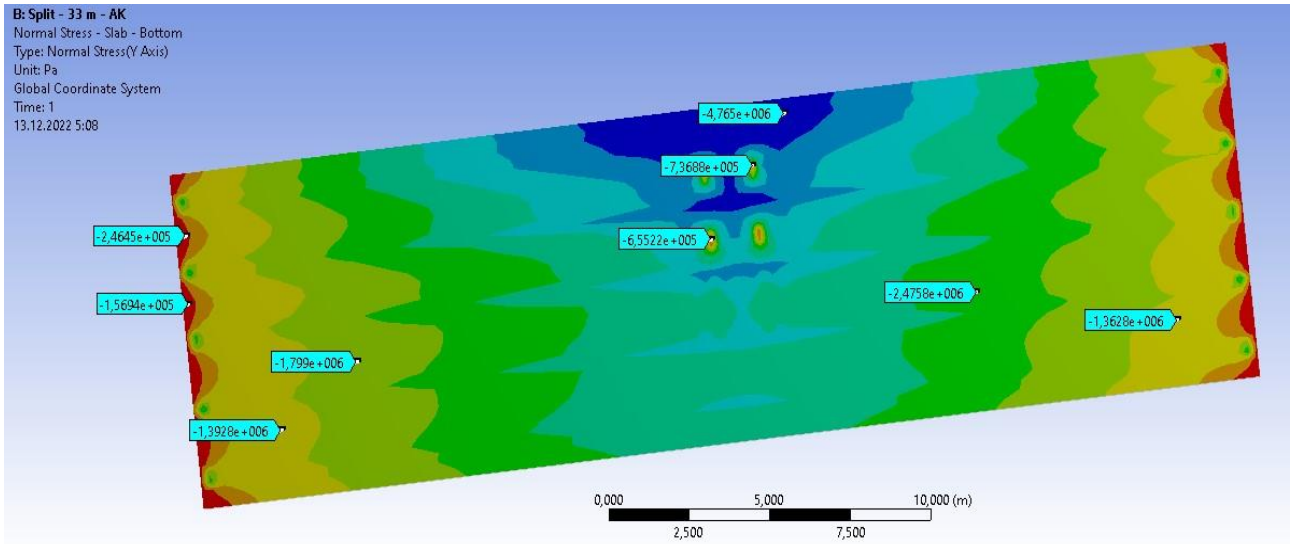


Рисунок 5.38 – Нормальні напруження у нижній площині ребер за моделлю НК

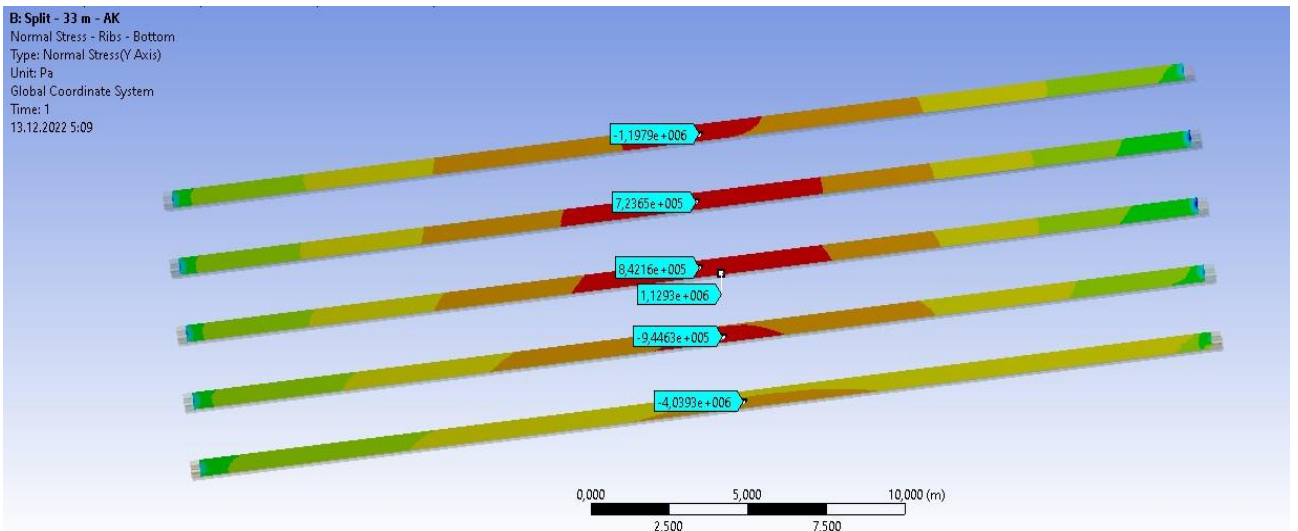


Рисунок 5.39 – Нормальні напруження у нижній площині ребер за моделлю АК

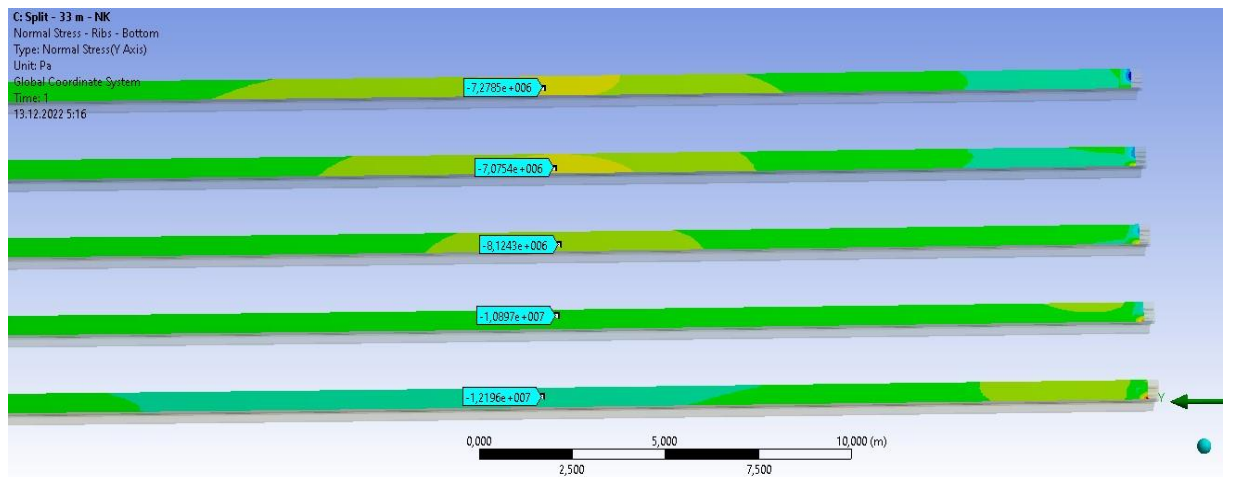


Рисунок 5.40 – Нормальні напруження у нижній площині ребер за моделлю НК

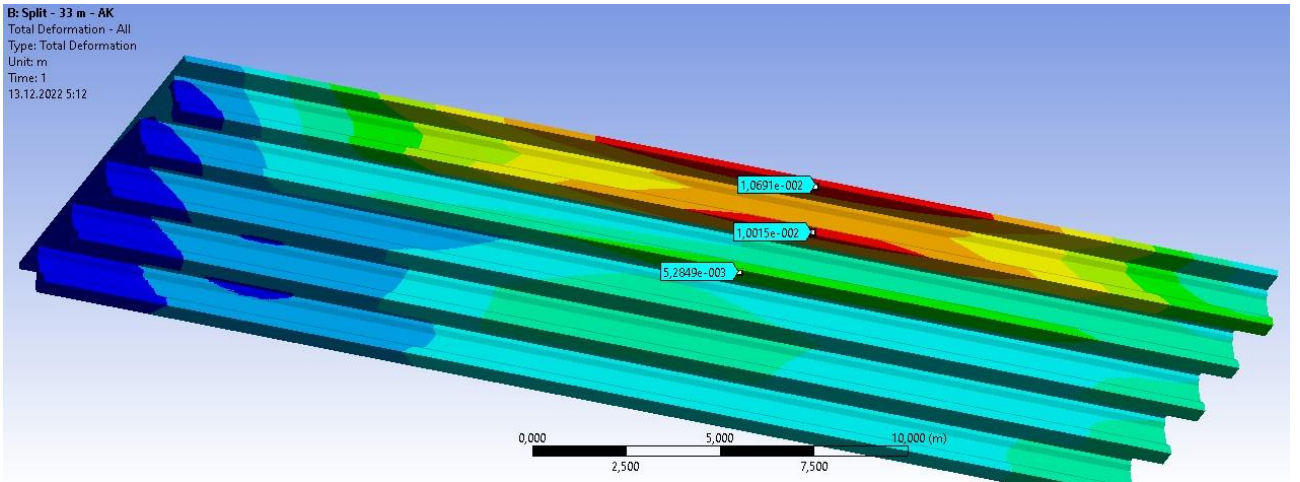


Рисунок 5.41 – Загальні переміщення за навантаженням від моделі АК

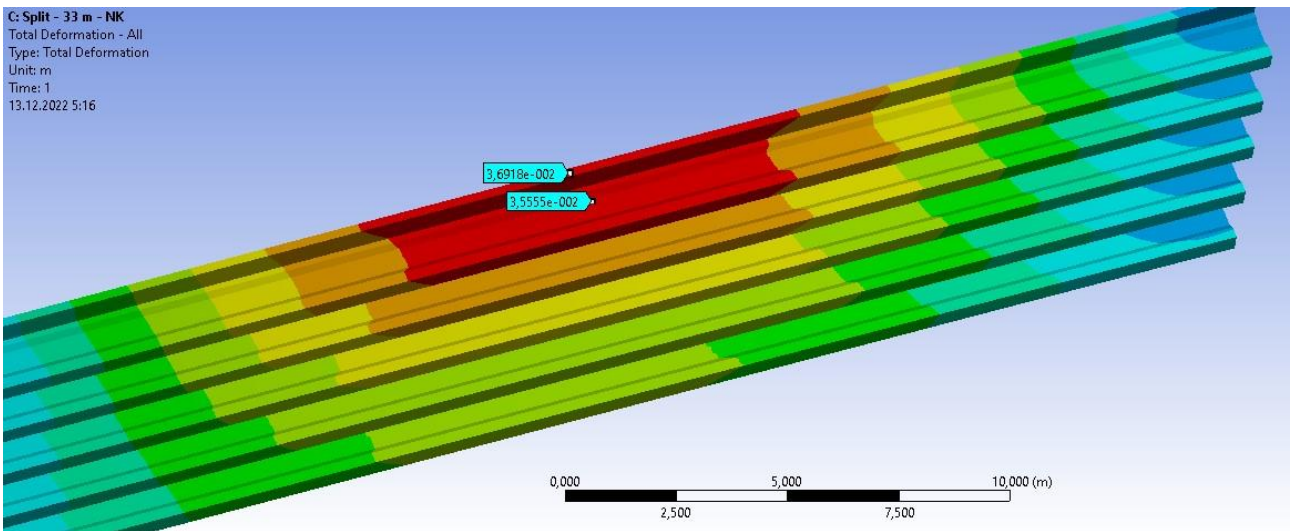


Рисунок 5.42 – Загальні переміщення за навантаженням від моделі НК

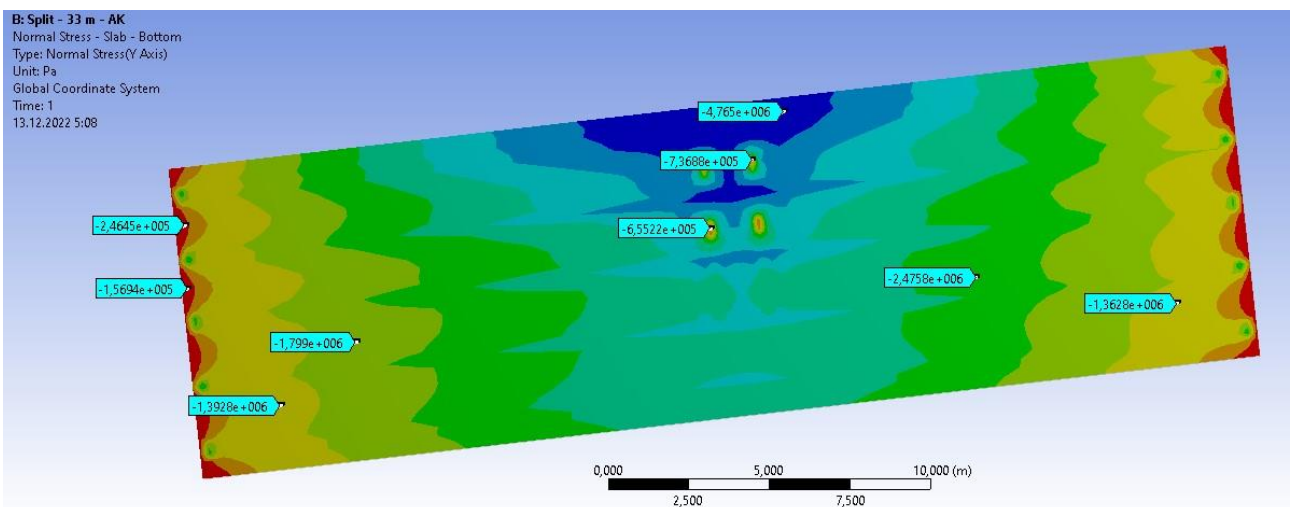


Рисунок 5.43 – Нормальні напруження у нижній площині ребер за моделлю АК

## 5.2.2 Прогонова будова 24 м

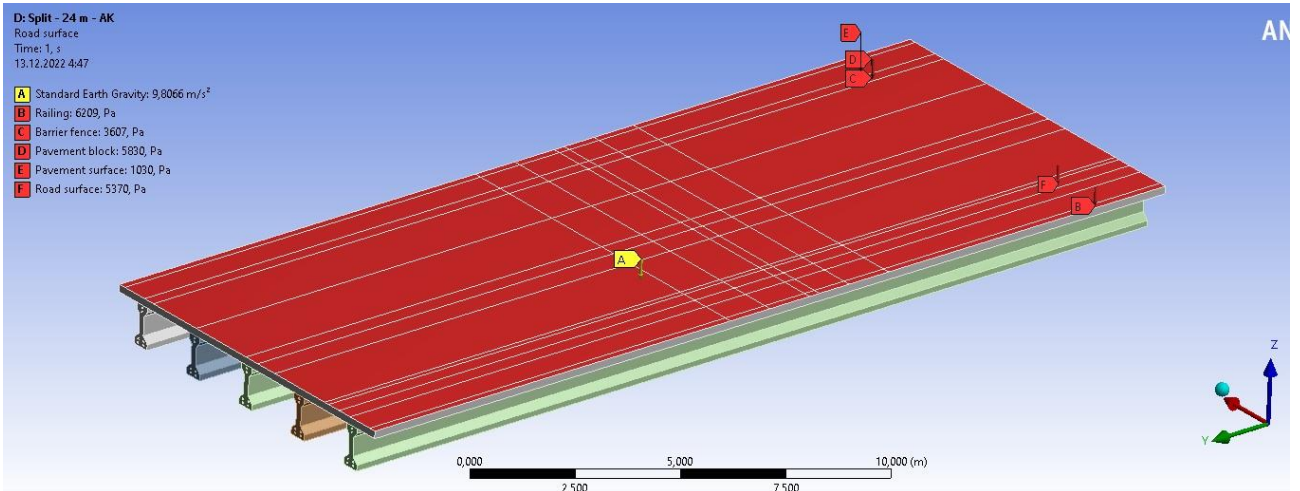


Рисунок 5.44 – Постійне навантаження. ПО, БО, Тротуарна плита, Покриття на тротуари, Покриття проїзду

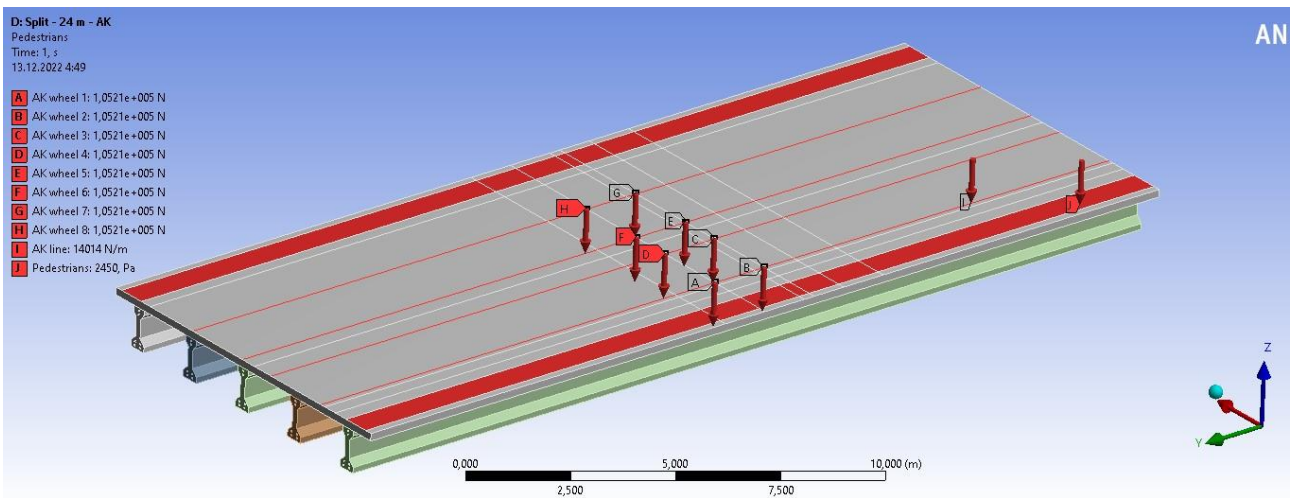


Рисунок 5.45 – Схема навантаження за АК

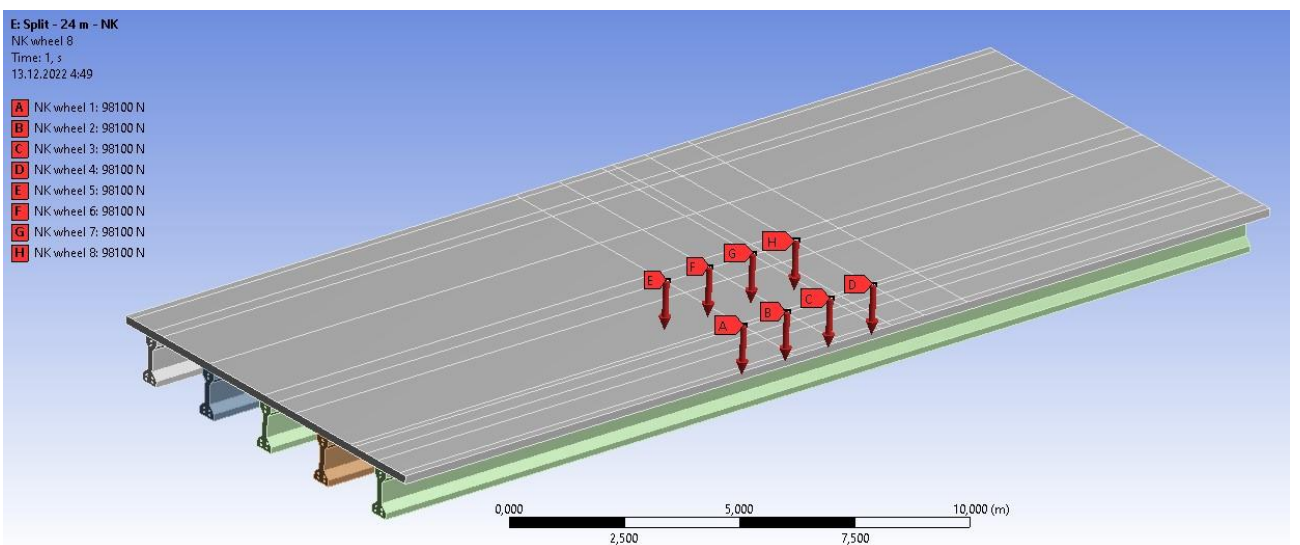


Рисунок 5.46 – Схема навантаження за НК

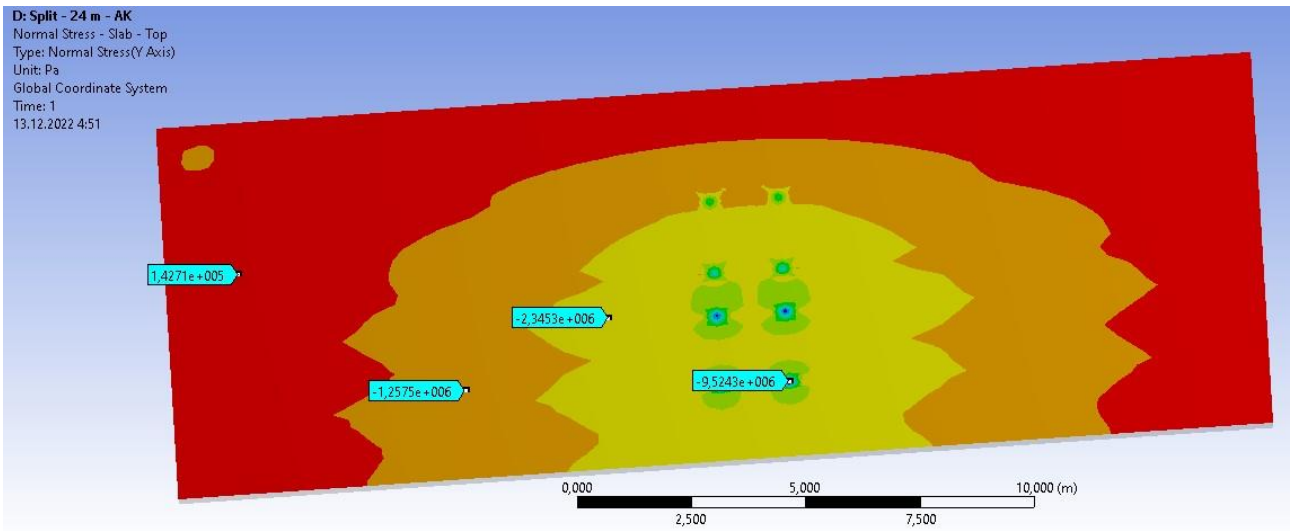


Рисунок 5.47 – Нормальні напруження у верхній площині плити за моделлю АК

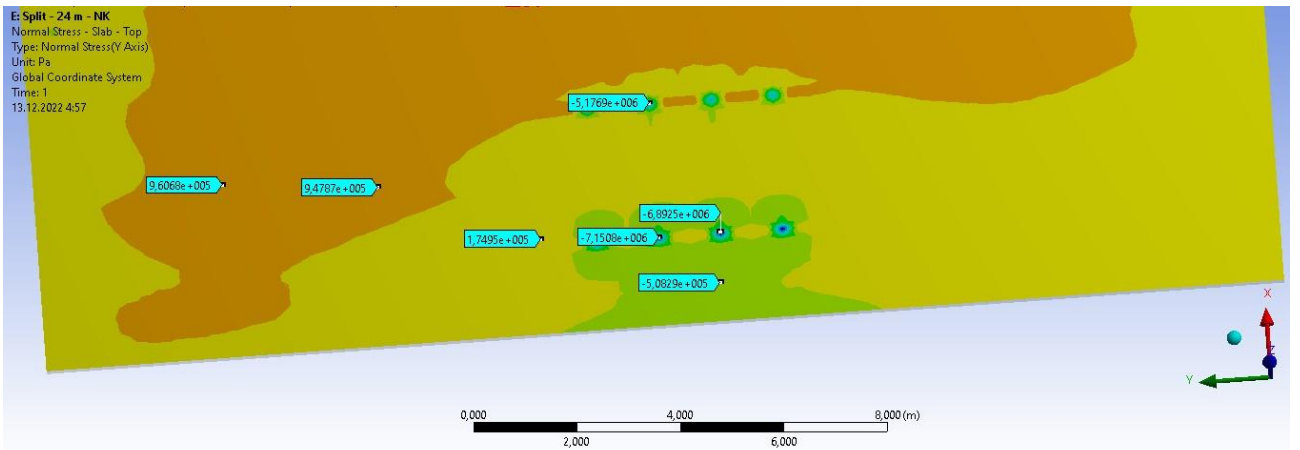


Рисунок 5.48 – Нормальні напруження у верхній площині плити за моделлю НК

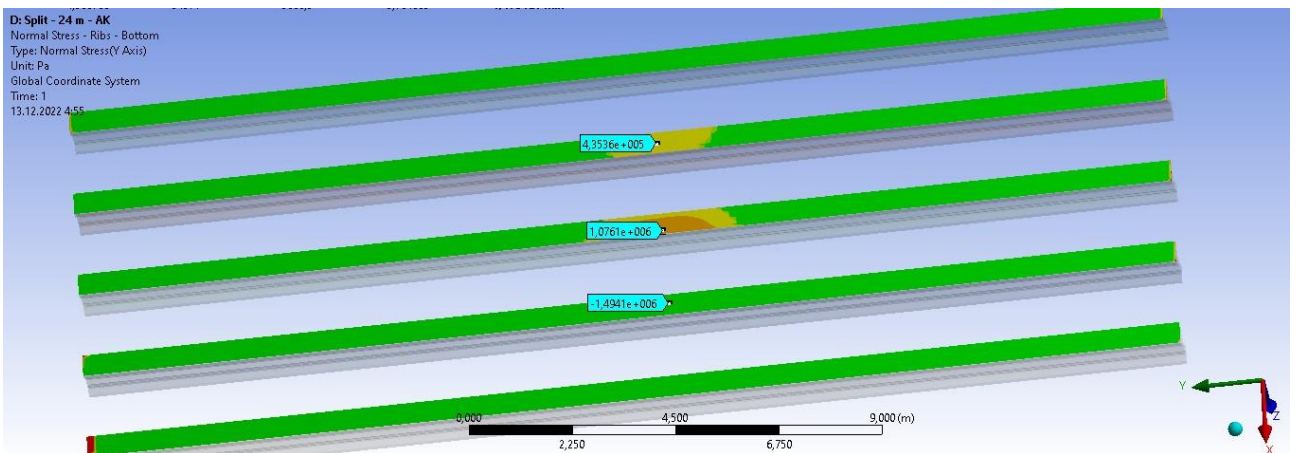


Рисунок 5.49 – Нормальні напруження у нижній площині ребер за моделлю АК

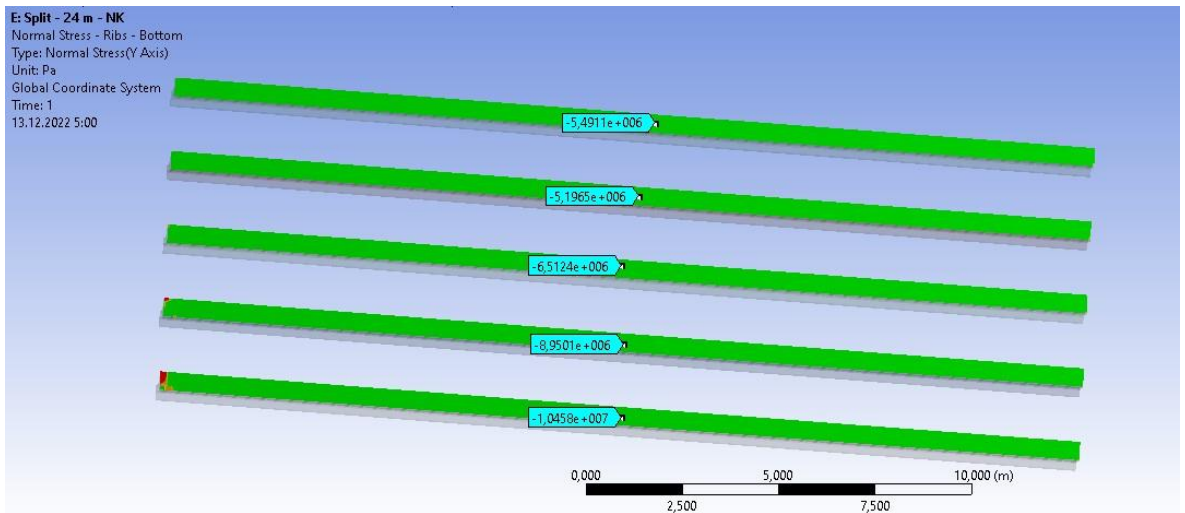


Рисунок 5.50 – Нормальні напруження у нижній площині ребер за моделлю НК

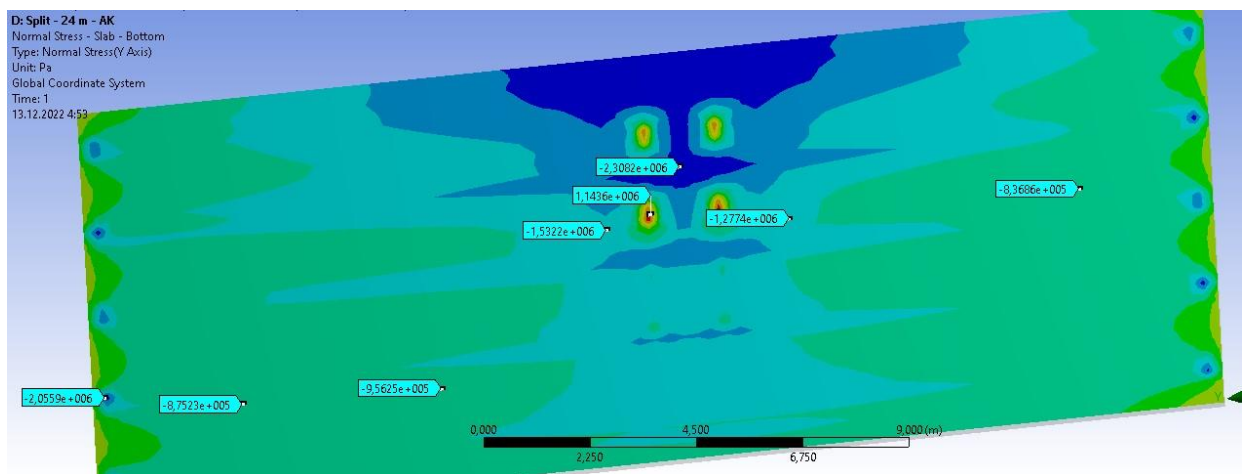


Рисунок 5.51 – Нормальні напруження у нижній площині плити за навантаженням прогону моделлю АК

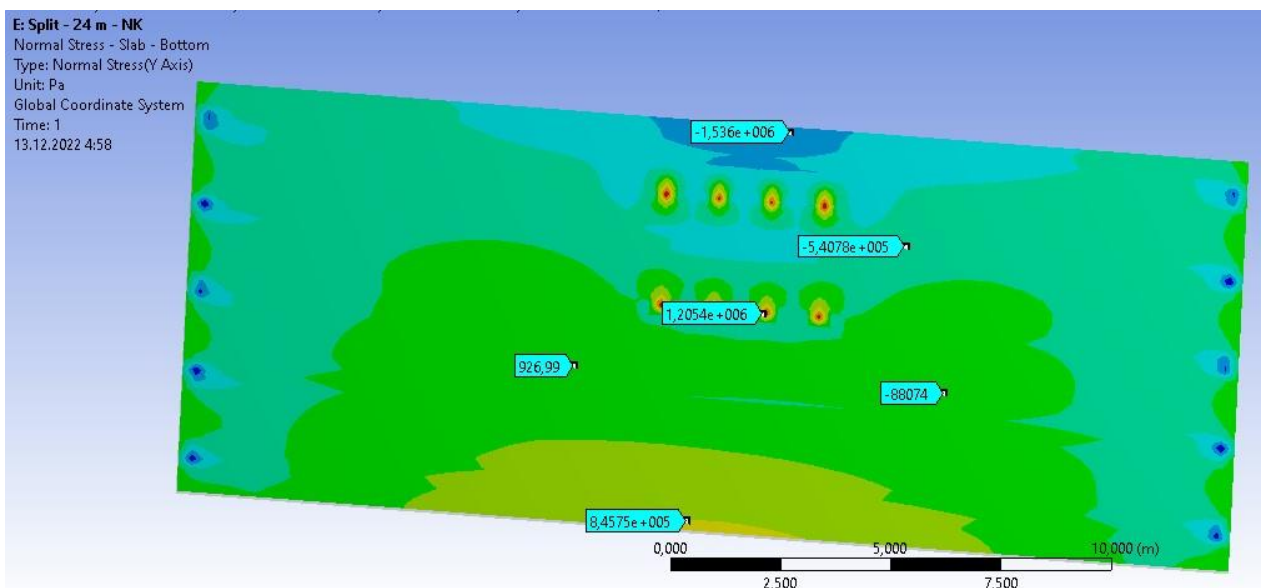


Рисунок 5.52 – Нормальні напруження у нижній площині плити за навантаженням прогону моделлю НК

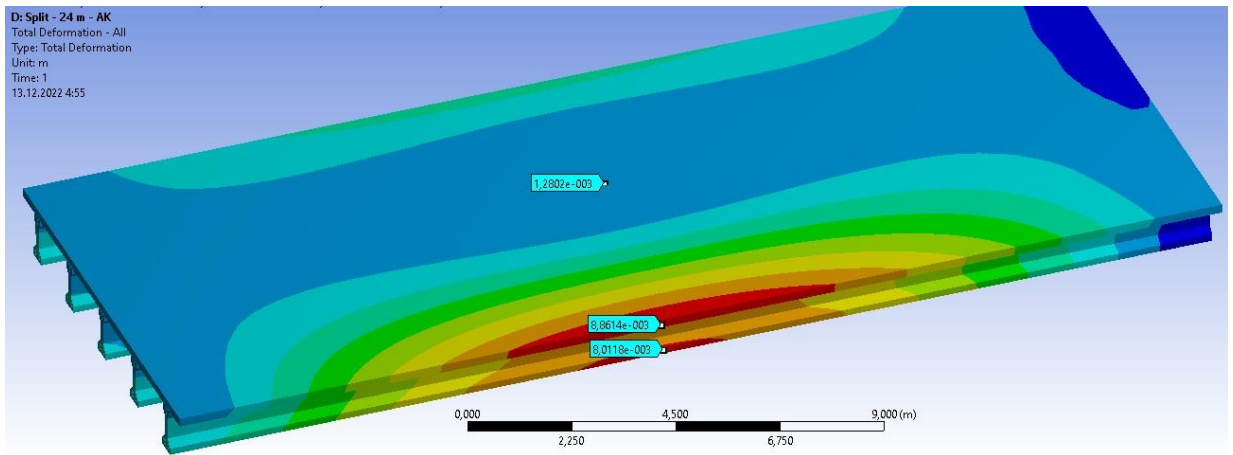


Рисунок 5.53 – Загальні переміщення за навантаженням від моделі АК

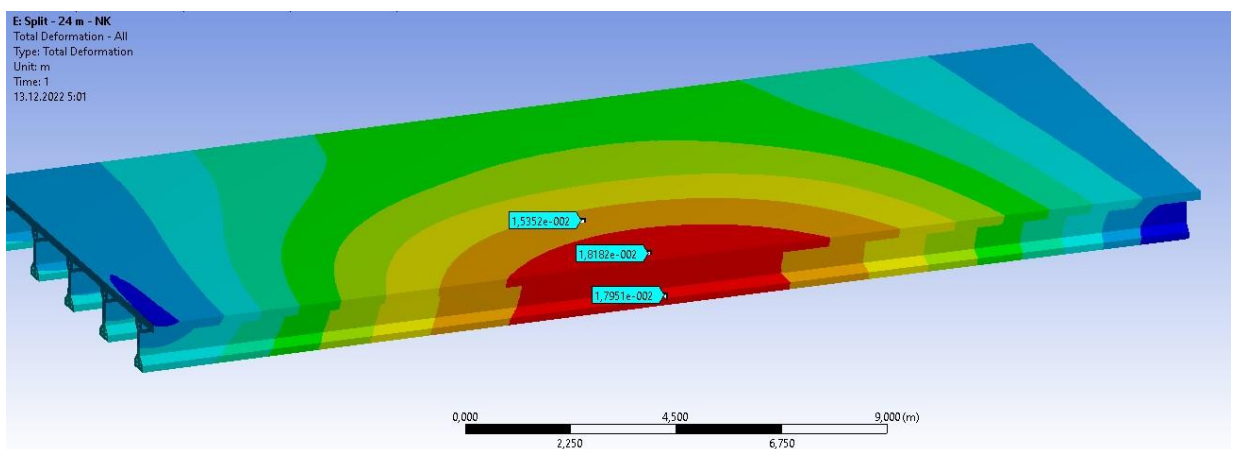


Рисунок 5.54 – Загальні переміщення за навантаженням від моделі НК

### 5.3 Порівняння варіантів результатів переміщень та напружень в прогонових будовах

Таблиця 5.1 – Порівняння результатів переміщень в прогонових будовах

		Прогін	$U_{z,max}$ , мм			
			Модель АК	Модель НК	Найбільші за варіантом	Найбільші за прогоном
Середина прогонів	Варіант 1	Центральний	12,8	8,1	12,8	12,8
		Боковий	7	6		7
	Варіант 2	33 м	10,7	36,9	36,9	36,9
		24 м	8,9	18,2		18,2

Таблиця 5.2 – Порівняння результатів напружень в прогонових будовах

			Прогін	$\sigma_{\max}$ , МПа			
				Модель АК	Модель НК	Найбільші за варіантом	Найбільші за прогоном
Середина прогонів	Плита. Верхня площина	Варіант 1	Центральн ий	-19,05	-15,86	-19,05	-19,05
			Боковий	-17,46	-10,28		-17,46
		Варіант 2	33 м	-12,55	-7,25	-12,55	-12,55
			24 м	-9,52	-7,15		-9,52
	Плита. Нижня площина	Варіант 1	Центральн ий	-4,85	-4,67	-4,67	-4,67
			Боковий	-4,79	-4,77		-4,77
		Варіант 2	33 м	-0,66	1,08	1,21	1,08
			24 м	1,14	1,21		1,21
	Балка. Нижня площина	Варіант 1	Центральн ий	1,09	-1,27	1,2	1,09
			Боковий	1,2	0,97		1,2
		Варіант 2	33 м	1,13	-7,28	1,13	1,13
			24 м	1,08	-5,49		1,08

Змодельювавши та навантаживши обидва варіанти прогонових будов маємо такі результати, що в першому варіанті напруження верхній площині плити є більшим, ніж у другому на 51 %, а в нижній площині плити вже навпаки напруження в другому варіанті є більшими ніж в першому на 285 %. Результати в нижній площині балки є такими, що напруження в першому варіанті є більшими ніж в другому на 5,34 що не є значною різницею, але переміщення в другому варіанті прогонових будов є значно більшими ніж у першому на 188,28 %. Проаналізувавши все вище сказане може зробити висновок що обидві прогонові будови є актуальними для даного шляхопроводу, але нерозрізна прогонова будова з використанням пост-напруженням на бетоні є кращою за рахунок менших переміщень в прогоновій будові.

## РОЗДІЛ 6

### ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ПОРІВНЯННЯ ПРОГОНОВИХ БУДОВ

Таблиця 6.1– Витрати матеріалів прогонових будов

Найменування	Од. вим.	Прогонова будова 33 м	Прогонові будови 24x2	Всього	Нерозрізна прогонова будова 23.5+33,23.5м
Кількість напруженої арматури К-7	кг	10 517,45	7386	17 903,45	15033
Об'єм бетону на монолітну плиту проїзду	м <sup>3</sup>	64,3	43,25	107,55	541.5
Об'єм бетону на балки прогонової будови	м <sup>3</sup>	61	76	137	

Таблиця 6.2– Техніко-економічне порівняння варіантів

Найменування	Од. вим.	Розрізні прогонові будови 24+33+24	Нерозрізна прогонова будова 23,5+33+23,5м
Вартість напруженої арматури К-7	грн.	2 810 714,6	2 360 133,64
Вартість бетону	грн.	755 696,5	1 589 805
Повна вартість прогонів мосту	грн.	3 566 374,1	3 949 938,64

Підрахувавши об'єми матеріалів на всі прогонові будови, робимо висновок, що витрати бетону на нерозрізну прогонову будову 121 % більші ніж на розрізні прогонові будови, а витрати напруженої арматури на 19,1 % більші в розрізних прогонових будовах. Маючи об'єми матеріалів, було пораховано техніко-економічне порівняння варіантів, за якими нерозрізна прогонова будова буде дорожче на 10,75 % ніж розрізні прогонові будови.

## ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі за здобуття ОС «магістр» було виконано обґрунтування попереднього напруження натягу на бетон для підвищення надійності та визначено оптимальний варіант прогонових будов шляхопроводу через автомобільну дорогу основного ходу в рамках об'єкту «Будівництво автомобільної дороги державного значення Н-31 Дніпро – Царичанка – Кобеляки–Решетилівка від с. Лобойківка до межі Дніпропетровської області на ділянці км 28+600 – межа Дніпропетровської області, Дніпропетровська область». Міст запроєктований під тимчасові вертикальні навантаження А-11, НК-80.

Було розроблено два варіанти прогонових будов. У першому варіанті була прийнята монолітна нерозрізна балкова прогонова будова постнапруження на бетон з незмінними розмірами балки 1500x1300 мм. Балки об'єднані монолітними поперечними діафрагмами висотою на опорах 1200 мм. Має схему 23,50+33,00+23,50 м. Другий варіант прогонових будов мосту є розрізні балкові прогонові будови з балок ДерждорНДІ, які об'єднані монолітною плитою. Має схему 24,00+33,00+24,00 м. Також для більш коректного порівняння балку ДерждорНДІ було розраховано на тимчасові вертикальні навантаження А-11 та НК-80.

Змоделювавши та навантаживши обидва варіанти прогонових будов, маємо такі результати, що в першому варіанті напруження верхній площині плити є більшим, ніж у другому на 51 %, а в нижній площині плити вже навпаки напруження в другому варіанті є більшими, ніж в першому на 285 %. Результати в нижній площині балки є такими, що напруження в першому варіанті є більшими, ніж в другому на 5,34 %, що не є значною різницею, але переміщення в другому варіанті прогонових будов є значно більшими, ніж у першому на 188,28 %.

Підрахувавши об'єми матеріалів на всі прогонові будови, зроблено висновок, що витрати бетону на нерозрізну прогонову будову 121 % більші, ніж

на розрізні прогонові будови, але витрати напруженої арматури на 19,1 % більші в розрізних прогонових будовах. Маючи об'єми матеріалів, було пораховано техніко-економічне порівняння варіантів, за якими нерозрізна прогонова будова буде дорожче на 10,75 % ніж розрізні прогонові будови.

Проаналізувавши всі вище пророблені розрахунки бачимо, що переваги нерозрізної монолітної прогонової будови з використанням постнапруження на бетоні над розрізною проговною будовою з використанням попереднього напруження полягає у збільшенні терміну експлуатації конструкції за рахунок менших деформацій в бетоні. Також є можливість точніше контролювати напруження у нерозрізній прогоновій будові після її повного набору міцності бетонної складової. Зважаючи на все вищесказане, робимо висновок, що нерозрізна монолітна прогонова будова з постнапруженням на бетоні є більш надійною та довговічною для даного шляхопроводу.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Державні будівельні норми України. Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування [Текст]: ДБН В.2.3-14:2006 / затв.: наказ Міністерства будівництва, архітектури та житлово-коменального господарства (Мінбуд України) від «06» травня 2006 р. № 160 / Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства. – К., 2006.
2. Державні будівельні норми України. Споруди транспорту. Мости та труби. Основні вимоги проектування [Текст]: ДБН В.2.3-22:2009 / затв.: наказ Мінрегіонбуду України від 11.11.2009 № 484 / Мінрегіонбуд України. – К., 2009.
3. Державні будівельні норми України. Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи [Текст]: ДБН В.1.2-15:2009 / затв.: наказ Міністерства регіонального розвитку та будівництва України від 11.11.2009 р. № 484 / Мінрегіонбуд України. – К., 2009.
4. Примеры расчета железобетонных мостов [Текст] / Я. Д. Лившиц, М. М. Онищенко, А.А. Шкуратовский – К.: Вища шк. Головное изд-во, 1986. – 263
5. Проектирования и расчет железобетонных и металлических автодорожных мостов [Текст] / Н. И. Поливанов – М.: изд-во «Транспорт», 1970. – 516 с.
6. Примеры проектирования сборных железобетонных мостов [Текст] / В. А. Российский, Б. П. Назаренко, Н. А. Словинский – М.: изд-во «Высшая школа», 1970. – 520 с.
7. Проектирование мостов / М.Е Евграфов, Н.Н Богданов – Москва.: «Транспорт», 1988.
8. Мосты и тоннели / С.А. Попов. – Москва.: «Транспорт», 1977.
9. Строительство мостов и труб / В.С.Кириллов. – Москва.: «Транспорт», 1975.
10. Строительство мостов / Н.М.Колоколов, Б.М.Вейнблант. – Москва.: «Транспорт», 1984.
11. Определение коэффициентов поперечной установки [Електронний

ресурс] – <https://studfiles.net/preview/5615573/page:2/>.

12. Расчет главной балки на временные нагрузки [Электронный ресурс] – <https://helpiks.org/4-43761.html>.

13. О. Загора Проектування і розрахунок мостів 2007

14. Споруди транспорту. Мости і труби. Правила проектування : ДБН В.2.3-14:2006. – [чинний від 6 травня 2006 р.] – К.: Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства, 2006. – 359 с. – (Державні будівельні норми України)

15. ДСТУ-Н Б EN 1991-1-1:2010 (EN 1991-1-1:2002, IDT). ЄВРОКОД 1.ДІЇ НА КОНСТРУКЦІЇ Частина 1-1. Загальні дії. Питома вага, власна вага, експлуатаційні навантаження для споруд / Наказ Міністерства регіонального розвитку та будівництва України від 27.12.2010 р. № 552, чинний з 01.07.2013 р. – К.: 2013.

16. ДСТУ-Н Б EN 1991-2:2010 (EN 1991-2:2003, IDT) Частина 2. Рухомі навантаження на мости / наказ Міністерства регіонального розвитку та будівництва України від 27.12.2010 р. № 551 – К.: 2010

17. Мости: конструкції та надійність / Лучко Й.Й., Коваль П.М., Корнієв М.М. та інш.; за ред. В.В. Панасюка, Й.Й. Лучка.–Львів: Каменяр, –2005. –989 с

18. Карпюк В. М. Використання деформаційно-силової моделі при розрахунку нормальних перерізів бетонних та залізобетонних елементів за першою групою граничних станів / В. М. Карпюк, А. І. Костюк, Ю. А. Сьоміна, Д.С. Даниленко / Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – 2017. – Вип. 66. – с. 28-34.

19. Коваль М.П. Випробування плити проїзної частини із зовнішнім армуванням автодорожнього залізобетонного моста / М. П. Коваль // Вісн. Нац. ун-ту «Львівська політехніка». – № 662. – С 245 – 253.

20. Оценка предельных состояний сечений железобетонных элементов мостов с использованием диаграмм деформирования материалов. Егорушкин Ю.М., Научные труды Второй Всероссийской (Международной) конференции «Бетон и железобетон – пути развития», 2005 г. Т. 5.