

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»  
Навчально-науковий інститут архітектури, будівництва та землеустрою  
Кафедра автомобільних доріг, геодезії та землеустрою

## **ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

до кваліфікаційної роботи магістра  
на тему

### **Впровадження європейського досвіду при будівництві автомобільних доріг загального користування України**

Розробила: **Синенко Катерина Анатоліївна**  
студентка гр. 601-БА,  
освітньо-професійна програма  
«Автомобільні дороги, вулиці та дороги  
населених пунктів»  
№ з.к. 10588940

Керівник: **Єрмакова Інна Анатоліївна**  
к.т.н., ст. викл. кафедри автомобільних доріг,  
геодезії та землеустрою

Рецензент: **Слінчук Павло Борисович**  
Начальник відділу інвестиційно-кошторисної  
роботи, будівництва, реконструкції, капітального  
ремонту та моніторингу об'єктів інфраструктури  
Служби відновлення та розвитку інфраструктури  
у Полтавській області

Полтава 2024

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»  
Навчально-науковий інститут архітектури, будівництва та землеустрою  
Кафедра автомобільних доріг, геодезії та землеустрою

## **ЛИСТ ПОГОДЖЕННЯ**

до кваліфікаційної роботи магістра  
на тему

**Впровадження європейського досвіду  
при будівництві автомобільних доріг  
загального користування України**

Розробила: **Синенко Катерина Анатоліївна**  
студентка гр. 601-БА,  
освітньо-професійна програма  
«Автомобільні дороги, вулиці та дороги  
населених пунктів»  
№ з.к. 10588940

Консультанти:

розділ 1	<b>к.т.н., ст.викл. Єрмакова І.А.</b>
розділ 2	<b>к.т.н., доц. Ільченко В.В.</b>
розділ 3	<b>к.т.н., ст.викл. Єрмакова І.А.</b>
розділ 4	<b>к.т.н., доц. Ільченко В.В.</b>
розділ 5	<b>к.т.н., доцент Карюк А.М.</b>

Допустити до захисту  
зав. кафедрою

**д.е.н., доц. Шарий Г.І.**

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Навчально-науковий інститут архітектури, будівництва та землеустрою

Кафедра автомобільних доріг, геодезії та землеустрою

Ступінь вищої освіти «магістр»

Спеціальність 192 «Будівництво та цивільна інженерія»

Освітня програма «Автомобільні дороги, вулиці та дороги населених пунктів»

### **ЗАТВЕРДЖУЮ**

Зав.кафедри \_\_\_\_\_ Шарий Г.І.

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 р.

### **ЗАВДАННЯ**

на кваліфікаційну роботу магістра

***Синенко Катерина Анатоліївна***

1. Тема кваліфікаційної роботи

***Впровадження європейського досвіду  
при будівництві автомобільних доріг  
загального користування України***

керівник *к.т.н., ст.викладач Єрмакова Інна Анатоліївна*

затверджені наказом по університету від « 04 » вересня 2023 р. № 986-ф,а

2. Строк подання кваліфікаційної роботи « 15 » січня 2024 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:

- *схема прокладання та місцеві умови ділянки автомобільної дороги*
- *основні технічні норми проектування автомобільних доріг загального користування*
- *основні технічні норми проектування штучних споруд на автодорогах*

4. Зміст текстового матеріалу (перелік питань, що належить розробити)

- 1. Проектно-будівельна частина*
- 2. Спеціальна частина*
- 3. Технологічна частина*
- 4. Організаційна частина*
- 5. Охорона праці*

5. Перелік графічного матеріалу

- *графічний супровід результатів дослідження*

## 6. Консультанти за розділами кваліфікаційної роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1			
Розділ 2			
Розділ 3			
Розділ 4			
Розділ 5			

7. Дата видачі завдання « 02 » жовтня 2023 р.

### Календарний план виконання кваліфікаційної роботи

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання	Примітка
1	<i>Формування теми, структури та змісту роботи. Виписування завдання</i>	02.10-08.10.23	
2	<i>Формування мети й завдань дослідження. Аналіз вихідних даних за темою роботи.</i>	09.10-29.10.23	
3	<i>Проведення теоретичних та/або експериментальних досліджень за темою роботи.</i>	30.10.-12.11.23	
4	<i>Опрацювання результатів теоретичних та/або експериментальних досліджень.</i>	13.11-10.12.23	
5	<i>Розроблення рекомендацій щодо практичного використання результатів дослідження.</i>	11.12-24.12.23	
6	<i>Формування основних висновків. Складання списку використаних джерел.</i>	25.12-31.12.23	
7	<i>Оформлення графічного матеріалу</i>	01.01-07.01.24	
8	<i>Здача роботи на кафедру. Проходження перевірки роботи на плагіат</i>	08.01-10.01.24	
9	<i>Затвердження роботи консультантами та керівником. Отримання рецензії на роботу.</i>	11.01-14.01.24	
10	<i>Затвердження роботи завідувачем кафедрию. Отримання направлення та підготовка до захисту.</i>	15.01-21.01.24	
	<i>Захист роботи</i>	з 22.01.24	

Студент \_\_\_\_\_

Керівник \_\_\_\_\_

## Зміст

### ВСТУП

7

## 1. ПРОЕКТНО-БУДІВЕЛЬНА ЧАСТИНА

- 1.1. Характеристика існуючої дороги
- 1.2. Обґрунтування проектних рішень
  - 1.2.1 Вступ
  - 1.2.2 Транспортно-економічна характеристика району тягіння
  - 1.2.3 Обсяги перевезень вантажів та пасажирів
  - 1.2.4 Інтенсивність руху транспортних потоків
  - 1.2.5 Розрахунок перспективної інтенсивності руху
- 1.2. Фізико-географічні умови району будівництва
  - 1.2.1. Клімат
  - 1.2.2 Рельєф
  - 1.2.3 Геологічна будова та гідрогеологічні умови
  - 1.2.4 Інженерно-геологічні умови
- 1.3. Траса дороги
- 1.4. Поздовжній профіль, поперечний профіль, земляне полотно
- 1.5. Штучні споруди
- 1.6 Дорожній одяг
- 1.7 Пересічення та примикання

## 2. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

- 2.1. Гідравлічний розрахунок водоперепускної споруди
  - 2.1.1. Розрахунок обсягів водозбірною басейну
  - 2.1.2. Розрахунок водоперепускної споруди на ПК 2101+94
- 2.2. Визначення оптимальної конструкції водоперепускної труби
  - 2.2.1. Загальні положення
  - 2.2.2. Порівняння конструкцій водоперепускних труб
- 2.3. Конструювання водоперепускної споруди на ПК 2101+94

				<b>601БА 10588940 ПЗ</b>			
<b>Розробив</b>	Синенко К.А.			Впровадження європейського досвіду при будівництві автомобільних доріг загального користування України	<b>Стадія</b>	<b>Аркуш</b>	<b>Аркушів</b>
<b>Керівник</b>	Єрмакова І.А.				КРМ		
					Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» Кафедра автомобільних доріг, геодезії та землеустрою		
<b>Затвердив</b>	Шарий Г.І.						

### **3. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА**

- 3.1. Визначення складу технологічних процесів
- 3.2. Визначення параметрів спеціалізованих потоків
- 3.3. Розрахунок потреби в дорожньо-будівельних матеріалах
- 3.4. Розрахунок потреби в автомобільному транспорті
- 3.5. Розрахунок потреби в технологічному транспорті
- 3.6. Технологія влаштування дорожнього одягу

### **4. ОРГАНІЗАЦІЙНА ЧАСТИНА**

- 5.1. Основні положення
- 5.2. Основні технічні та конструктивні параметри дороги
- 5.3. Визначення обсягів дорожньо-будівельних робіт
- 5.4. Розрахунок потреби матеріально-технічних ресурсів
- 5.5. Проектування генплан будівельного містечка
- 5.6. Техніко-економічна оцінка прийнятих рішень

### **5. ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ**

#### **ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ**

#### **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

## ВСТУП

Автомобільний транспорт упевнено тримає лідерство щодо обсягів вантажних і пасажирських перевезень порівняно з водним, повітряним та залізничним видами транспорту. В умовах ринкових відносин одним з важливих напрямків загальноекономічної діяльності дорожньої галузі є розвиток внутрішньодержавних та міжнародних перевезень, що сприяє розвитку в країні виробничої сфери, культурних зв'язків і туризму.

Розвиток автомобільного транспорту неможливий без подальшого розширення мережі доріг, відповідного поліпшення транспортно-експлуатаційних характеристик дорожніх споруд та забезпечення їх високої надійності. Переважна більшість автомобільних доріг України – це дороги загального користування, що є державною власністю. Вони закріплені на правах господарського відання за Державною службою автомобільних доріг України (Укравтодор), яка проводить технічну й соціальну політику щодо їх розвитку.

Згідно ДБН В.2.3-4:2015 автомобільні дороги загального користування поділяються на дороги *державного* (міжнародні, національні, регіональні) та *місцевого значення* (територіальні, обласні, районні).

В зв'язку з підвищенням вимог до капітальності доріг вартість дорожнього будівництва зростає. Це потребує пошуку проектних рішень, які базуються на детальному розрахунку особливостей перевезень та місцевих природних умов. Враховуючи скрутне економічне становище в галузі дорожнього будівництва, нове будівництво автомобільних доріг ведеться в дуже малих об'ємах. Тоді постає питання про те як зберегти вже існуючі дороги, покращити їх експлуатаційні якості та продовжити термін служби. Це можливо при утриманні, виконанні ремонту чи реконструкції всього комплексу споруд дороги, забезпечення високих техніко – економічних показників роботи автомобільного транспорту.

## **РОЗДІЛ 1. ПРОЕКТНО-БУДІВЕЛЬНА ЧАСТИНА**

### **1.1 Характеристика існуючої дороги**

Ділянка автомобільної дороги побудована всередині ХХ-го сторіччя з параметрами: ширина земляного полотна – 12,0 м, ширина проїзної частини – 7,0-7,5 м, покриття – асфальтобетон.

В наступні роки виконувались роботи по капітальному ремонту та поліпшенню дороги.

На сьогодні дорога по параметрам близька до нормативів II категорії (згідно ДБН В.2.3-4:2015), але її пропускна спроможність не відповідає інтенсивності руху.

За нашого часу існуюча дорога має такі показники:

- довжина ділянки – 3,04 км
- постійна смуга дорожнього відводу - 37-61 м;
- ширина земляного полотна – 15 - 23 м;
- ширина проїзної частини – 7,5 - 15 м (з врахуванням ПШС).
- ширина укріплювальних смуг – 2×0,75 м;
- кількість кутів повороту – 5;
- радіус кругових кривих в плані – 1531,05; 1824,43; 3100; 800 та 3100 м.
- мінімальні радіуси вертикальних кривих:
  - опуклих – 15000 м
  - увігнутих – 7001 м;
- максимальний поздовжній уклон – 17 ‰.

Дані по плану і поздовжньому профілю отримані на основі топографічних вишукувань, виконаних у грудні 2007 року. При вишукуваннях були використані сучасні методи прив'язки до супутникової системи. Зйомка виконана електронними тахеометрами і представлена у вигляді цифрової моделі місцевості (ЦММ). Згідно ЦММ були визначені всі дані по плану існуючої дороги та її профілю з високою точністю.

Земляне полотно дороги на всій довжині складено із суглинків, має достатню щільність. Стан земляного полотна задовільний і воно придатне для подальшого використання.

Дорожній одяг: двохшарове асфальтобетонне покриття товщиною 14 см, шар основи із фракційного щебеню товщиною 12 см, на шарі рядового щебеню товщиною 13 см.

Модуль пружності, існуючого покриття складає - 215-218 МПа. Стан дорожнього одягу задовільний. На проїзній частині в окремих місцях помітні сітки тріщин тарування кромки укріплених смуг узбіччя.

Штучні споруди представлені однією круглою залізобетонною трубою діаметром 0,75 м та на км211+212 розташовано міст через р.Войниха.

Міст побудований за робочим проектом інституту «Укрдіпродор», розробленим у 1952 році. Загальна довжина мосту 34,0 м, габарит Г-11,5+2x1,0 м, розрахований на пропуску тимчасових навантажень Н-30 та НК-80.

Був реконструйований у 1998 р. Поздовжня схема мосту 8,3+10,1+8,3 - є симетричною. Прогонова будова балочна, розрізна, сталеві залізобетонні. Проміжні опори - стінки із збірно-монолітного залізобетону, стояни залізобетонні, пальові, козлового типу. Всі опори на пальовій основі. Проектна довжина забивних паль перерізом 0,35x0,35 м складає 12-16 м. Вздовж проектованої дороги та в багатьох місцях її перетинають численні інженерні комунікації: кабелі, ЛЕП- 0,4 кв та 10 кв, газопроводи.

У власників комунікацій отримані технічні умови на їх перебудову.

На ділянці км210+250 – км211+816 траса проходить по с.Войниха.

На основі вивчення характеристик існуючої дороги можна відмітити, що вона знаходиться в задовільному стані, тому доцільно при реконструкції максимально використати її елементи.

Необхідність реконструкції дороги обумовлюється тим, що пропускна здатність її до теперішнього часу вичерпана і подальша експлуатація без реконструкції буде негативно позначатися на якості транспортного сполучення.

Величини коефіцієнтів, які впливають на перепускную здатність дороги:

$\beta_1=1,00$  - ширина проїзної частини – 7,5м;

$\beta_2=0,97$  - ширина узбіччя менше ніж 3,75м;

$\beta_3=1,00$  - відсутність перешкод на відстані 2,5м від кромки дороги;

$\beta_4=0,88$  - наявність автопоїздів до 10% від загальної кількості автомобілів;

$\beta_5=0,93$  - при наявності підйомів до 300/00 довжиною до 200м;

$\beta_6=0,90$  - при відстані видимості менше ніж 250м;

$\beta_7=1,00$  - радіуси кривих у плані в межах норми;

$\beta_8=1,00$  - обмеження швидкості знаком, менше 60км/год. немає;

$\beta_9=0,85$  - при наявності необлаштованих пересічень;

$\beta_{10}=0,90$  - при неукріплених узбіччях;

$\beta_{11}=1,00$  - покриття з поверхневою обробкою;

$\beta_{12}=0,80$  - зона відпочинку, повністю відділена від головної дороги але не облаштована окремою смугою для в'їзду

$\beta_{13}=1,05$  - при наявності осьової та краєвої розмітки;

$\beta_{14}=1,00$  - обмеження швидкості немає;

$\beta_{15}=0,80$  - при наявності автобусів до 5% та при 70% легкових автомобілів.

Підсумковий коефіцієнт визначається перемноженням вище приведених коефіцієнтів і складає  $\beta=0,367$

Максимальна перепускна здатність двосмугової дороги складає – 2000авт/год (приведених автомобілів).

Перепускна здатність існуючої дороги буде дорівнювати:

$$P_{\text{існ.}} = 2000 \times 0,367 = 734 \text{ авт/год. (приведених автомобілів).}$$

Фактична інтенсивність руху по існуючій дорозі в січні 2010 року склала 9100авт/добу.(фізичних одиниць), або приведених:

$$N_{\text{доб..прив.}} = 9100 \times 1,6 = 14560 \text{ авт/доб.}$$

Годинна інтенсивність складе:

$$N_{\text{год}} = N_{\text{доб.}} \times 0,076 = 14560 \times 0,076 = 1107 \text{ авт/год.}$$

Рівень завантаженості руху існуючої дороги складає:

$$Z_{існ} = \frac{N_{год}}{П_{існ}} = \frac{1107}{734} = 1,51,$$

що відповідає рівню зручності “Г-б” – рух транспорту незручний.

В 2031 році інтенсивність приведених автомобілів буде – 39674 авт/доб.

$$N_{год} = 39674 \times 0,076 = 3015 \text{ авт/год.}$$

Тоді рівень завантаження складе:

$$Z_{персп} = \frac{N_{год}}{П_{існ}} = \frac{3015}{734} = 4,11,$$

що відповідає рівню зручності “Г-б” – потік рухатиметься з зупинками, утворюватимуться затори, швидкість потоку не перевищить 35 – 40 км/год.

Отже, без покращення дорожніх умов, рух транспорту буде утруднений – необхідна суттєва реконструкція дороги. В результаті реконструкції та доведення дороги допараметрів категорії І-б, будуть покращені якості дороги, а, відповідно, і коефіцієнти  $\beta_2, \beta_5, \beta_6, \beta_9, \beta_{10}, \beta_{12}$  можуть бути прийнятими 1,0.

Тоді загальний коефіцієнт складе:

$$\beta = 0,739$$

Максимальна перепускна здатність автомобільної дороги з чотирма смугами руху складе:

$$П = 2000 \times 4 = 8000 \text{ авт/год,}$$

де – 2000 авт/год - перепускна здатність однієї смуги, 4 – кількість смуг руху.

Фактична перепускна здатність дороги складе:

$$П_{ф} = 8000 \times 0,739 = 5912 \text{ авт/год.}$$

Рівень завантаженості дороги з чотирма смугами складе:

$$Z = \frac{3015}{5912} = 0,51,$$

що відповідає рівню зручності “В” – реконструкція дороги необхідна та доцільна.

## **1.2. Обґрунтування проектних рішень**

### **1.2.1 Вступ**

Автомобільна дорога загального користування Київ – Харків – Довжанський (на Ростов-на-Дону), згідно з Постановою Кабінету Міністрів України № 455 від 6 квітня 1998 р. одержала статус магістральної дороги державного значення під номером М-03. Дорога проходить по території Київської, Полтавської, Харківської, Донецької та Луганської областей України та Ростовської області Російської Федерації.

Дорога являється важливою магістраллю в системі доріг, як України, так і в цілому держав СНД, та з'єднує між собою великі промислові, адміністративні та культурні центри: Київ, Полтаву, Харків, Луганськ, Ростов-на-Дону, забезпечує зв'язки лівобережної частини України з крупними промисловими центрами Донбасу та півдня держави, південними районами Російської Федерації та Закавказькими республіками.

Передбачена до реконструкції ділянка дороги км 210+000 – км 213+000 проходить по території Лубенського району Полтавської області.

В основу розробки економічної частини покладено такі матеріали:

- Пропозиції розвитку мережі автомобільних доріг державного значення України на 2000-2020 роки, розроблені інститутом “Укрдіпродор” у 2000 році;
- Техніко-економічне обґрунтування розвитку автомобільної дороги за напрямком Київ-Харків-Дебальцево-Ізварине (М-03, М-04), виконане в 2006р. ДП “Укрдіпродор”
- Візуальний облік руху, проведений АТЗТ “Київсоюзшляхпроект”.

Необхідність реконструкції розглядаємої ділянки дороги викликана тим, що її пропускна спроможність недостатня і не відповідає вимогам руху.

В той час, як швидкість дозволена правилами дорожнього руху 90 км/год, на розглядаємій ділянці швидкість транспортного потоку становить 45-60 км/год.

## **1.2.2 Транспортно-економічна характеристика району тяжіння**

Район тяжіння проектованої ділянки характеризується добре розвинутою промисловістю та сільським господарством, широкими зв'язками, які здійснюються автомобільним та залізничним транспортом.

В районі тяжіння пролягають автомобільні дороги загального користування: державного значення М-03 Київ – Харків – Довжанський; місцевого значення Т-17-10 Лубни – Миргород – Опішня, Т-17-13 Лубни – Оржиця, Т-17-14 Чорнухи – Лубни та ряд доріг місцевого значення.

Найближчі залізничні станції – Лубни, Солониця.

Місто Лубни - центр Лубенського району Полтавської області має біля 45тис.жителів. В ньому розташовані кілька заводів, меблевий комбінат, підприємства харчової промисловості (м'ясний, хлібний комбінати, виноробний та масляний заводи), легкої промисловості, а також навчальні заклади: лісовий технікум, сільськогосподарський технікум бухгалтерського обліку, медичне училище, а також краєзнавчий музей.

Промисловість району представлена підприємствами металообробної, машинобудівної, легкої та харчової промисловості і підприємствами промисловості будівельних матеріалів.

Машинобудівна та металообробна промисловість представлена ремонтно-механічними майстернями транспортного будівництва та ремонтним заводом в місті Лубни. Промисловість будівельних матеріалів представлена Лубенським заводом кераміки, заводом залізобетонних виробів, цегляним заводом. На перспективні роки галузева структура залишиться без суттєвих змін.

Перспективним планом розвитку економіки в Лубенському районі намічається розвиток промисловості в основному за рахунок реконструкції існуючих підприємств. Основною виробничою спеціалізацією сільського господарства є рослинництво. Збільшення продукції виробництва рослинництва намічається за рахунок інтенсифікації сільського господарства.

### **1.2.3 Обсяги перевезень вантажів та пасажирів**

Для економіки даного району, як і України в цілому, характерні усі риси економічної кризи.

Розглянуто два можливих варіанта розвитку економіки району, які характеризуються різними термінами економічної і фінансової стабілізації.

У відповідності з розробками Мінекономіки України, при реалізації сценарію, розрахованого на залучення всіх можливих джерел фінансування, в тому числі і зовнішніх, і орієнтовного на прогресивні структурні перетворення, збільшення ролі галузей перероблюючої промисловості і поступовий відхід від сировинної орієнтації, очікується відповідне прискорення розвитку автомобільного транспорту і підвищення темпів росту і удосконалення мережі автомобільних доріг (оптимістичний варіант).

При реалізації сценарію, орієнтованого лише на внутрішні джерела інвестування з збереженням, в основному, сировинної орієнтації економіки і здебільшого використання магістральних видів транспорту (залізничного, трубопровідного), темпи розвитку економіки і автодорожнього комплексу будуть мінімальними. Втакому випадку повинен реалізовуватись песимістичний варіант з більш низькими темпами розвитку автодорожньої мережі.

Проте, враховуючи значний економічний потенціал досліджуємого регіону, який охоплює районний центр та інші міста обласного підпорядкування, чисельні великі і малі підприємства промисловості, будівництва, сільського господарства і торгівлі, у відповідності з державною цільовою програмою соціально-економічного розвитку Полтавської області і програмою розвитку транспортного комплексу цього регіону на перспективний період, реально, що буде реалізовуватись варіант з більш високими темпами розвитку економіки регіону і його автодорожнього комплексу (оптимістичний варіант).

### 1.2.4 Інтенсивність руху транспортних потоків

Для визначення розмірів і напрямку руху автотранспорту в існуючих умовах у січні 2010 р. був проведений беззупинковий облік руху автомобілів на автомобільній дорозі загального користування Київ – Харків – Довжанський на ділянці км210+000 – км213+000.

Контрольний беззупинковий облік руху автомобільного транспорту проводився з метою визначення наступних показників:

- рівнів завантаження дороги рухом;
- загальних рівнів вантажо- і пасажиропотоків;
- складу руху автомобілів по видам транспортних засобів (автобуси, легкові, вантажні автомобілі);
- структури вантажного руху;
- структури автобусного руху;
- питомої ваги спец. автомобілів в загальному вантажному потоці.

Контрольний облік руху проводився в світлий час доби на км210+500, отримані в результаті проведення контрольного беззупинкового обліку руху.

Дата проведення обліку	Найменування дороги	Місцезнаходження посту обліку руху, км	Величина середньорічної добової інтенсивності руху	Склад руху			Середня вантажопідйомність вантажного автомобіля
				вантажні	легкові	автобуси	
15.01.10	Київ – Харків – Довжанський	210+500	9100	3968	4685	447	6,4

Отримані дані використані для аналізу існуючих показників роботи автомобільного транспорту району тяжіння, і обчислення середніх величин по дорозі, визначення на їх основі перспективних показників, які потім були закладені в розрахунки інтенсивності руху.

### **1.2.5 Розрахунок перспективної інтенсивності руху**

В результаті аналізу даних контрольного обліку руху, проведеного АТЗТ “Київсоюзшляхпроект”, генеральної схеми розвитку мережі автомобільних доріг державного значення України та ТЕО “Укргіпродору,” на перспективний період прийнято кількість вантажних автомобілів в потоці – 35%, легкових – 61%, автобусів – 4%.

Таким чином, сумарна середньорічна добова інтенсивність руху автомобілів усіх видів на перспективний 2031 рік при середньому щорічному збільшенню до 5% складає 23135 авт./добу.

Враховуючи, що в загальному потоці руху легкових автомобілів буде більше 30%, розрахункова інтенсивність руху повинна бути приведена до легкового автомобіля.

Мінімальна сумарна інтенсивність руху, приведена до легкового автомобіля складе на 2031 рік 39674 авт./добу.

У відповідності до вимог ДБН В 2.3-4:2015 проєктована ділянка автомобільної дороги повинна бути віднесена до І-б категорії.

## **1.2. Фізико-географічні умови району будівництва**

### **1.2.1. Клімат**

Район ділянки реконструкції автомобільної дороги Київ – Харків – Довжанський на ділянці км 210+000 – км 213+000 знаходиться в У-ІІ дорожньо-кліматичному районі України.

Максимальна 5% товщина снігового покриву сягає 50 см.

Нормативна глибина промерзання ґрунту 0,95 м.

Середньорічна температура повітря +7оС.

Абсолютний максимум температур +38оС.

Абсолютний мінімум температур - 37оС.

Дати переходу температури:

- через 0оС – 17.03 та 17.11;
- через +5 оС – 05.04 та 27.10;
- через +10 оС – 25.04 та 04.10.

Кількість днів за рік з туманами – 62.

Кількість днів за рік з відлигою – 73,6.

Кількість днів за рік з ожеледицею – 10.

Тривалість періоду з середньодобовою температурою до 0°С – 122 доби.

### **1.2.2 Рельєф**

Рельєф місцевості плаский, слабо хвилястий. Абсолютні відмітки поверхні землі коливаються між 88,85 та 101,28 м. Тип місцевості за характером зволоження згідно ДБН В.2.3-4:2015 - перший, на ділянках труб - другий. Ерозійні процеси по трасі та поблизу неї відсутні.

### **1.2.3 Геологічна будова та гідрогеологічні умови**

В геоструктурному відношенні ділянка автомобільної дороги розташована в межах Дніпровсько-Донецької западини. Літологічно породи геолого-генетичних комплексів представлені суглинками, супісками, пісками мілкими та

торфом. За гідрогеологічним районуванням ділянка дороги знаходиться в межах Західної Лівобережно-Дніпровської області. У товщі четвертинних відкладів відомі водоносні горизонти, які приурочені до суглинків плато (від нижнього до верхнього відділів) та до алювіальних утворень долин річок, а також балок (середній і сучасний відділ). Ці водоносні горизонти відрізняються невитриманістю та слабкою водообільністю.

#### **1.2.4 Інженерно-геологічні умови**

Геологічний розріз до розвіданої глибини 5,0 м складений сучасними та верхньочетвертинними еолово-делювіальними супісками пилуватими, твердими, просідними, супісками пилуватими, пластичними, суглинками легкими твердими та напівтвердими, а також комплексом алювіальних, озерно - алювіальних та озерно-болотних відкладів, представлених супіском пилуватим, пластичним, супіском пилуватим пластичним, з домішками органічних речовин; піском мілким, середньої щільності, насиченим водою.

Ґрунтові води розкриті виробками на глибині 0,9-7,0 м (абсолютні відмітки 88,07-88,59 м) приурочені до комплексу четвертинних алювіальних різнозернистих пісків і гідравлічно пов'язані з водами р. Войніха.

На ділянці траси км 210+193 передбачено облаштування водопропускної труби. Геологічний розріз до розвіданої глибини 9,0 м представлений сучасними та верхньочетвертиннимиделювіальними супісками, пластичними, з прошарками суглинку м'якопластичного до 20% та верхньочетвертинними алювіальними супісками пилуватими, пластичними, з прошарками піску мілкового, насиченого водою та супіску текучого до 20%.

Мостовий перехід на р. Войніха, що проектується, розташований поруч з діючим. Геологічний розріз до розвіданої глибини 25,1 м, складений сучасними озерно-болотними супісками від піщанистих до пилуватих, від пластичних до текучих, з домішками органічних речовин та торфом піщанистим, сильно розкладеним, стійкої консистенції; алювіальними та озерно-алювіальними

відкладами верхньочетвертинного - сучасного віку, які представлені супісками пилюватими та піщанистими, пластичними та текучими, з прошарками пісків мілких, насичених водою та пісками мілкими та середньої крупності, від пухких до щільних, насиченими водою. Делювіальні та алювіальні відклади

залягають на палеогенових відкладах харківської світи, як: - представлені пісками пилюватими, кварцово-глауконітовими, середньої щільності та щільними, насиченими водою.

Грунтові води розкриті виробками на глибині 1,0-1,5 м (абсолютні відмітки 87,50-87,97 м) приурочені до комплексу четвертинних алювіальних різнозернистго пісків та харківських пісків і гідравлічно пов'язані з водами р. Войніха. Вода не агре сивна по відношенню до бетону марки W4 за водонепроникністю, згідно з СНиП 2.03.11-85

Пішохідний шляхопровід, що проектується, розташований на ПК 44+25. Геологічний розріз до розвіданої глибини 20,1 м, складений верхньочетвертинними та сучасними еолово-делювіальними суглинками легкими пилюватими, твердими та напівтвердими, супісками пилюватими, лесовидними, твердими, просідними, та комплексом алювіальних та озерно-алювіальних відкладів верхньочетвертинного - сучасного віку, які представлені пісками мілкими та середньої крупності, середньої щільності та щільними, вологими та насиченими водою, суглинками легкими пилюватими, туго- та м'якопластичними.

До глибини 3,8-5,3 м ґрунти мають 1-й тип просідності - просідання від власної ваги при замочуванні дорівнює 2,78 см.

Грунтові води розкриті виробками на глибині 5,0-7,0 м (абсолютні відмітки 88,59-89,39 м) приурочені до комплексу четвертинних різнозернистих пісків і гідравлічно пов'язані з водами р. Войніха. Вода не агресивна по відношенню до бетону марки W4 за водонепроникністю, згідно з СНиП 2.03.11-85

### **1.3. Траса дороги**

Початок траси проекрованої ділянки дороги прийнято на експлуатаційному кілометрі 210+000, в кінці ділянки раніше розробленого робочого проекту реконструкції дороги Київ-Харків-Довжанський км207+000 – км210+000.

На всьому протязі поширення іде з лівого, по ходу експлуатаційного кілометражу, боку дороги.

Траса проекрованої дороги прокладена паралельно вісі існуючої дороги на відстані 6-9 м, з метою максимального використання існуючого дорожнього одягу та земляного полотна. В межах села Войниха, де дорога побудована з перехідно-швидкісними смугами, відстань між віссю існуючою та проекрованою дорогою становить 9-12 м.

Кінець траси прийнято на км213+000.

Довжина проекрованої ділянки дороги становить 3,040 км. По трасі налічується 5 кутів повороту з коловими радіусами 1531,05 м, 1824,43 м, 3100 м, 800 та 3100м. На кривих з радіусами 1824,43 м та 800 м влаштовується віраж.

### **1.4. Поздовжній профіль, поперечний профіль, земляне полотно**

Як зазначено вище, план існуючої дороги відповідає вимогам норм II категорії, що при розробці проектної документації реконструкції автомобільної дороги за нормами I-б категорії, дозволяється п.4.2.3 ДБН В.2.3-4:2015. В плані повністю використовується існуючий напрямок.

Вихідними для проектування поздовжнього профілю були призначені контрольні відмітки:

- відмітка проїзної частини мосту через р. Вохниха;
- відмітка мінімально необхідної мінімальної засипки над трубою;
- відмітка існуючого покриття в місцях вирівнювання.

При проектуванні визначилось:

Максимальний повздовжній ухил - 17‰(не перевищує норм, що припустимі вимогами ДБН В 2.3-4:2015).

Мінімальні радіуси вертикальних кривих:

- опуклих – 15000 м;
- увігнутих – 7001 м.

Земляне полотно побудовано загалом в насипу. Лише на ділянці ПК43+90 – ПК48+00 при поширенні дороги з лівого боку з’являється виїмка глибиною 0,5-0,9м (тип 4).

Загальний стан існуючої дороги задовільний, тому нема необхідності перебудовувати земляне полотно. Проектування поздовжнього профілю нового проїзду виконано з урахуванням посилення і вирівнювання дорожнього одягу існуючої дороги.

Характер земляного полотна при такому проектуванні збережеться, а насип буде розширено для влаштування нового проїзду.

При проектуванні земляного полотна дотримані вимоги ДБН В.2.3-4-2015 “Автомобільні дороги”, ВБН В.2.3-218-171-2002 “Спорудження земляного полотна автомобільних доріг”.

В результаті проектування поздовжнього профілю по трасі визначились чотири типи поперечних профілів земляного полотна:

Тип 1 - насип висотою до 3,0 м з укосами 1:4, ( на ділянках: ПК28+51 – ПК29+60 – справа, ПК47+37 – ПК58+91,4 – справа, ПК48+000 – ПК58+91,4 – зліва,)

Тип 2 - насип висотою від 3,0 до 6,0 м, з укосами 1:1,75, (на ділянках: ПК28+51 – ПК31+00 – зліва, , ПК29+60 – ПК31+00 – справа,)

Тип 3 - (в межах с.Войниха) насип висотою до 6,0 м, з укосами 1:1,75 (на ділянках: ПК31+00 – ПК43+90 – зліва, ПК31+00 – ПК47+37 – справа)

Тип 4 - (в межах с.Войниха) виїмка глибиною до 1 м (на ділянці: ПК43+90 – ПК48+00 зліва

Ширина земляного полотна в залежності від ширини розділювальної смуги, наявності перехідно-швидкісних смуг та бар’єрного огородження складає від 28,5м до 33,80м.

При крутості укосів насипу 1:1,75 на бровці дороги встановлюється металеве бар'єрне огородження. Узбіччя поза укріплювальними смугами на ширину 1,75м передбачено виконати з асфальтобетонним покриттям.

Поверхневий стік забезпечується поперечним ухилом на рельєф місцевості.

Земляне полотно в обсязі 132614 м<sup>3</sup> відсипається ґрунтом виїмки 8867 м<sup>3</sup> та ґрунтом зі штабелю гідронамиву – 138378 м<sup>3</sup>.

Перед досипкою смуг земляного полотна при насипах висотою до 3 м, укоси існуючої дороги розпушують, а при більшій висоті влаштовують уступи.

### **1.5 Штучні споруди**

Траса ділянки автодороги перетинає одне незначне пониження на ПК30+50.

Існуюча в цьому місці труба має отвір 0,75м. В зв'язку з поширенням земляного полотна і влаштуванням віднесеного лівоповоротного з'їзду, довжина труби буде більша, ніж 50 м . Тому проектом передбачається влаштування нової металеві гофрованої трубу d-1,58 м на ПК 29+93.

На ПК 41+32 знаходиться міст через р. Войниха. Проектом передбачається розбирання існуючого мосту та будівництво двох нових мостів прогоном 33,0 м та Г-11,5+2+1,0. В подальшому кожен з 2-х мостів буде використовуватись для одностороннього руху.

На ділянці місцевих проїздів через р. Войниха запроектовано круглі металеві гофровані труби отвором 3x1,58 м з обох боків від проектуємих мостів.

Під в'їздами у двори та під з'їздами з основної дороги запроектовано круглі залізобетонні труби d-0,5 м, 0,75 м та 1,0 м

На ПК44+25 запроектовано надземний пішохідний перехід.

Проектні рішення по нових мостах та надземному пішохідному переході наведені в окремих томах.

## **1.6 Дорожній одяг**

Існуючий дорожній одяг побудовано за традиційною схемою. Згідно обстежень, вона складається із: двохшарового асфальтобетонного покриття товщиною 14 см, шару основи із фракційного щебеню, укладеного за способом заклинювання товщиною 12см, та підстиляючого шару із рядового щебеню товщиною 13 см.

Модуль пружності, існуючого покриття складає - 215-218 МПа. Стан дорожнього одягу задовільний., що не відповідає мінімальному, необхідному для доріг I-б категорії - 250 МПа.

На даний час, згідно ДБН В.2.3-4:2007 встановлено навантаження на вісь для розрахунку дорожнього одягу 115 кН (п.4.3.2), тому існуючій дорожній одяг необхідно не тільки вирівняти, щоб придати однобічний похил, але й посилити. Посилення передбачається виконати за рахунок фрезерування існуючого покриття та влаштування додаткових шарів асфальтобетону.

Конструкції дорожнього по основному проїзду та на примиканнях було запроєктовано ДП «УКРДІПРОДОР».

**Дорожній одяг по основній дорозі, на укріпних та перехідно-швидкісних смугах:**

- щебенево-мастиковий асфальтобетон (ЩМА-20) на модифікованих бітумах з додаванням ПАР, згідно ДСТУ Б В.2.7-127:2006 товщиною 7 см;
- гарячий щільний крупнозернистийасфальтобетон на бітумі БНД 60/90 марки I типуА, згідно ДСТУ Б В.2.7-119-2003 товщиною 9 см;
- гарячий пористий крупнозернистий асфальтобетонна бітумі БНД 60/90 марки I товщиною, згідно ДСТУ Б В.2.7-119-2003 товщиною 11 см;
- оптимальна щебенево-пісчана суміш С-7, оброблена цементом М-40, згідно ВБН в.2.3-218.002-95 товщиною 12 см;
- оптимальна щебенево-пісчана суміш С-5, згідно ДСТУ Б В.2.7-30-95 товщиною 16 см

### **Посилення існуючого дорожнього одягу:**

На існуючій дорозі передбачено посилення дорожнього одягу з приданням проїжджій частині односхилого поперечного профілю фрезеруванням існуючого покриття вирівнювання гарячим пористим крупнозернистим асфальтобетоном.

- щебенево-мастиковий асфальтобетон (ЩМА-20) на модифікованих бітумах з додаванням ПАР, згідно ДСТУ Б В.2.7-127:2006 товщиною 5 см;
- гарячий щільний крупнозернистий асфальтобетон на бітумі БНД 60/90 марки І типу А, згідно ДСТУ Б В.2.7-119-2003 товщиною 8 см;
- гарячий пористий крупнозернистий асфальтобетон на бітумі БНД 60/90 марки І товщиною, згідно ДСТУ Б В.2.7-119-2003 товщиною 8 см;
- вирівнюючий шар з оптимальної щебенево-піщаної суміші С-7, обробленої цементом М-40 згідно ВБН в.2.3-218.002-95 середньою товщиною 9 см;
- шар із відфрезерованого матеріалу від розбирання існуючого покриття з додаванням оптимальної щебенево-піщаної суміші С-7 (h-0.04м), бітумної емульсії (2.5%) та цементу М400 (3.5%) згідно ВБН В.2.3.-218-545:2009 18 см;
- фрезерування існуючого покриття на глибину 14 см.

Ширина проїжджої частини 2х3,75; укріпні смуги з зовнішнього боку (за рахунок узбіч) – 2х0,75м, з внутрішніх боків (за рахунок роздільної смуги) 2х1,0м. Поперечний ухил проїзної частини 25‰, узбіч - 50‰.

## 1.7 Пересічення та примикання

На проєктованій ділянці по основній дорозі передбачено 3 з'їзди-виїзди та 2 віднесених лівоповоротних з'їзди, а також місцеві проїзди з заїздами до дворів під двохстороній рух з обох боків проєктуємої дороги.

Існуючі з'їзди, в зв'язку з розширенням дороги, потребують перебудови та перенесення.

Передбачено влаштування лівоповоротних з'їздів типа "вуха" на ПК30+20 в бік Полтави, та на ПК48+21 в бік Києва.

З обох боків в с.Войниха розміщується житлова забудова. Враховуючи необхідність забезпечення проїзду місцевого транспорту в стислих умовах, прийнято рішення розташування місцевих проїздів шириною 7,0м для двостороннього руху та тротуаром шириною 1,0 м з боку забудови, також передбачено в'їзди у двори. Це дозволить звести усі виїзди з приватної забудови на спеціально улаштовані з'їзди. Також на місцевих проїздах передбачено заїзні кишені з посадковими майданчиками для можливості пропуску шкільного автобуса.

Для розвороту у напрямку Полтави та Києва використовуються лівоповоротні з'їзди типа "вуха".

## РОЗДІЛ 2. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

### 2.1. Гідравлічний розрахунок водозбірного басейну

#### 2.1.1. Розрахунок обсягів водозбірного басейну

Максимальна витрата води від зливогого стоку, м<sup>3</sup>/с:

$$Q_3 = 16,7 \times a_{200} \times K_t \times F \times \alpha \times \varphi$$

де  $a_{200}$  – середня інтенсивність зливи тривалістю 1 год, мм/хв,

яка залежить від району та ймовірності перевищення повені  $ЙП$ , %;

$K_t$  – коефіцієнт переходу від інтенсивності зливи тривалістю 1 година до розрахункової інтенсивності;

$F$  – площа водозбору, км<sup>2</sup>, (визначається за топографічною картою);

$\alpha$  – коефіцієнт витрати стоку, яка залежить від ґрунту на поверхні водозбору;

$\varphi$  – коефіцієнт редуції, що враховує неповноту стоку.

Максимальна витрата води від сніготанення, м<sup>3</sup>/с:

$$Q_m = \frac{K_o \times h_{розр} \times F}{(F + 1)^n} \delta_1 \delta_2$$

де  $K_o$  – коефіцієнт дружності повені;  $n$  – показник ступеня для дорожньо-кліматичної зони);

$F$  – площа водозбору, км<sup>2</sup>;

$h_{розр} = \bar{H} \times K_p$  – розрахунковий шар сумарного стоку, мм;

$h$  – середній багаторічний шар стоку води від сніготанення, мм;

$K_p$  – модульний коефіцієнт при гамма-параметричному законі розподілу (рис. 3.5. [5]), який залежить від  $ЙП$ ,  $C_{vh}$ ,  $C_{sh}$  ;

$C_{vh}$  – коефіцієнт варіації шару стоку повені;

$C_{sh}$  – коефіцієнт асиметрії;

$\delta_1$  – коефіцієнт, що враховує зменшення витрат, при наявності на поверхні басейну озер;

$\delta_2$  – коефіцієнт, що враховує зменшення витрат, при наявності лісів та боліт.

## 2.1.2. Розрахунок водоперепускної споруди на ПК 2101+94

Вихідні дані:

– район прокладання траси – Полтавська обл., 6-й зливовий район при  $ЙП=2\%$   
 $a_{год} = 0,89$  мм/хв;

– коефіцієнт переходу від інтенсивності зливи тривалістю 1 година до розрахункової інтенсивності –  $K_t = 2,12$  при  $L_y = 0,989$  км та  $i_y = 5\text{‰}$ ;

– площа водозбору за топографічною картою –  $F = 0,430$  км<sup>2</sup> ;

– коефіцієнт витрати стоку при супісках  $\alpha = 0,55$ ;

– коефіцієнт редукції при  $F = 0,430$  км<sup>2</sup>  $\varphi = 0,68$ ;

$$Q_3 = 16,7 \times 0,89 \times 2,12 \times 0,430 \times 0,55 \times 0,68 = 5,06 \text{ м}^3/\text{с}.$$

– район прокладання траси – Полтавська обл.,  $K_o = 0,02$  і  $n = 0,25$ ;

– середній багаторічний шар стоку води від сніготанення для Полтавської обл.  
 $h = 40$  мм при  $F < 100$  км<sup>2</sup> при суглинках збільшується на 1,1 тому  $\bar{h} = 44$  мм;

– коефіцієнт варіації шару стоку повені  $C_{vh} = 0,77$ , який при  $F < 50$  км<sup>2</sup> збільшується в 1,25 раза, тобто  $C_{vh} = 1,25 \times 0,77 = 0,96$ ;

– коефіцієнт асиметрії  $C_{sh}$  – для рівнинних водозборів  $C_{sh} = 2 C_{vh} = 1,93$ ;

– модульний коефіцієнт  $K_p = 3,83$  при  $C_{vh} = 0,96$ ,  $C_{sh} = 1,93$  та  $ЙП = 2\%$ ;

$$h_{розр} = 44 \times 3,83 = 153,0 \text{ мм};$$

– коефіцієнт, що враховує зменшення витрат, при наявності на поверхні басейну озер більш ніж 2%,  $\delta_1 = 1,0$ ;

– коефіцієнт, що враховує зменшення витрат, при наявності на поверхні басейну лісів та боліт,  $\delta_2 = 1,0$ .

$$Q_o = \frac{0,02 \times 153,0 \times 0,430}{(0,430 + 1)^{0,25}} \times 1,0 \times 1,0 = 1,20 \text{ м}^3/\text{с}$$

Оскільки максимальні витрати зливової води більші, ніж витрати води від сніготанення, то за розрахункові на ПК 2101+94 приймаємо саме витрати від зливи, тому  $Q_p = Q_3 = 5,06 \text{ м}^3/\text{с}$

**Визначення довжини труби** (при перетині дороги під прямим кутом):

$$B_{mp} = L + 2M$$

де  $L$  – довжина труби без оголовка

$$L = \left[ \frac{0.5 \times B + m(H - h)}{1 + mi} + \frac{0.5 \times B + m(H - h)}{1 - mi} + n \right] \times \frac{1}{\sin \alpha},$$

$B$  – ширина земляного полотна;

$H$  – висота насипу над трубою;

$h$  – висота труби;

$m$  – коефіцієнт закладення укосів земляного полотна;

$i$  – ухил труби;

$M$  – довжина оголовка.

### **Розрахунок отвору водоперепускної труби**

**Варіант №1.** Кругла з/б труба  $1\varnothing 1,25$  м, яка здатна прийняти при напірному режимі  $Q = 6,0$  м<sup>3</sup>/с;

$$Q = 6,0 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$6,00 - 5,06 = 0,94 \text{ м}^3/\text{с} < \pm 0,05 \times 5,06 = 0,25 \text{ м}^3/\text{с};$$

– глибина води перед трубою  $H = 2,46$  м;

– швидкість води при виході з труби –  $v = 5,4$  м/с;

– мінімальна висота насипу біля труби  $h_{\min} = 1,25 + 0,2 + 0,5 = 1,95$  м.

### **Варіант 2**

Приймаємо круглу металеву гофровану трубу  $1\varnothing 1,6$  м., яка здатна прийняти при безнапірному режимі  $Q = 2,7$  м<sup>3</sup>/с при цьому:

$$Q = 2,7 \times 2 = 5,40$$

$$Q - Q_p < \pm 0,05 Q_p ;$$

$$5,40 - 5,06 = 0,3 \text{ м}^3/\text{с} < \pm 0,05 \times 5,06 = 0,25 \text{ м}^3/\text{с};$$

– глибина води перед трубою  $H = 1,37$  м;

– швидкість води при виході з труби –  $v = 3,2$  м/с;

– мінімальна висота насипу біля труби  $h_{\min} = 1,5 + 0,2 + 0,5 = 2,2$  м.

### Варіант №3

Прямокутна з/б труба 2,0x2,0 м, яка здатна прийняти при напірному режимі  
 $Q = 2,0 \text{ м}^3/\text{с}$ ;

При цьому:

$$Q = 2 \times 2 = 4 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$5,06 - 4 = 0,94 \text{ м}^3/\text{с} < \pm 0,05 \times 5,06 = 0,25 \text{ м}^3/\text{с};$$

- глибина води перед трубою  $H = 0,71 \text{ м}$ ;
- швидкість води при виході з труби –  $v = 2,3 \text{ м/с}$ ;
- мінімальна висота насипу біля труби  $h_{\min} = 2,0 + 0,24 + 0,5 = 2,74 \text{ м}$ .

Отже вибираємо другий варіант, тобто безнапірний режим протікання води у трубі, оскільки при цьому можна уникнути затоплення цінних сільськогосподарських угідь, а незначне збільшення витрати залізобетону на водопропускну споруду компенсується зменшенням обсягу земляних робіт.

### Розрахунок довжини водоперепускної споруди на ПК 2101+94

Варіант №1. Кругла з/б труба  $1\text{Ø}1,25 \text{ м}$

$$L = \left[ \frac{0,5 \times 41,50 + 1,25(3,06 - 1,25)}{1 + 1,5 \times 0,01} + \frac{0,5 \times 41,50 + 1,25(3,06 - 1,25)}{1 - 1,5 \times 0,01} + 0,35 \right] \times \frac{1}{\sin 90} \approx 47,25 \text{ м.}$$

$$B_{\text{мр}} = 47,25 + 2 \times 2,26 = 51,77 \text{ м.}$$

Варіант №2. Кругла металева гофрована труба  $1\text{Ø}1,6 \text{ м}$

$$L = \left[ \frac{0,5 \times 41,50 + 1,6(3,06 - 1,6)}{1 + 1,5 \times 0,01} + \frac{0,5 \times 41,50 + 1,6(3,06 - 1,6)}{1 - 1,5 \times 0,01} + 0,35 \right] \times \frac{1}{\sin 90} \approx 46,74 \text{ м.}$$

$$B_{\text{мр}} = 46,74 + 2 \times 2,74 = 52,22 \text{ м.}$$

Варіант №3. Прямокутна з/б труба 2.0x2.0 м

$$L = \left[ \frac{0,5 \times 12,0 + 2,0(3,06 - 2,0)}{1 + 1,5 \times 0,01} + \frac{0,5 \times 12,0 + 2,0(3,06 - 2,0)}{1 - 1,5 \times 0,01} + 0,35 \right] \times \frac{1}{\sin 90} \approx 44,58 \text{ м.}$$

$$B_{\text{мр}} = 44,58 + 2 \times 3,20 = 50,92 \text{ м.}$$

## **2.2. Визначення оптимальної конструкції водоперепускної труби**

### **2.2.1. Загальні положення**

Трубами називаються штучні споруди, призначені для пропуску під насипом води невеликих постійних або періодично діючих водотоків, пересічених полоном дороги.

Число труб на автомобільних дорогах дуже велике: вони складають 80-85% від загального числа водоперепускних споруд. Тому їх раціональне проектування має велике економічне значення.

Особливістю труб, на відміну від мостів, являється наявність над їх несучими конструкціями ґрунтової засипки і неперервність проїзної частини.

Ґрунтова засипка розподіляє зосереджений тиск колес автомобілів і помякшує їх динамічну дію, мінімальна товщина засипки 0,5 м.

По умовам пропуску води труби можуть бути безнапірними і напірними. В безнапірних трубах вся притікаюча вода безперешкодно проходить, не затоплюючи вхідного отвору. В напірних трубах приток води в окремих випадках може бути більше їх пропускної здатності, що приводить до накопичення на деякий час води з верхової сторони насипу. Створюється напор, в результаті якого збільшується швидкість протікання води в трубі і її водопропускна спроможність.

Залізобетонні труби дякуючи хорошим експлуатаційним і будівельним якостям широко використовуються на автомобільних дорогах всіх технічних категорій. Сучасні конструкції залізобетонних труб виконуються із збірних елементів і лише в окремих випадках із монолітного залізобетону.

Труби круглого сечення під насипами автомобільних доріг звичайно приміняються при незначних витратах води. Як правило, їх роблять збірними. Лише в тих випадках, коли доводиться будувати одиничні споруди, а район будівництва віддалений від баз збірного залізобетонних конструкцій, їх виконують із монолітного залізобетону.

### **2.2.2. Порівняння конструкцій водоперепускних труб**

Проектування труб починається з вибору найбільш доцільного варіанту, а в останній час варіантне проектування розповсюджено і на вибір конструкцій, наприклад фундаментів, тіла труби та інше. Як правило складають три-чотири схеми споруди. Комплексним показником для оцінки економічної ефективності варіантів схем споруди є приведені затрати, визначені з урахуванням вартості споруди по кошторису, - довжини та трудомісткості будівництва, експлуатаційних витрат, капіталовкладень в виробничу базу по виготовленню конструкцій та матеріалів, на придбання монтажних та транспортних засобів.

Для порівняння і вибору оптимальної конструкції водо перепускної труби було розглянуто три схеми штучної споруди. Схеми мають різні типи конструкцій та фундаментів. Кожен варіант має однакову довжину труби, але разом з тим передбачається різна пропускна здатність і швидкість протікання води. Форми оголовків труб відрізняються.

#### ***I варіант:***

В цьому варіанті запропонована кругла залізобетонна труба  $\text{Ø}1,25$  м. Режим протікання води – напірний. Витрата води складає  $6,00 \text{ м}^3$  при розрахунковій витраті  $5,06 \text{ м}^3$ . Конструкція труби – збірна. Витрата бетону складає  $29,80$  т.

#### ***II варіант:***

В цьому варіанті запропонована кругла залізобетонна труба  $\text{Ø}1,58$  м. Режим протікання води – безнапірний. Витрата води складає  $5,40 \text{ м}^3$  при розрахунковій витраті  $5,06 \text{ м}^3$ . Конструкція труби – збірна.

#### ***III варіант:***

В цьому варіанті прямокутна залізобетонна труба  $2,0 \times 2,0$  м. Режим протікання води – напірний. Витрата води складає  $2,00 \text{ м}^3$  при розрахунковій витраті  $5,06 \text{ м}^3$ . Конструкція труби – збірна. Витрата бетону складає  $113,86$  т.

**Висновок:** порівнявши три схеми водопропускних труб вибираємо другий варіант, тобто безнапірний режим протікання води у круглій металевій гофрованій трубі, оскільки при цьому можна уникнути затоплення цінних сільськогосподарських угідь, а незначне збільшення вартості будівництва, в порівнянні з напірним режимом, компенсується зменшенням обсягу земляних робіт.

## 2.3. Конструювання водоперепускної споруди на ПК 2101+94

### Calculation according to "Design of long span flexible metal culverts" by Lars Pettersson and Håkan Sundquist

Update 3

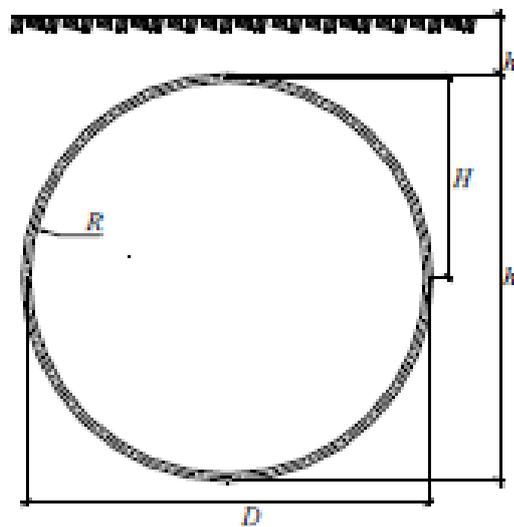
Referenced files

Reference: C:\Program Files\MathCad References\References\_u3.xmcd

Referenced files

Reference: C:\Program Files\MathCad References\Ukrainian LL vehicle.xmcd

Profile A



A. Circular pipe of constant radii.

Profile A

Profile C

Profile F

Profile G

## Input

### Partial coefficients

Safety class:

$$\bar{\gamma}_0 := 1.1$$

Serviceability limit state:

$$\varphi\gamma_{s,s} := \begin{pmatrix} 1.4 \\ 0.9 \end{pmatrix}$$

$$\varphi\gamma_{t,s} := \begin{pmatrix} 1.5 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Ultimate limit state:

$$\varphi\gamma_{s,u} := \begin{pmatrix} 1.4 \\ 0.9 \end{pmatrix}$$

$$\varphi\gamma_{t,u} := \begin{pmatrix} 1.5 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Fatigue limit state:

$$\varphi\gamma_{t,f} := 1.0$$

### Define the geometry

Culvert profile:

$$\text{profile} := \text{"A"}$$

Possible values are "A", "B", ..., "G" corresponding to the figures on the previous page.

The following parameters are defined in the figures on the previous page. For profiles A and B, all radii should be set equal to R. For profiles C and D,  $R_c$  should be set equal to  $R_s$ . For profile E,  $R_s$  should be set equal to  $R_t$ . For profile F,  $R_b$  should be set equal to  $R_c$ . For profile G,  $R_b$  and  $R_c$  should be set equal to  $R_t$ .

$$H_{tot} := 0.79\text{m}$$

$$h_c := 1.2\text{m}$$

$$D := 1.58\text{m}$$

$$R_t := 0.79\text{m}$$

$$R_s := R_t$$

$$R_c := R_t$$

$$R_b := R_t$$

Depth of cover at the position of the bolted connections:

$$h_f := h_c$$

$R_{check}$  is a vector with the different radii to be checked in the lower part of the culvert ( $R_b$  and  $R_c$ ). If there are no such radii defined in the figure, just put it equal to  $R_t$  but in vector form (i.e. for profiles B and G).

$$R_{check} := \begin{pmatrix} R_b \\ R_c \end{pmatrix}$$

### Steel profile

$$t := 2.0\text{mm}$$

Thickness of the plate.

$$h_{corr} := 50\text{mm}$$

Height of the corrugation.

$$e_{val} := 150\text{mm}$$

Wavelength.

$$R_{curv} := 35\text{mm}$$

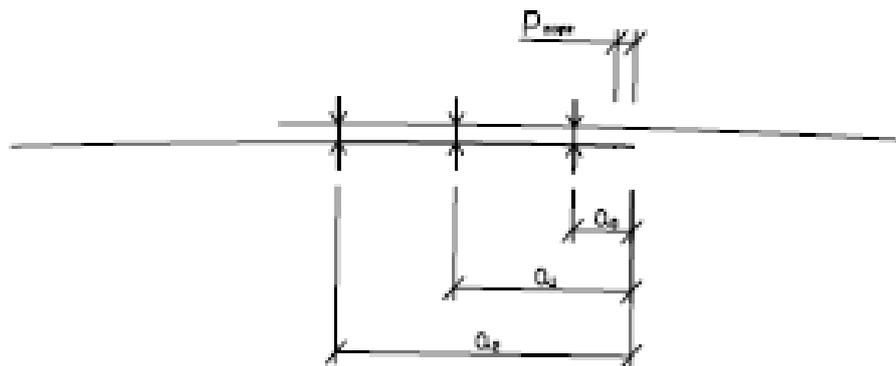
Radius of curvature.

$$E := 210\text{GPa}$$

$$f_{yk} := 235\text{MPa}$$

$$f_{uk} := 360\text{MPa}$$

Young's modulus, yield stress and ultimate stress.



Standard values for n and a						
Corrugation	$n_0$	$n_1$	$n_2$	$a_0$	$a_1$	$a_2$
MP150	0	6,67	6,67	0	40	100
MP200	0	5	5	0	35	85
MP200	0	10	5	0	35	85
MP200	0	10	10	0	35	85
SuperCor	5,25	5,25	5,25	38	114	190

## Bolts

If there are only two bolt rows, a zero should be put at the first position of the following two vectors.

Number of bolts per meter in each row:

$$n := (0 \ 6,67 \ 6,67)^T$$

Distance from the edge of the sheet to the centre of each row of bolts:

$$a := (0 \ 40 \ 100)^T \text{ mm}$$

Length of the pressure zone when calculating the tension in the bolts due to moment:

$$P_{zone} := 10 \text{ mm}$$

$$d := 20 \text{ mm}$$

Diameter of the bolt.

$$A_{s,b} := 245 \text{ mm}^2$$

Cross sectional area.

Distance from the centre of a hole to a free edge or to the centre of an adjacent hole measured in the direction of force. It should never exceed  $3 \cdot d$ .

	MP160	MP200		SuperCor	
		10 bolts/m	15 bolts/m	20 bolts/m	
$e_1$	$3d$	$3d$	50mm	50mm	$3d$

$$e_1 := 3d$$

$$f_{buk} := 800 \text{ MPa}$$

Ultimate stress.

$$C_{str} := 45$$

Characteristic structural strenght for  $2 \times 10^6$  stress alternations.

$$n_f := 4 \cdot 10^5$$

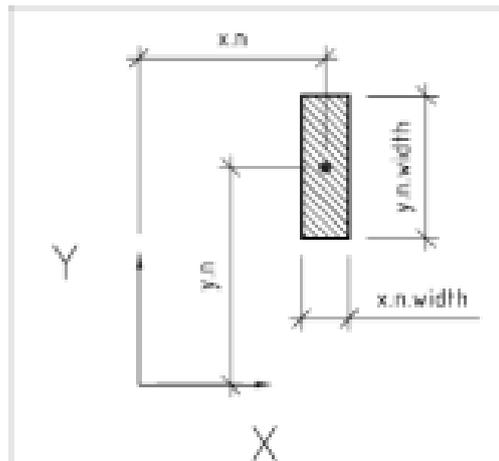
Number of stress alternations.

$$\psi_f := 0,6$$

Reduction factor for pretension.

## Define loads

Point loads:



For load  $n$  in a load case, specify  $P_n$ ,  $x_n$ ,  $y_n$ ,  $x_n.width$ ,  $y_n.width$

$$\begin{pmatrix} P_1 \\ P_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 & y_1 & x_1.width & y_1.width \\ x_2 & y_2 & x_2.width & y_2.width \end{pmatrix}$$

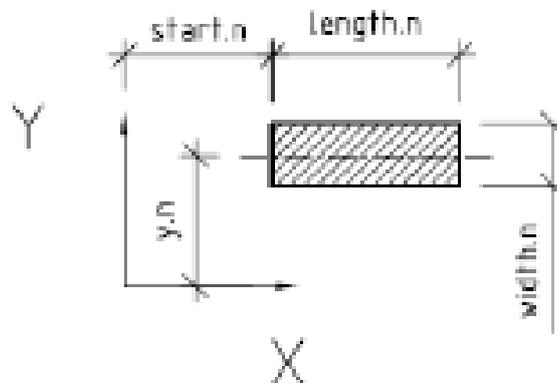
It is also possible to choose one of the predefined load cases from BRO 04,  $P_{ekv.1}$ ,  $pos_{ekv.1}$ ,  $P_{ekv.2}$ ,  $pos_{ekv.2}$ ,  $P_{ekv.4}$ ,  $pos_{ekv.4}$ ,  $P_{fatigue}$ ,  $pos_{fatigue}$

Arrange the different load cases in two vectors, one for the loads and one for the load positions. If there are fatigue load cases, list the positions of the fatigue load cases in the vector fatigue. If there are no fatigue load cases, set the first element in the fatigue vector to -1.

$P := [(P_{HK,100})]$      $load_{xy} := (pos_{HK,})$      $fatigue := (0)$

### Distributed loads to be calculated according to Boussinesq

If there aren't any loads to be calculated this way, just put the value for  $q$  to 0 for that load case, and put arbitrary values in the  $pos$  matrix. Every load case has to have at least one row in the matrices. The load cases should be ordered as in P.



For load  $n$  in a load case, specify  $q_n$ ,  $y_n$ ,  $start_n$ ,  $length_n$ ,  $width_n$

$$\begin{pmatrix} q_1 \\ q_2 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} y_1 & start_1 & length_1 & width_1 \\ y_2 & start_2 & length_2 & width_2 \end{pmatrix}$$

$q_b := [(0) \text{ kPa}]$        $pos := [(1 \ 2 \ 3 \ 4) \text{ m}]$

### Distributed loads with infinite length to be calculated according to Boussinesq

If there aren't any loads to be calculated this way, just put the value for  $q$  to 0 for that load case, and put arbitrary values in the  $pos$  matrix. Every load case has to have at least one row in the matrices. The load cases should be ordered as in P.

For load  $n$  in a load case, specify  $q_n$ ,  $y_n$ ,  $start_n$ ,  $length_n$ ,  $width_n$

$$\begin{pmatrix} q_1 \\ q_2 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} y_1 & start_1 & length_1 & width_1 \\ y_2 & start_2 & length_2 & width_2 \end{pmatrix}$$

$q_i := q_b$        $pos_j := pos$

$lcases := \text{stack}(\text{"Fatigue load"}, \text{"Ekv. load 1"}, \text{"Ekv. load 2"}, \text{"Ekv. load 4"})$

### Distributed load for use according to the handbook

Set the value for  $q$  for each load case. If all distributed loads are calculated according to Boussinesq, this value should be zero for that load case. If you use this value instead,  $q_j$  should be zero for that load case.

$q_{\text{handbook}} := (4\text{kPa})$

### Dynamic effect

$inc := 0$

Is the dynamic effect included in the live load? If so,  $inc$  should be put equal to 0. Otherwise  $inc$  should be put equal to 1.

### Specify the number of calculation points to find $p_{\text{traffic}}$

$x_{\text{divisions}} := 15$

$y_{\text{divisions}} := 10$

Number of original calculation points:  $(x_{\text{divisions}} + 1) \cdot (y_{\text{divisions}} + 1) = 176$

### Disregard negative values of $\sigma_v$ ?

$neg := 0$

If  $neg=0$ , negative values for the pressure  $\sigma_v$  are put equal to zero. If  $neg=1$  the negative values for the pressure will be used in the calculations.

## Define soil parameters

Define the degree of compaction, the standard Proctor value RP:

$$RP := 97$$

Select method, set Meth=1 for the simplified method (Method A) or Meth=2 for the more precise method (Method B)

$$\text{Meth} := 2$$

For method A (Meth=1): Nothing else is required.

For method B (Meth=2):  $\rho_{opt}$        $\rho$        $\varphi_{cv,k}$        $1 - \sin(\varphi_{cv,k})$

Material	Optimal Density kN/m <sup>3</sup>	Density kN/m <sup>3</sup>	Angle of Friction (degrees)	Red Earth Pressure, $K_0$	$d_{10}$ (mm)	$d_{50}$ (mm)	$d_{60}$ (mm)	$C_u$
Krossad Springstein	19,6	19	45	0,29	6	70	90	15
Furtdarlinge- lagermaterial	20,6	20	40	0,36	3,1	20	31	10
Bgrtlagermaterial	21,7	21	43	0,32	0,7	10	11	15,7

Define the optimal density  $\rho_{opt}$ , the density  $\rho_1$ , the average density  $\rho_2$ , the particle size distribution  $d_{10}$ ,  $d_{50}$ ,  $d_{60}$  and  $\gamma_{m,soil}$

$$\rho_{opt} := 20,6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$d_{10} := 3,1 \text{ mm}$$

$$d_{50} := 20 \text{ mm}$$

$$d_{60} := 31 \text{ mm}$$

$$\gamma_{m,soil} := 1,3$$

$$\rho_{cv} := \frac{RP}{100} \rho_{opt}$$

$$\rho_{cv} = 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$\rho_1 := \rho_{cv}$$

$$\rho_2 := \rho_{cv}$$

## Calculations

### Soil parameters

The choice of method to calculate tangent soil modulus is done in the input section. The calculations are made in functions containing the formulas from the handbook. Before you can calculate the tangent modulus with Method B, you need to calculate the arching coefficient for the soil. It is done in the function called arch(). It uses equations (4.d) through (4.g) and (b2.f) in the handbook. The function used for calculating the tangent modulus is called soil(). It uses equations (b2.a) through (b2.i) in the handbook.

#### Calculations

$$d_{\text{soil}} := \begin{pmatrix} d_{10} \\ d_{50} \\ d_{60} \end{pmatrix} \quad d_{\text{soil}}^T = (3.1 \ 20 \ 31)\text{-mm}$$

$$RP = 97 \quad h_c = 1.2\text{m} \quad D = 1.6\text{m} \quad \gamma_n = 1.1 \quad \gamma_{m,\text{soil}} = 1.3$$

$$S_{ar} := \text{arch}(RP, d_{\text{soil}}, h_c, D, \gamma_n, \gamma_{m,\text{soil}}) \quad S_{ar} = 0.84$$

$$\text{Meth} = 2 \quad H = 0.79\text{m} \quad \rho_{\text{opt}} = 20.6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \quad \rho_{\text{cv}} = 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \quad \rho_2 = 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$E_{s,d} := \text{soil}(\text{Meth}, RP, h_c, H, \gamma_n, \gamma_{m,\text{soil}}, d_{\text{soil}}, \rho_{\text{opt}}, \rho_{\text{cv}}, \rho_2, S_{ar}) \quad E_{s,d} = 26.7\text{-MPa}$$

#### Calculations

### Culvert profile

The sectional properties of the culvert profile are calculated according to equation (b1.a) in the handbook.

$$m_{t,\text{guess}} := 37.5\text{mm} - 1.83 \cdot t \quad \alpha_{\text{guess}} := 0.759 + 0.010 \frac{t}{\text{mm}}$$

#### Calculations

$$R = 35\text{-mm} \quad \alpha_{\text{guess}} = 44.6\text{-deg} \quad m_{t,\text{guess}} = 33.8\text{-mm} \quad h_{\text{corr}} = 50\text{-mm} \quad e_{\text{val}} = 150\text{-mm}$$

Given

$$h_{\text{corr}} = 2R \cdot (1 - \cos(\alpha_{\text{guess}})) + m_{t,\text{guess}} \cdot \sin(\alpha_{\text{guess}})$$

$$e_{\text{val}} = 4R \cdot \sin(\alpha_{\text{guess}}) + 2m_{t,\text{guess}} \cdot \cos(\alpha_{\text{guess}})$$

$$\begin{pmatrix} m_{\text{temp}} \\ \alpha \end{pmatrix} := \text{Find}\left(\frac{m_{t,\text{guess}}}{\text{mm}}, \alpha_{\text{guess}}\right) \quad m_t := m_{\text{temp}} \cdot \text{mm}$$

The tangent length and angle were calculated to:  $m_t = 33.5\text{-mm}$   $\alpha = 49.5\text{-deg}$

A check is made with the calculated values in equation (b1.a) in the handbook. The result should be zero.

$$2R \cdot (1 - \cos(\alpha)) + m_t \cdot \sin(\alpha) - h_{\text{corr}} = 0\text{ m}$$

$$4R \cdot \sin(\alpha) + 2m_t \cdot \cos(\alpha) - e_{\text{val}} = 0\text{ m}$$

$$\text{dim} := (R \quad t \quad e_{\text{val}} \quad h_{\text{corr}} \quad m_t)$$

$$R = 35\text{-mm} \quad t = 2\text{-mm} \quad e_{\text{val}} = 150\text{-mm} \quad h_{\text{corr}} = 50\text{-mm} \quad m_t = 33.5\text{-mm}$$

$$\text{props} := \text{culvProp}(\text{dim}, \alpha)$$

$$A_g := \text{props}_{0,0} \cdot \text{m} \quad I_g := \text{props}_{0,1} \cdot \text{m}^3 \quad W_g := \text{props}_{0,2} \cdot \text{m}^2 \quad Z_g := \text{props}_{0,3} \cdot \text{m}^2$$

Calculations

$$A_g = 2.552 \frac{\text{mm}^2}{\text{mm}}$$

$$I_g = 770.1 \frac{\text{mm}^4}{\text{mm}}$$

$$W_g = 29.6 \frac{\text{mm}^3}{\text{mm}}$$

$$Z_g = 40 \frac{\text{mm}^3}{\text{mm}}$$

$$\frac{Z_g}{W_g} = 1.4$$

The stiffness parameter is calculated according to equation (4.p) in the handbook.

$$E_{s,d} = 26.7\text{-MPa} \quad D = 1.58\text{ m} \quad E = 210\text{-GPa} \quad I_g = 770.1 \frac{\text{mm}^4}{\text{mm}}$$

$$\lambda_f := \frac{E_{s,d} \cdot D^3}{E \cdot I_g}$$

$$\lambda_f = 652.1$$

### Crown rise

The crown rise is calculated according to equation (b3.b) in the handbook.

Calculations

$$h_c = 1.2\text{ m} \quad D = 1.58\text{ m} \quad H = 0.79\text{ m} \quad \lambda_f = 652.1 \quad \rho_1 = 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$E_{s,d} = 26.7\text{-MPa} \quad \text{profile} = \text{"A"}$$

$$\delta_{\text{crown}} := \text{cRise}(h_c, D, H, \lambda_f, \rho_1, E_{s,d}, \text{profile}) \quad \delta_{\text{crown}} = 0.3\text{-mm}$$

The reduced depth of cover is calculated according to equation (4.a) in the handbook.

$$h_{c,\text{red}} := h_c - \delta_{\text{crown}} \quad h_{c,\text{red}} = 1.2\text{-m} \quad 0.015 \cdot D = 23.7\text{-mm}$$

## Dynamic amplification factor

There are two different cases when it comes to the dynamic factor. If the dynamic effect is included in the load a reduction factor is used when the height of cover is larger than 2 m. If the dynamic effect is not included in the load, the dynamic amplification factor is first calculated, then reduced if the height of cover is larger than 1.2 m.

The function `dyn()` handles both cases. If the dynamic effect is included in the load (specified by the variable `inc`), it uses the sub function `redFac()` to calculate the reduction factor according to equation (3.a) in the handbook. If the dynamic effect is not included, it uses the sub function `dynFac()` to calculate the dynamic amplification factor and, if needed, the reduction of it according to equation (b5.a) in the handbook.

Calculations

$$D = 1.58 \text{ m} \quad h_c = 1.2 \text{ m} \quad h_{c,red} = 1.2 \text{ m} \quad inc = 0$$

$$r_d := \text{dyn}(D, h_c, h_{c,red}, inc) \quad r_d = 1$$

Calculations

## Axial forces

### Load from the surrounding soil

Equation (4.c) in the handbook is used to calculate the normal forces in the culvert due to the load from the surrounding soil.

Calculations

$$H = 0.79 \text{ m} \quad D = 1.58 \text{ m} \quad R_s = 0.79 \text{ m} \quad \rho_1 = 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \quad S_{sur} = 0.84 \quad \rho_{cv} = 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

profile = "A"

$$\begin{pmatrix} N_{s,surr} \\ N_{s,cover} \end{pmatrix} := N_{s,f}(H, D, R_s, \rho_1, h_{c,red}, S_{sur}, \rho_{cv}, \text{profile}) \quad N_s := N_{s,surr} + N_{s,cover}$$

Calculations

$$N_{s,surr} = 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$N_{s,cover} = 20.7 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$N_s = 25.7 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

## Distributed and concentrated loads

### Calculations

```

loads_tmp := for i < 0..rows(P) - 1
  temp ← loads(P_i, load_xy_i, q_b_i, pos_i)
  q_full_test_i ← temp_0,0 · Pa
  load_co_test_i ← temp_0,1 · m
  load_pts_test_i ← temp_0,2 · m
  pos_b_test_i ← augment [ (pos_i)^(1) + (pos_i)^(2) / 2 , (pos_i)^(0) ]
  l_ptr_test_i ← stack [ augment [ (load_xy_i)^(0) , (load_xy_i)^(1) ] , pos_b_test_i ]
  tmp ← loads [ (0) , (1 2 3 4) m , q_i , pos_i ]
  q_i_n_test_i ← tmp_0,0 · Pa
  pos_i_n_test_i ← tmp_0,1 · m
  return [ (q_full_test_i / Pa) · m , load_co_test_i , load_pts_test_i , (q_i_n_test_i / Pa) · m , pos_i_n_test_i , l_ptr_test_i ]

```

$(q_1 \text{ load\_co\_test} \text{ load\_pts\_test} \text{ } q_2 \text{ pos\_i\_n\_test} \text{ l\_ptr\_test}) := \text{loads\_tmp}$

$q_{full\_test} := \left( \frac{q_1}{m} \cdot Pa \right) \quad q_{i,n\_test} := \left( \frac{q_2}{m} \cdot Pa \right)$

```

bous := for i < 0..rows(P) - 1
  temp ← allPoints(q_full_test_i · load_co_test_i · load_pts_test_i · q_i_n_test_i · pos_i_n_test_i · h_c_red · x_divisions · y)
  values_test_i ← temp_0,0
  loops_test_i ← temp_0,1
  max_i_test_i ← temp_0,2
  return (values_test_i loops_test_i max_i_test_i)

```

$(\text{values}_{\text{test}} \text{ loops}_{\text{test}} \text{ max}_{\text{v,test}}) := \text{bous}$

$(\sigma_{\text{v,test}} \sigma_{\text{v,max}}) := \begin{cases} \text{for } i \in 0.. \text{rows}(P) - 1 \\ \left| \begin{array}{l} \sigma_{\text{v}_i} \leftarrow \left[ \left( \text{values}_{\text{test}} \right)_{0,4} \right]^{(3)} \cdot P_a \\ \sigma_{\text{v,max}_i} \leftarrow \max(\sigma_{\text{v}_i}) \end{array} \right. \\ \text{return } (\sigma_{\text{v}} \sigma_{\text{v,max}}) \end{cases}$

$\text{lcase} := \text{for } i \in 0.. \text{rows}(\sigma_{\text{v,max}}) - 1$   
 $\quad \text{return } i \text{ if } \sigma_{\text{v,max}_i} = \max(\sigma_{\text{v,max}})$

$\text{lcase}_f := \begin{cases} \text{for } i \in 0.. \text{last}(\text{fatigue}) \\ \sigma_{\text{v,max}_f} \leftarrow \sigma_{\text{v,max}_{\text{fatigue}_i}} \\ i \leftarrow 0 \text{ if } \text{fatigue}_0 = -1 \\ \text{for } i \in 0.. \text{rows}(\sigma_{\text{v,max}}) - 1 \qquad \qquad \qquad \text{otherwise} \\ \text{return } i \text{ if } \sigma_{\text{v,max}_i} = \max(\sigma_{\text{v,max}_f}) \wedge \text{matchTest}(i, 0, \text{fatigue}) = 1 \end{cases}$

$q_{\text{fatigue}} := \begin{cases} 0 \text{ if } \text{fatigue}_0 = -1 \\ q_{\text{handbook}_{\text{lcase}_f}} \text{ otherwise} \end{cases}$

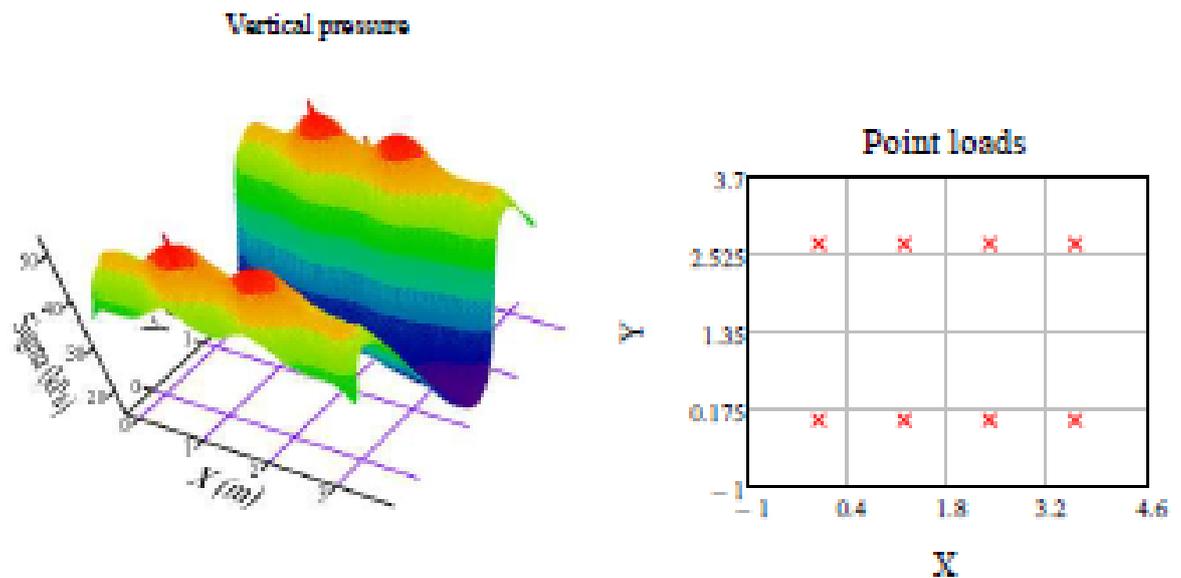
The values from the worst load case, and the fatigue load case are saved for the rest of the calculations. The worst load case from the classification loads with B values is also saved as well as the load case with A values.

$\sigma_{\text{v}} := \sigma_{\text{v,test}_{\text{lcase}}} \quad x_{\text{v}} := \left[ \left( \text{values}_{\text{test}_{\text{lcase}}} \right)_{0,4} \right]^{(0)} \cdot m \quad y_{\text{v}} := \left[ \left( \text{values}_{\text{test}_{\text{lcase}}} \right)_{0,4} \right]^{(1)} \cdot m$   
 $\text{loops} := \text{loops}_{\text{test}_{\text{lcase}}} \quad \text{max}_i := \text{max}_{\text{v,test}_{\text{lcase}}} \quad q_{\text{full}} := q_{\text{full,test}_{\text{lcase}}} \quad \text{load}_{\text{co}} := \text{load}_{\text{co,test}_{\text{lcase}}}$   
 $q_{i,n} := q_{i,n,\text{test}_{\text{lcase}}} \quad \text{pos}_{i,n} := \text{pos}_{i,n,\text{test}_{\text{lcase}}} \quad q := q_{\text{handbook}_{\text{lcase}}}$

Fatigue load cases:

$\sigma_{\text{v,fatigue}} := \sigma_{\text{v,test}_{\text{lcase}_f}} \quad x_{\text{v,fatigue}} := \left[ \left( \text{values}_{\text{test}_{\text{lcase}_f}} \right)_{0,4} \right]^{(0)} \cdot m \quad y_{\text{v,fatigue}} := \left[ \left( \text{values}_{\text{test}_{\text{lcase}_f}} \right)_{0,4} \right]^{(1)} \cdot m$   
 $q_{\text{full,fatigue}} := q_{\text{full,test}_{\text{lcase}_f}} \quad \text{load}_{\text{co,fatigue}} := \text{load}_{\text{co,test}_{\text{lcase}_f}}$   
 $q_{i,n,\text{fatigue}} := q_{i,n,\text{test}_{\text{lcase}_f}} \quad \text{pos}_{i,n,\text{fatigue}} := \text{pos}_{i,n,\text{test}_{\text{lcase}_f}}$

 Calculations



The graphs show the worst load case for the ultimate limit state.

The worst load case for the ultimate limit state and the fatigue limit state are:

$load_{case} = \text{"Fatigue load"}$

$load_{case_f} = \text{"Fatigue load"}$

The maximum vertical pressure for the ultimate limit state and the point it was calculated at:

$\max(\sigma_v) = 52.7 \text{ kPa}$  at the point:  $(x_{vmax}, y_{vmax}) = (2.4 \ 0) \text{ m}$

loops = 0 The number of additional "zooms" by the numerical method.



**Manually check a point:**

Here it is possible to manually select a point to calculate the vertical pressure in the worst load case in the ultimate limit state.

$checkPoint := (2 \ 5) \text{ m}$

**Calculations**

$\sigma_{check} := chkPoint(q_{full}, load_{co}, q_{l,n}, pos_{l,n}, checkPoint, h_c, red, neg)$

The result for the manually selected point:

$\sum \sigma_{check} = 1.7 \text{ kPa}$

The equivalent line load is calculated according to equation (4.k) in the handbook.

$$h_{c,red} = 1.2 \text{ m} \quad \max(\sigma_v) = 52.7 \text{ kPa} \quad \max(\sigma_{v,fatigue}) = 52.7 \text{ kPa}$$

$$P_{traffic} := \frac{\pi \cdot h_{c,red}}{2} \cdot \max(\sigma_v) \quad P_{traffic} = 99.4 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$P_{traffic,fatigue} := \frac{\pi \cdot h_{c,red}}{2} \cdot \max(\sigma_{v,fatigue}) \quad P_{traffic,fatigue} = 99.4 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

The normal force in the culvert due to live load is calculated according to equations (4.l') through (4.l'').

$$h_{c,red} = 1.2 \text{ m} \quad D = 1.58 \text{ m} \quad q = 4 \text{ kPa} \quad P_{traffic} = 99.4 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad P_{traffic,fatigue} = 99.4 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$N_L := N_{L,f}(h_{c,red}, D, q, P_{traffic}) \quad N_L = 52.9 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$N_{L,fatigue} := N_{L,f}(h_{c,red}, D, 0, P_{traffic,fatigue}) \quad N_{L,fatigue} = 49.7 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

#### Calculations

### Design axial forces

#### Calculations

To find the worst case, all combinations of high and low value for the partial coefficients are calculated. If the backfill material is of the same quality ( $\rho_1 = \rho_{GV}$ ) there won't be a combination with a low partial coefficient for one part of the soil, and a high partial coefficient for the other part. This is done for the serviceability limit state and for the ultimate limit state.

$$\varphi_{S,S,1} := \begin{cases} \text{stack}(\varphi_{1,S,S}, \varphi_{2,S,S}) & \text{if } \rho_1 \neq \rho_{GV} \\ \text{stack}(\varphi_{1,S,S}, \varphi_{1,S,S}, \varphi_{2,S,S}) & \text{otherwise} \end{cases} \quad \varphi_{S,S,2} := \text{stack}(\varphi_{1,S,S}, \varphi_{1,S,S}, \varphi_{2,S,S})$$

$$\varphi_{S,S,1} = \begin{pmatrix} 1.4 \\ 0.9 \\ 0.9 \\ 1.4 \end{pmatrix} \quad \varphi_{S,S,2} = \begin{pmatrix} 1.4 \\ 0.9 \\ 0.9 \\ 1.4 \end{pmatrix}$$

$$N_{S,d,s,all} := \varphi_{S,S,1} \cdot N_{S,surr} + \varphi_{S,S,2} \cdot N_{S,cover} \quad N_{S,d,s,all} = \begin{pmatrix} 36 \\ 23.1 \\ 23.1 \\ 36 \end{pmatrix} \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Which combinations produced the maximum and minimum values?

$$\max_{N_{S,S}} := \max(N_{S,d,s,all}, 0) \quad \min_{N_{S,S}} := \max(-N_{S,d,s,all}, 0)$$

$$\max_{N_{S,S}} = 0 \quad \min_{N_{S,S}} = 1 \quad \text{This will be used to find the corresponding moments.}$$

$$\varphi_{S,u,1} := \begin{cases} \text{stack}(\varphi_{S,u}, \varphi_{S,u}) & \text{if } P_1 \neq P_{CV} \\ \text{stack}(\varphi_{S,u}, \varphi_{S,u,1}, \varphi_{S,u,0}) & \text{otherwise} \end{cases} \quad \varphi_{S,u,2} := \text{stack}(\varphi_{S,u}, \varphi_{S,u,1}, \varphi_{S,u,0})$$

$$\varphi_{S,u,1} = \begin{pmatrix} 1.4 \\ 0.9 \\ 0.9 \\ 1.4 \end{pmatrix} \quad \varphi_{S,u,2} = \begin{pmatrix} 1.4 \\ 0.9 \\ 0.9 \\ 1.4 \end{pmatrix}$$

$$N_{S,d,u,all} := \varphi_{S,u,1} \cdot N_{S,stat} + \varphi_{S,u,2} \cdot N_{S,cover} \quad N_{S,d,u,all} = \begin{pmatrix} 36 \\ 23.1 \\ 23.1 \\ 36 \end{pmatrix} \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Which combination produced the maximum value?

$$\max_{N,u} := \max(N_{S,d,u,all}, 0) \quad \max_{N,u} = 0 \quad \text{This will be used to find the corresponding moment.}$$

The dimensioning normal forces are calculated according to equations (4.m) through (4.o) in the handbook.

**Serviceability limit state**

$$\max(N_{S,d,s,all}) = 36 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \min(N_{S,d,s,all}) = 23.1 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \varphi_{T,s} = \begin{pmatrix} 1.5 \\ 0 \end{pmatrix} \quad N_t = 52.9 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$N_{d,s} := \begin{pmatrix} \max(N_{S,d,s,all}) \\ \min(N_{S,d,s,all}) \end{pmatrix} + \varphi_{T,s} \cdot N_t \quad N_{d,s} = \begin{pmatrix} 115.3 \\ 23.1 \end{pmatrix} \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

**Ultimate limit state**

$$\max(N_{S,d,u,all}) = 36 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \varphi_{T,u} = \begin{pmatrix} 1.5 \\ 0 \end{pmatrix} \quad N_t = 52.9 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \max(\varphi_{T,u} \cdot N_t) = 79.3 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$N_{d,u} := \max(N_{S,d,u,all}) + \max(\varphi_{T,u} \cdot N_t) \quad N_{d,u} = 115.3 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

**Fatigue limit state**

$$\varphi_{T,f} = 1 \quad N_{t,fatigue} = 49.7 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\Delta N_{d,f} := \varphi_{T,f} \cdot N_{t,fatigue} \quad \Delta N_{d,f} = 49.7 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

 Calculations

## Bending moments

Equations (4.q) through (4.y) in the handbook are used to calculate the bending moments.

### Calculations

$$R_{\text{send}} := \begin{pmatrix} R_t \\ R_s \end{pmatrix} \quad R_{\text{send}} = \begin{pmatrix} 0.79 \\ 0.79 \end{pmatrix} \text{ m} \quad h_{c,\text{red}} = 1.2 \text{ m} \quad H = 0.79 \text{ m}$$

$$D = 1.58 \text{ m} \quad \lambda_f = 652.1 \quad \rho_1 = 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \quad \rho_{\text{cv}} = 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \quad S_{\text{sr}} = 0.84$$

$$P_{\text{traffic}} = 99.4 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad q = 4 \text{ kPa} \quad P_{\text{traffic, fatigue}} = 99.4 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\begin{pmatrix} M_{s,\text{surr}} \\ M_{s,\text{cover}} \\ M_t \\ f_3 \end{pmatrix} := M_f(h_{c,\text{red}}, H, D, \lambda_f, \rho_1, \rho_{\text{cv}}, S_{\text{sr}}, R_{\text{send}}, P_{\text{traffic}}, q)$$

$$(f_1 \ f_{2,\text{surr}} \ f_{2,\text{cover}} \ f_3 \ f_4 \ f^{-}_4 \ f^{++}_4 \ f^{+++}_4) := \frac{f_3}{N}$$

$$\begin{pmatrix} M_{s,\text{surr, fatigue}} \\ M_{s,\text{cover, fatigue}} \\ M_{t,\text{fatigue}} \\ f_{\text{fatigue}} \end{pmatrix} := M_f(h_{c,\text{red}}, H, D, \lambda_f, \rho_1, \rho_{\text{cv}}, S_{\text{sr}}, R_{\text{send}}, P_{\text{traffic, fatigue}}, 0)$$

### Calculations

The help parameters used in the equations for the ultimate limit state were calculated to:

$$\begin{aligned} f_1 &= 1 & f_{2,\text{surr}} &= 2 \times 10^{-3} & f_{2,\text{cover}} &= 6.743 \times 10^{-3} & f_3 &= 2.005 \\ f_4 &= 0.284 & f^{-}_4 &= 0.069 & f^{++}_4 &= 1.074 & f^{+++}_4 &= 1 \end{aligned}$$

$$M_{s,\text{surr}} = -0.3 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$M_{s,\text{cover}} = 0.3 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$M_t = 1.6 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$M_{t,\text{fatigue}} = 1.6 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

## Design bending moments

Equations (4.w') through (4.ab) in the handbook are used to calculate the design bending moments.

### Calculations

$$\max(\varphi\gamma_{L,S}) = 1.5 \quad M_t = 1.6 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$M_{Ed,S} := \begin{bmatrix} \max(\varphi\gamma_{L,S}) \cdot M_t \\ \max(\varphi\gamma_{L,S}) \cdot \left(\frac{-M_t}{2}\right) \end{bmatrix} \quad M_{Ed,S} = \begin{pmatrix} 2.4 \\ -1.2 \end{pmatrix} \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$\varphi\gamma_{S,S,1} = \begin{pmatrix} 1.4 \\ 0.9 \\ 0.9 \\ 1.4 \end{pmatrix} \quad \varphi\gamma_{S,S,2} = \begin{pmatrix} 1.4 \\ 0.9 \\ 0.9 \\ 1.4 \end{pmatrix}$$

$$M_{s,sur} = -0.3 \frac{\text{kNm}}{\text{m}} \quad M_{s,cover} = 0.3 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$M_{s,d,s,all} := \varphi\gamma_{S,S,1} \cdot M_{s,sur} + \varphi\gamma_{S,S,2} \cdot M_{s,cover} \quad M_{s,d,s,all} = \begin{pmatrix} 0.1 \\ 0.1 \\ 0.1 \\ 0.1 \end{pmatrix} \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$M_{Ed,S} := \begin{pmatrix} \max(M_{s,d,s,all}) \\ \min(M_{s,d,s,all}) \end{pmatrix} \quad M_{Ed,S} = \begin{pmatrix} 0.1 \\ 0.1 \end{pmatrix} \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

Which combinations produced the maximum and minimum values?

$$\max_{M,S} := \max(M_{s,d,s,all}, 0) \quad \min_{M,S} := \max(-M_{s,d,s,all}, 0)$$

$$\max_{M,S} = 0 \quad \min_{M,S} = 1 \quad \text{This will be used to find the corresponding normal forces.}$$

$$\max(\varphi\gamma_{L,U}) = 1.5 \quad M_t = 1.6 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$M_{Ed,U} := \begin{pmatrix} \max(\varphi\gamma_{L,U}) \cdot M_t \\ \max(\varphi\gamma_{L,U}) \cdot M_t \end{pmatrix} \quad M_{Ed,U} = \begin{pmatrix} 2.4 \\ 2.4 \end{pmatrix} \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$\varphi_{S,u,1} = \begin{pmatrix} 1.4 \\ 0.9 \\ 0.9 \\ 1.4 \end{pmatrix} \quad \varphi_{S,u,2} = \begin{pmatrix} 1.4 \\ 0.9 \\ 0.9 \\ 1.4 \end{pmatrix} \quad M_{S,surr} = -0.3 \frac{\text{kNm}}{\text{m}} \quad M_{S,cover} = 0.3 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$M_{S,d,u,all} := \varphi_{S,u,1} \cdot M_{S,surr} + \varphi_{S,u,2} \cdot M_{S,cover} \quad M_{S,d,u,all} = \begin{pmatrix} 0.1 \\ 0.1 \\ 0.1 \\ 0.1 \end{pmatrix} \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$M_{Sd,u} := \begin{pmatrix} \max(M_{S,d,u,all}) \\ \min(M_{S,d,u,all}) \end{pmatrix} \quad M_{Sd,u} = \begin{pmatrix} 0.1 \\ 0.1 \end{pmatrix} \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

Which combinations produced the maximum and minimum values?

$$\max_{M,u} := \max(M_{S,d,u,all}, 0) \quad \min_{M,u} := \max(-M_{S,d,u,all}, 0)$$

$$\max_{M,u} = 0 \quad \min_{M,u} = 1 \quad \text{This will be used to find the corresponding normal forces.}$$

$$M_{sd,s} = \begin{pmatrix} 0.1 \\ 0.1 \end{pmatrix} \frac{\text{kNm}}{\text{m}} \quad M_{td,s} = \begin{pmatrix} 2.4 \\ -1.2 \end{pmatrix} \frac{\text{kNm}}{\text{m}} \quad M_{d,s} := M_{sd,s} + M_{td,s} \quad M_{d,s} = \begin{pmatrix} 2.5 \\ -1.2 \end{pmatrix} \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$M_{sd,u} = \begin{pmatrix} 0.1 \\ 0.1 \end{pmatrix} \frac{\text{kNm}}{\text{m}} \quad M_{td,u} = \begin{pmatrix} 2.4 \\ 2.4 \end{pmatrix} \frac{\text{kNm}}{\text{m}} \quad M_{d,u} := M_{sd,u} + M_{td,u} \quad M_{d,u} = \begin{pmatrix} 2.5 \\ 2.5 \end{pmatrix} \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$M_{d,u,bolt} := M_{sd,u} + \frac{h_{c,red}}{h_f} M_{td,s} \quad M_{d,u,bolt} = \begin{pmatrix} 2.5 \\ -1.2 \end{pmatrix} \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$\varphi_{t,f} = 1 \quad M_{t,fatigue} = 1.6 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$\Delta M_{d,f} := \varphi_{t,f} \cdot M_{t,fatigue} = 1.0 \quad \Delta M_{d,f} = 1.6 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

 Calculations

## Corresponding Normal Forces and Bending Moments

### Calculations

#### Serviceability limit state

The design normal forces are

$$N_{d,s} = \left( \frac{115.3}{23.1} \right) \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$M_{s,d,s,\text{allmax}} = 0.1 \cdot \frac{\text{kNm}}{\text{m}} \quad \psi \gamma_{t,s} = \begin{pmatrix} 1.5 \\ 0 \end{pmatrix} \quad M_t = 1.6 \cdot \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

The corresponding bending moments are

$$M_{\text{corr},s} = \begin{pmatrix} M_{s,d,s,\text{allmax}} \\ M_{s,d,s,\text{allmin}} \end{pmatrix} + \psi \gamma_{t,s} \cdot M_t$$

$$M_{\text{corr},s} = \begin{pmatrix} 2.5 \\ 0.1 \end{pmatrix} \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

The design bending moments are

$$M_{d,s} = \begin{pmatrix} 2.5 \\ -1.2 \end{pmatrix} \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$N_{s,d,s,\text{allmax}} = 36 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \psi \gamma_{t,s} = \begin{pmatrix} 1.5 \\ 0 \end{pmatrix} \quad N_t = 52.9 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

The corresponding normal forces are

$$N_{\text{corr},s} = \begin{pmatrix} N_{s,d,s,\text{allmax}} \\ N_{s,d,s,\text{allmin}} \end{pmatrix} + \psi \gamma_{t,s} \cdot N_t$$

$$N_{\text{corr},s} = \begin{pmatrix} 115.3 \\ 23.1 \end{pmatrix} \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

### Ultimate limit state

The design normal force is

$$N_{d,u} = 115.3 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$M_{s,d,u,allmax_{N,u}} = 0.1 \frac{\text{kNm}}{\text{m}} \quad \varphi\gamma_{L,u} = \begin{pmatrix} 1.5 \\ 0 \end{pmatrix} \quad M_t = 1.6 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

The corresponding bending moment is

$$M_{corr,u} := M_{s,d,u,allmax_{N,u}} + \max(\varphi\gamma_{L,u} \cdot M_t)$$

$$M_{corr,u} = 2.5 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$M_{corr,u,bolt} := M_{s,d,u,allmax_{N,u}} + \frac{h_{c,red}}{h_f} \max(\varphi\gamma_{L,u} \cdot M_t)$$

$$M_{corr,u,bolt} = 2.5 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

The design bending moments are

$$M_{d,u} = \begin{pmatrix} 2.5 \\ 2.5 \end{pmatrix} \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$N_{s,d,u,allmax_{M,u}} = 36 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \varphi\gamma_{L,u} = \begin{pmatrix} 1.5 \\ 0 \end{pmatrix} \quad N_t = 52.9 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

The corresponding normal forces are

$$N_{corr,u} := \begin{pmatrix} N_{s,d,u,allmax_{M,u}} \\ N_{s,d,u,allmin_{M,u}} \end{pmatrix} + \varphi\gamma_{L,u} \cdot N_t$$

$$N_{corr,u} = \begin{pmatrix} 115.3 \\ 23.1 \end{pmatrix} \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

 Calculations

## Design

### 1) Ensuring safety against the onset of yielding in the serviceability limit state

This is done according to equation (5.5) in the handbook.

#### Calculations

$$f_{yk} = 235 \text{ MPa} \quad \gamma_{th} = 1.1$$

$$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{1.0 \gamma_{th}} \quad f_{yd} = 213.6 \text{ MPa}$$

$$N_{d,s} = \left( \frac{115.3}{23.1} \right) \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad M_{\text{corr},s} = \left( \frac{2.5}{0.1} \right) \cdot \frac{\text{kNm}}{\text{m}} \quad A_s = 2.6 \frac{\text{mm}^2}{\text{mm}} \quad W_s = 29.6 \frac{\text{mm}^3}{\text{mm}}$$

$$\sigma_{Nd} := \left( \frac{\max(N_{d,s})}{A_s} + \frac{\max(M_{\text{corr},s})}{W_s} \right) \quad \sigma_{Nd} = \left( \frac{129.8}{10.8} \right) \cdot \text{MPa} \quad f_{yk} = 235 \text{ MPa}$$

$$\text{check} \left( \left| \sigma_{Nd} \right|, f_{yk} \right) = \begin{pmatrix} \text{"OK!"} \\ \text{"OK!"} \end{pmatrix}$$

$$N_{\text{corr},s} = \left( \frac{115.3}{23.1} \right) \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad M_{d,s} = \left( \frac{2.5}{-1.2} \right) \cdot \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$\sigma_{Md} := \left( \frac{\max(N_{\text{corr},s})}{A_s} + \frac{\max(M_{d,s})}{W_s} \right) \quad \sigma_{Md} = \left( \frac{129.8}{-30.1} \right) \cdot \text{MPa} \quad f_{yk} = 235 \text{ MPa}$$

$$\text{check} \left( \left| \sigma_{Md} \right|, f_{yk} \right) = \begin{pmatrix} \text{"OK!"} \\ \text{"OK!"} \end{pmatrix}$$

$$N_{s,\text{sur}} = 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad M_{s,\text{sur}} = -0.3 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$\max(\varphi \gamma_{s,s}) \left( \frac{N_{s,\text{sur}}}{A_s} + \frac{M_{s,\text{sur}}}{W_s} \right) = -10.6 \text{ MPa}$$

$$\text{check} \left[ \left( \max(\varphi \gamma_{s,s}) \left( \frac{N_{s,\text{sur}}}{A_s} + \frac{M_{s,\text{sur}}}{W_s} \right) \right), f_{yk} \right] = \text{"OK!"}$$

#### Calculations

### 3) Check against the building of a plastic hinge

Equations (5.b) and (5.c) in the handbook are used to check for the building of a plastic hinge. To calculate the buckling load, equations (b5.a) through (b5.h) are used. To consider the effect of local buckling equation (b1.h) is used.

#### Calculations

$$Z_g = 40 \frac{\text{mm}^3}{\text{mm}} \quad W_g = 29.6 \frac{\text{mm}^3}{\text{mm}} \quad f_{yd} = 213.6 \text{ MPa}$$

$$m_t = 33.5 \text{ mm} \quad t = 2 \text{ mm} \quad f_{yk} = 235 \text{ MPa}$$

$$\eta := \frac{Z_g}{W_g} \quad M_u := Z_g \cdot f_{yd} \quad \eta = 1.35 \quad M_u = 8.5 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$M_{ucr} := \min \left[ 1, 1.429 - 0.156 \ln \left[ \left( \frac{m_t}{t} \right) \sqrt{\frac{f_{yk}}{227 \text{ MPa}}} \right] \right] \cdot M_u \quad M_{ucr} = 8.4 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$h_{e,red} = 1.2 \text{ m} \quad R_t = 0.79 \text{ m} \quad E_{s,d} = 26.7 \text{ MPa} \quad E \cdot I_g = 161.7 \frac{\text{kN} \cdot \text{m}^2}{\text{m}}$$

$$A_g = 2.6 \frac{\text{mm}^2}{\text{mm}}$$

$$N_{cr,1} := \text{secO}(h_{e,red}, R_t, E_{s,d}, E \cdot I_g, f_{yd}, A_g, 1) \quad N_{cr,1} = 503.7 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\alpha_{c,1} := \max \left( 0.8, \eta^2 \cdot \frac{N_{cr,1}}{A_g \cdot f_{yd}} \right) \quad \alpha_{c,1} = 1.68$$

$$N_{d,u} = 115.3 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad M_{corr,u} = 2.5 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$\left( \frac{N_{d,u}}{N_{cr,1}} \right)^{\alpha_{c,1}} + \frac{\max(M_{corr,u})}{M_{ucr}} = 0.38$$

$$\text{check} \left[ \left[ \left( \frac{N_{d,u}}{N_{cr,1}} \right)^{\alpha_{c,1}} + \frac{\max(M_{corr,u})}{M_{ucr}} \right], 1.0 \right] = \text{"OK!"}$$

$$N_{\text{corr.u}} = \left( \frac{115.3}{23.1} \right) \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad M_{\text{d.u}} = \left( \frac{2.5}{2.5} \right) \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$\left( \frac{\max(N_{\text{corr.u}})}{N_{\text{cr.1}}} \right)^{\alpha_{e.1}} + \frac{\max(M_{\text{d.u}})}{M_{\text{ucr}}} = 0.38$$

$$\text{check} \left[ \left[ \left( \frac{\max(N_{\text{corr.u}})}{N_{\text{cr.1}}} \right)^{\alpha_{e.1}} + \frac{\max(M_{\text{d.u}})}{M_{\text{ucr}}} \right], 1.0 \right] = \text{"OK!"}$$

$$N_{\text{cr.2}} := \text{secO}(h_{e,\text{red}}, R_t, E_{s,d}, E_{I_s}, f_{yd}, A_s, 0)$$

$$N_{\text{cr.2}} = 503.7 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\alpha_{e.2} := \max \left( 0.8, \eta^2 \cdot \frac{N_{\text{cr.2}}}{A_s \cdot f_{yd}} \right)$$

$$\alpha_{e.2} = 1.68$$

$$\left( \frac{N_{\text{d.u}}}{N_{\text{cr.2}}} \right)^{\alpha_{e.2}} = 0.08$$

$$\text{check} \left[ \left[ \left( \frac{N_{\text{d.u}}}{N_{\text{cr.2}}} \right)^{\alpha_{e.2}} \right], 1.0 \right] = \text{"OK!"}$$

#### ☒ Calculations

For some types of metal culverts  $N_u$  and  $M_u$  should be divided by 1.15, see the handbook.

 Box Culvert Corner Section

4) Check for sufficient capacity in the lower part of the pipe

Equation (5.d) in the handbook is used for this check.

 Calculations

$$N_{d,s} = \left( \frac{115.3}{23.1} \right) \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad N_{d,u} = 115.3 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$N_d := \max\left(\left|N_{d,s}\right|, \left|N_{d,u}\right|\right) \quad N_d = 115.3 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$h_{e,\text{red}} = 1.2 \text{ m} \quad R_{\text{check}} = \begin{pmatrix} 0.79 \\ 0.79 \end{pmatrix} \text{ m} \quad E_{s,d} = 26.7 \text{ MPa} \quad E \cdot I_s = 161.7 \frac{\text{kN} \cdot \text{m}^2}{\text{m}}$$

$$f_{y,d} = 213.6 \text{ MPa} \quad A_s = 2.6 \frac{\text{mm}^2}{\text{mm}}$$

$$N_{cr} := \text{every}_R(h_{e,\text{red}}, R_{\text{check}}, E_{s,d}, E \cdot I_s, f_{y,d}, A_s, 2) \quad N_{cr} = \begin{pmatrix} 532.3 \\ 532.3 \end{pmatrix} \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\eta = 1.35$$

$$\alpha_c := \text{for } i \in 0.. \text{last}(N_{cr})$$

$$\alpha_c = \begin{pmatrix} 1.78 \\ 1.78 \end{pmatrix}$$

$$\alpha_i \leftarrow \max\left(0.8, \eta^2 \cdot \frac{N_{cr,i}}{A_s \cdot f_{y,d}}\right)$$

$$N_d = 115.3 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\left( \frac{N_d}{N_{cr}} \right)^{\alpha_c} = \begin{pmatrix} 0.07 \\ 0.07 \end{pmatrix}$$

$$\text{check} \left[ \left( \frac{N_d}{N_{cr}} \right)^{\alpha_c}, 1.0 \right] = \begin{pmatrix} \text{"OK!"} \\ \text{"OK!"} \end{pmatrix}$$

 Calculations

## 5) Ensuring safety against exceeding the capacity of the bolted connections

### Calculations

$$f_{\text{buk}} = 800 \text{ MPa} \quad \gamma_n = 1.1 \quad f_{\text{tk}} = 360 \text{ MPa} \quad f_{\text{yd}} = 213.6 \text{ MPa}$$

$$f_{\text{bud}} := \frac{f_{\text{buk}}}{1.2 \cdot \gamma_n} \quad f_{\text{ud}} := \max\left(\frac{f_{\text{tk}}}{1.2 \cdot 1.0 \cdot \gamma_n}, f_{\text{yd}}\right)$$

### Ultimate limit state

Equations 6:431 through 6:433 in BS8 99 are used to check the capacity of the bolts.

#### Shear capacity:

$$f_{\text{ud}} = 272.7 \text{ MPa} \quad f_{\text{bud}} = 606.1 \text{ MPa} \quad P_{\text{zone}} = 10 \text{ mm} \quad a^T = (0 \ 40 \ 100) \text{ mm}$$

$$a_n := a - P_{\text{zone}} \quad a_n^T = (-10 \ 30 \ 90) \text{ mm}$$

$$\text{dist} := \begin{pmatrix} a_{n_0} & \text{if } a_{n_0} \neq 0 & a_{n_1} - a_{n_0} & a_{n_2} - a_{n_1} \\ 0 & \text{otherwise} & & \end{pmatrix}^T \quad \text{dist}^T = (0 \ 40 \ 60) \text{ mm}$$

$$d_s := d \quad e_1 = 60 \text{ mm} \quad 3 \cdot d = 60 \text{ mm}$$

$$A_{s,b} = 245 \text{ mm}^2 \quad f_{\text{bud}} = 606.1 \text{ MPa} \quad d = 20 \text{ mm} \quad d_s = 20 \text{ mm}$$

$$t = 2 \text{ mm} \quad f_{\text{ud}} = 272.7 \text{ MPa}$$

$$F_{Rvd} := 0.6 \cdot A_{s,b} \cdot f_{\text{bud}} \quad F_{Rvd} = 89.1 \text{ kN}$$

$$F_{Rbd} := 1.2 \cdot \left(\frac{e_1}{d} - 0.5\right) d_s \cdot t \cdot f_{\text{ud}} \quad F_{Rbd} = 32.7 \text{ kN}$$

$$N_{d,u} = 115.3 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \frac{\min\left(\sum n \cdot F_{Rvd}, \sum n \cdot F_{Rbd}\right)}{m} = 436.6 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{check} \left[ \left( N_{d,u} \right), \frac{\min\left(\sum n \cdot F_{Rvd}, \sum n \cdot F_{Rbd}\right)}{m} \right] = \text{"OK!"}$$

## 5) Ensuring safety against exceeding the capacity of the bolted connections

### Calculations

$$f_{\text{buk}} = 800 \text{ MPa} \quad \gamma_{\text{M}} = 1.1 \quad f_{\text{uk}} = 360 \text{ MPa} \quad f_{\text{yd}} = 213.6 \text{ MPa}$$

$$f_{\text{bud}} := \frac{f_{\text{buk}}}{1.2 \cdot \gamma_{\text{M}}} \quad f_{\text{ud}} := \max\left(\frac{f_{\text{uk}}}{1.2 \cdot 1.0 \cdot \gamma_{\text{M}}}, f_{\text{yd}}\right)$$

### Ultimate limit state

Equations 6:431 through 6:433 in BS8 99 are used to check the capacity of the bolts.

#### Shear capacity:

$$f_{\text{ud}} = 272.7 \text{ MPa} \quad f_{\text{bud}} = 606.1 \text{ MPa} \quad P_{\text{zone}} = 10 \text{ mm} \quad a^{\text{T}} = (0 \ 40 \ 100) \text{ mm}$$

$$a_{\text{n}} := a - P_{\text{zone}} \quad a_{\text{n}}^{\text{T}} = (-10 \ 30 \ 90) \text{ mm}$$

$$\text{dist} := \begin{pmatrix} a_{n_0} & \text{if } a_0 \neq 0 & a_{n_1} - a_{n_0} & a_{n_2} - a_{n_1} \\ 0 & \text{otherwise} & & \end{pmatrix}^{\text{T}} \quad \text{dist}^{\text{T}} = (0 \ 40 \ 60) \text{ mm}$$

$$d_{\text{g}} := d \quad e_1 = 60 \text{ mm} \quad 3 \cdot d = 60 \text{ mm}$$

$$A_{\text{s,b}} = 245 \text{ mm}^2 \quad f_{\text{bud}} = 606.1 \text{ MPa} \quad d = 20 \text{ mm} \quad d_{\text{g}} = 20 \text{ mm}$$

$$t = 2 \text{ mm} \quad f_{\text{ud}} = 272.7 \text{ MPa}$$

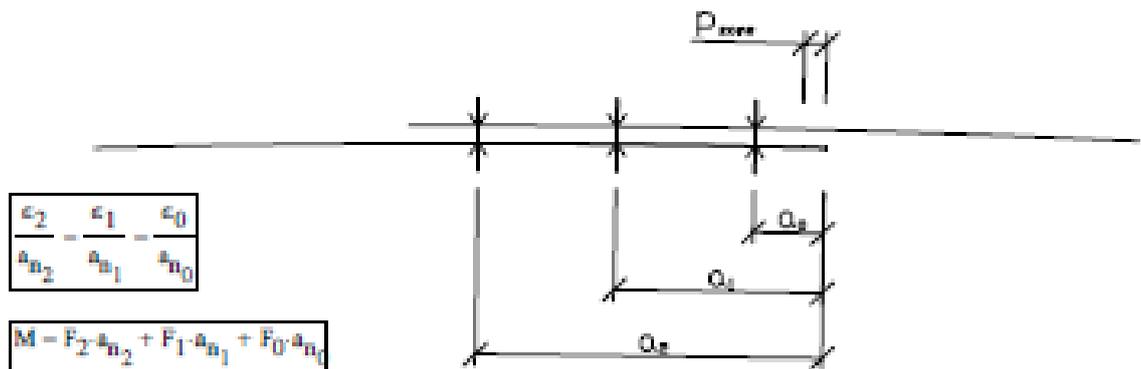
$$F_{\text{Rvd}} := 0.6 \cdot A_{\text{s,b}} \cdot f_{\text{bud}} \quad F_{\text{Rvd}} = 89.1 \text{ kN}$$

$$F_{\text{Rbd}} := 1.2 \cdot \left(\frac{e_1}{d} - 0.5\right) d_{\text{g}} \cdot t \cdot f_{\text{ud}} \quad F_{\text{Rbd}} = 32.7 \text{ kN}$$

$$N_{\text{d,u}} = 115.3 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \frac{\min\left(\sum n \cdot F_{\text{Rvd}}, \sum n \cdot F_{\text{Rbd}}\right)}{m} = 436.6 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{check}\left[N_{\text{d,u}}, \frac{\min\left(\sum n \cdot F_{\text{Rvd}}, \sum n \cdot F_{\text{Rbd}}\right)}{m}\right] = \text{"OK!"}$$

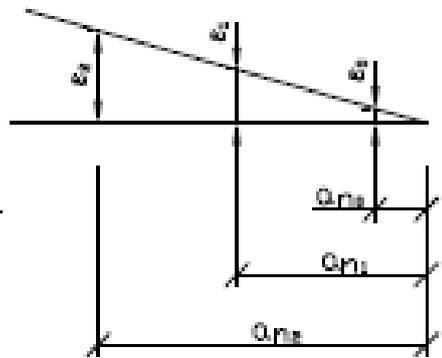
Tension in the bolts because of the bending moment



$$\frac{c_2}{a_{n2}} - \frac{c_1}{a_{n1}} - \frac{c_0}{a_{n0}}$$

$$M = F_2 \cdot a_{n2} + F_1 \cdot a_{n1} + F_0 \cdot a_{n0}$$

$$c = \frac{F}{E \cdot A}$$



$$\frac{F_2}{E \cdot A_{sb} \cdot n_2} - \frac{F_1}{E \cdot A_{sb} \cdot n_1} - \frac{F_0}{E \cdot A_{sb} \cdot n_0}$$

$$\frac{F_2}{n_2 \cdot a_{n2}} - \frac{F_1}{n_1 \cdot a_{n1}} - \frac{F_0}{n_0 \cdot a_{n0}}$$

$$F_1 = \frac{F_2 \cdot a_{n1} \cdot n_1}{a_{n2} \cdot n_2} \quad F_0 = \frac{F_2 \cdot a_{n0} \cdot n_0}{a_{n2} \cdot n_2}$$

$$M = F_2 \cdot a_{n2} + \frac{F_2 \cdot a_{n1} \cdot n_1}{a_{n2} \cdot n_2} \cdot a_{n1} + \frac{F_2 \cdot a_{n0} \cdot n_0}{a_{n2} \cdot n_2} \cdot a_{n0} = F_2 \left[ a_{n2} + \frac{(a_{n1})^2 \cdot n_1}{a_{n2} \cdot n_2} + \frac{(a_{n0})^2 \cdot n_0}{a_{n2} \cdot n_2} \right]$$

$$F_2 = \frac{M}{a_{n2} + \frac{(a_{n1})^2 \cdot n_1}{a_{n2} \cdot n_2} + \frac{(a_{n0})^2 \cdot n_0}{a_{n2} \cdot n_2}}$$

$$F_{St} = \frac{F_2}{n_2} \vee \frac{F_1}{n_1} \vee \frac{F_0}{n_0}$$

Combined tension and shear:

$$M_{d,u,bolt}^T = (2.5 \quad -1.2) \cdot \frac{\text{kNm}}{\text{m}} \quad n^T = (0 \quad 6.67 \quad 6.67) \quad a_n^T = (-10 \quad 30 \quad 90) \cdot \text{mm} \quad N_{d,u} = 115.3 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$F_2 := \frac{\max\left(\left| \left[ M_{d,u,bolt} \right] \right| \right) \cdot \text{m}}{\frac{n_0 \cdot (a_{n_0})^2 + n_1 \cdot (a_{n_1})^2}{a_{n_2} \cdot n_2} + a_{n_2}} \quad F_1 := \frac{F_2 \cdot a_{n_1} \cdot n_1}{a_{n_2} \cdot n_2} \quad F_0 := \frac{F_2 \cdot a_{n_0} \cdot n_0}{a_{n_2} \cdot n_2}$$

$$F_2 = 25.1 \cdot \text{kN}$$

$$F_1 = 8.4 \cdot \text{kN}$$

$$F_0 = 0 \cdot \text{kN}$$

$$F_{St} := \max\left(\frac{F_2}{n_2}, \frac{F_1}{n_1}, \frac{F_0}{n_0}\right)$$

$$F_{St} = 3.8 \cdot \text{kN}$$

$$F_{Sv} := \frac{|N_{d,u}| \cdot \text{m}}{\sum n}$$

$$F_{Sv} = 8.6 \cdot \text{kN}$$

$$M_{corr,u,bolt} = 2.5 \cdot \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$N_{corr,u}^T = (115.3 \quad 23.1) \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$F_{St,corr} := \frac{\max\left(\left| \left[ M_{corr,u,bolt} \right] \right| \right) \cdot \text{m}}{\frac{n_0 \cdot (a_{n_0})^2 + n_1 \cdot (a_{n_1})^2}{a_{n_2}} + n_2 \cdot a_{n_2}}$$

$$F_{St,corr} = 3.8 \cdot \text{kN}$$

$$F_{Sv,corr} := \frac{\max\left(\left| \left[ N_{corr,u} \right] \right| \right) \cdot \text{m}}{\sum n}$$

$$F_{Sv,corr} = 8.6 \cdot \text{kN}$$

$$\varphi_T = 0.6$$

$$A_{s,b} = 245 \cdot \text{mm}^2$$

$$f_{bud} = 606.1 \cdot \text{MPa}$$

$$F_{Rtd} := \varphi_T \cdot A_{s,b} \cdot f_{bud}$$

$$F_{Rtd} = 89.1 \cdot \text{kN}$$

$$F_{Rvd} = 89.1 \cdot \text{kN}$$

$$\left(\frac{F_{St}}{F_{Rtd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{Sv,corr}}{F_{Rvd}}\right)^2 = 0.01$$

$$\text{check} \left[ \left[ \left(\frac{F_{St}}{F_{Rtd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{Sv,corr}}{F_{Rvd}}\right)^2 \right], 1.00 \right] = \text{"OK!"}$$

$$\left(\frac{F_{St,corr}}{F_{Rtd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{Sv}}{F_{Rvd}}\right)^2 = 0.01$$

$$\text{check} \left[ \left[ \left(\frac{F_{St,corr}}{F_{Rtd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{Sv}}{F_{Rvd}}\right)^2 \right], 1.00 \right] = \text{"OK!"}$$

### Fatigue limit state

To calculate the characteristic fatigue stress capacity,  $f_{tk}$ , equations 6:523a and 6:523c are used together with table 6:523 and figure 6:523 in BSK 99. The checks are done according to equations 6:512a through 6:512c.

$$f_{tk} = 360 \text{ MPa}$$

$$\psi_m := \begin{cases} 1.0 & \text{if } f_{tk} < 410 \text{ MPa} \\ 1.10 & \text{if } f_{tk} < 450 \text{ MPa} \wedge f_{tk} \geq 410 \text{ MPa} \\ 1.15 & \text{if } f_{tk} < 490 \text{ MPa} \wedge f_{tk} \geq 450 \text{ MPa} \\ 1.20 & \text{if } f_{tk} < 600 \text{ MPa} \wedge f_{tk} \geq 490 \text{ MPa} \\ 1.25 & \text{if } f_{tk} \geq 600 \text{ MPa} \end{cases} \quad \psi_m = 1$$

$$f_{tk} := \begin{cases} \psi_m \cdot C \cdot \left( \frac{2 \cdot 10^6}{n_t} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot \text{MPa} & \text{if } n_t < 5 \cdot 10^6 \\ \psi_m \cdot 0.885C \cdot \left( \frac{2 \cdot 10^6}{n_t} \right)^{\frac{1}{5}} \cdot \text{MPa} & \text{if } n_t < 10^8 \wedge n_t \geq 5 \cdot 10^6 \\ \psi_m \cdot 0.885C \cdot \left( \frac{2 \cdot 10^6}{10^8} \right)^{\frac{1}{5}} \cdot \text{MPa} & \text{otherwise} \end{cases} \quad f_{tk} = 76.9 \text{ MPa}$$

$$\gamma_n = 1.1$$

$$f_{td} := \frac{f_{tk}}{1.1 \cdot \gamma_n} \quad f_{rtd} := 0.9 f_{td} \quad f_{td} = 63.6 \text{ MPa} \quad f_{rtd} = 57.2 \text{ MPa}$$

$$C = 45 \quad n_t = 4 \times 10^5 \quad \varphi_{tm} = 1 \quad a = \begin{pmatrix} 0 \\ 40 \\ 100 \end{pmatrix} \text{ mm} \quad n = \begin{pmatrix} 0 \\ 6.7 \\ 6.7 \end{pmatrix}$$

$$\Delta M_{d,f} = 1.6 \frac{\text{kNm}}{\text{m}} \quad A_{s,b} = 245 \text{ mm}^2 \quad \Delta N_{d,f} = 49.7 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\sigma_{rd} := \frac{\frac{h_c}{h_f} \cdot |\Delta M_{d,f}|}{\max\left(\left[ \frac{M_{d,u,bohl}}{A_{s,b}} \right], F_{St}\right)} \quad \tau_{rd} := \frac{|\Delta N_{d,f}| \cdot m}{\sum n \cdot A_{s,b}}$$

**Tension:**

$$\sigma_{rd} = 9.6 \text{ MPa} \quad f_{rd} = 63.6 \text{ MPa}$$

$$\text{check}[(\sigma_{rd}), f_{rd}] = \text{"OK!"}$$

**Shear:**

$$\tau_{rd} = 15.2 \text{ MPa} \quad f_{rvd} = 57.2 \text{ MPa}$$

$$\text{check}[(\tau_{rd}), f_{rvd}] = \text{"OK!"}$$

**Combined shear and tension:**

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma_{rd}}{f_{rd}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{rd}}{f_{rvd}}\right)^2} = 0.31$$

$$\text{check}\left[\sqrt{\left(\frac{\sigma_{rd}}{f_{rd}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{rd}}{f_{rvd}}\right)^2}, 1.10\right] = \text{"OK!"}$$

 Calculations

7) Check to ensure that the construction has adequate stiffness for installation and handling etc.

$$D = 1.58 \text{ m} \quad E = 210 \text{ GPa} \quad I_g = 770.1 \frac{\text{mm}^4}{\text{mm}}$$

$$\eta_{tm} := \frac{D^2}{E \cdot I_g}$$

$$\eta_{tm} = 0 \frac{\text{m}}{\text{kN}}$$

### РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

#### 3.1. Визначення складу й послідовності виконання технологічних процесів

Склад і послідовність виконання технологічних процесів будівництва дорожнього одягу визначають для заданої конструкції дорожнього одягу згідно вимог ДБН В.2.3-4:2015, технологічних регламентів і типових технологічних схем будівництва дорожнього одягу. Результат наводиться за формою таблиці 1.

Таблиця 1

#### Склад і послідовність виконання технологічних процесів

№ п/п	Найменування технологічних процесів	Од. вим.
1	2	3

*Улаштування підстильного шару основи з щебенево-піщаної суміші С5 товщиною 16,0 см*

1	Підвезення суміші на трасу автосамоскидами КрАЗ-65055-063 вантажопідйомністю 20 т на відстань 12,7 км	м <sup>3</sup>
2	Розподіл і профілювання суміші автогрейдером Komatsu GD 605A за 5 проходів на ширину основи В = 12,8 м	м <sup>2</sup>
3	Підкочення суміші самохідним вібраційним коток BOMAG BW 24R масою 10 т за 13 проходів по одному сліду	м <sup>2</sup>
4	Підвезення води поливомийною машиною КО-829А ( $Q_a = 6 \text{ м}^3$ ) на відстань 5,5 км та дозволення піску через сопла	т
5	Ущільнення піщаного шару самохідним пневматичним котком Дупарас СР 271 масою 15 т за 10 проходів по одному сліду	м <sup>2</sup>

*Улаштування шару основи з щебенево-піщаної суміші С7 товщиною 12,0 см*

6	Підвезення суміші на трасу автосамоскидами КрАЗ-65055-063 вантажопідйомністю 20 т на відстань 12,7 км з вивантаженням в бункер асфальтоукладальника	м <sup>3</sup>
7	Розподіл суміші по ширині основи 12,5 м товщиною 12,0 см самохідним асфальтоукладальником Vögele Super 1800	м <sup>2</sup>
8	Підкочення суміші самохідним вібраційним котком коток BOMAG BW 24R масою 10 т за 8 проходів по одному сліду	м <sup>2</sup>
9	Підвезення води поливомийною машиною КО-829А на відстань 5,5 км та дозволення суміші через сопла	т
10	Ущільнення суміші самохідним вібраційним котком Дупарас СР 271 масою 15 т за 6 проходів по одному сліду	м <sup>2</sup>

*Улаштування нижнього шару покриття з гарячої пористої крупнозернистої асфальтобетонної суміші товщиною 11,0 см*

11	Підвезення рідкого бітуму авто гудронатором ДС-39Б на відстань 7,5 км та підгрунтовка основи рідким бітумом з розрахунку 0,5–0,8 л/м <sup>2</sup>	т
----	---	---

12	Підвезення гарячої пористої крупнозернистої асфальтобетонної суміші на трасу автосамоскидами КрАЗ-65055-063 на відстань 3км з вивантаженням у бункер асфальтоукладальника	м <sup>3</sup>
13	Розподіл гарячої пористої крупнозернистої асфальтобетонної суміші по ширині основи 12,25 м товщиною 11,0 см самохідним асфальтоукладальником Vögele Super 3000-2	м <sup>2</sup>
14	Підкочення гарячої пористої крупнозернистої асфальтобетонної суміші самохідним вібраційним котком BOMAG BW 24R масою 10 т за 10 проходів по одному сліду	м <sup>2</sup>
15	Ущільнення гарячої пористої крупнозернистої асфальтобетонної суміші самохідним вібраційним котком BOMAG BW 27RH масою 13,5 т за 15 проходів по одному сліду	м <sup>2</sup>

*Улаштування середнього шару покриття з гарячої щільної крупнозернистої асфальтобетонної суміші товщиною 9 см*

16	Підвезення гарячої щільної крупнозернистої асфальтобетонної суміші на трасу автосамоскидами КрАЗ-65055-063 на відстань 3км з вивантаженням у бункер асфальтоукладальника	м <sup>3</sup>
17	Розподіл гарячої дрібнозернистої асфальтобетонної суміші по ширині основи 12,25 м товщиною 9 см самохідним асфальтоукладальником Vögele Super 3000-2	м <sup>2</sup>
18	Попереднє ущільнення гарячої щільної крупнозернистої асфальтобетонної суміші самохідним пневматичним котком BOMAG BW 24R масою 10 т за 17 проходів по одному сліду	м <sup>2</sup>
19	Ущільнення гарячої щільної крупнозернистої асфальтобетонної суміші самохідним гладковальцевим котком BOMAG BW 27RH масою 13,5 т за 19 проходів по одному сліду	м <sup>2</sup>

*Улаштування верхнього шару покриття з гарячої дрібнозернистої асфальтобетонної суміші товщиною 7 см*

20	Підвезення гарячої дрібнозернистої асфальтобетонної суміші на трасу автосамоскидами КрАЗ-65055-063 на відстань 3 км з вивантаженням у бункер асфальтоукладальника	м <sup>3</sup>
21	Розподіл гарячої дрібнозернистої асфальтобетонної суміші по ширині основи 12,25 м товщиною 7 см самохідним асфальтоукладальником Vögele Super 3000-2	м <sup>2</sup>
22	Попереднє ущільнення гарячої дрібнозернистої а/б суміші самохідним пневматичним котком BOMAG BW 24R масою 10 т за 17 проходів по одному сліду	м <sup>2</sup>
23	Ущільнення гарячої дрібнозернистої а/б суміші самохідним гладковальцевим котком BOMAG BW 27RH масою 13,5 т за 19 проходів по одному сліду	м <sup>2</sup>

### 3.2. Визначення параметрів спеціалізованих потоків

Змінний темп робіт (швидкість спеціалізованого потоку) визначається через обсяги робіт, які можуть бути виконані протягом зміни в межах однієї захватки і подаються у вигляді довжини  $L$  (м).

З урахуванням потужностей машин і механізмів, зайнятих на будівництві, та продуктивності виробничих підприємств і автотранспорту приймаємо довжину захватки рівною  $L = 400$  м.

Розмір (площа) захватки для окремих шарів дорожнього одягу:

–верхній шар покриття з ШЦМА

$$F_1 = 400 \times 12,25 = 4900 \text{ м}^2 ;$$

–середній шар покриття з щільного крупнозернистого асфальтобетону

$$F_2 = 400 \times 12,25 = 4900 \text{ м}^2 ;$$

–нижній шар покриття з пористого крупнозернистого асфальтобетону

$$F_3 = 400 \times 12,25 = 4900 \text{ м}^2 ;$$

–верхній шар основи з суміші С7

$$F_4 = 400 \times 12,5 = 5000 \text{ м}^2 ;$$

–нижній шар основи з суміші С5

$$F_5 = 400 \times 12,8 = 5120 \text{ м}^2 .$$

### 3.3. Розрахунок потреби в дорожньо-будівельних матеріалах

Номенклатуру дорожньо-будівельних матеріалів (вид, тип, марка тощо) призначаємо згідно прийнятої конструкції дорожнього одягу та умов її роботи. Потреба в матеріалах визначається згідно РЕКН [2] за формулою

$$Q = (q \pm \Delta q) \frac{F}{E},$$

де  $q$  – норма витрати матеріалів на вимірник  $E$ ;

$\Delta q$  – поправка до норми витрат, що враховує зміну товщини шару відносно товщини, що задано в нормах;

$F$  – розмір захватки.

*Улаштування підстильного шару основи з суміші С5 товщиною 16,0 см (РЕКН 27-21-1, РЕКН 27-21-5)*

Вимірник  $E = 1000 \text{ м}^2$

– вода  $q = 10,5 \text{ т (на 12 см)}$ ,  $\Delta q = 0,8 \text{ т (на кожен } \pm 1 \text{ см)}$

$$Q = (10,5 + 0,8 * 4) \frac{5120}{1000} = 70,144 \text{ м}^3 ;$$

– суміш С5  $q = 152 \text{ т (на 12 см)}$ ,  $\Delta q = 12,65 \text{ т (на кожен } \pm 1 \text{ см)}$

$$Q = (152 + 12,65 * 4) \frac{5120}{1000} = 1037,31 \text{ т} .$$

*Улаштування верхнього шару основи з суміші С7 12,0 см (РЕКН 27-21-1, РЕКН 27-21-5)*

Вимірник  $E = 1000 \text{ м}^2$

– вода  $q = 10,5 \text{ т (на 12 см)}$ ,  $\Delta q = 0,8 \text{ т (на кожні } \pm 1 \text{ см)}$

$$Q = 10,5 * \frac{5000}{1000} = 52,5 \text{ м}^3 ;$$

– суміш С7  $q = 152 \text{ т (на 12 см)}$ ,  $\Delta q = 12,65 \text{ т (на кожні } \pm 1 \text{ см)}$

$$Q = 152 * \frac{5000}{1000} = 760 \text{ т} ;$$

*Улаштування нижнього шару покриття з гарячої пористої крупнозернистої асфальтобетонної суміші товщиною 11 см (РЕКН 27-53-6, 27-54-6)*

Вимірник  $E = 1000 \text{ м}^2$

– бітум  $q = 0,0108 \text{ т(на 4см)}$ ,  $\Delta q = 0,0014 \text{ т (на кожні } \pm 0,5 \text{ см)}$

$$Q = (0,0108 + 0,0014 * 14) \frac{4900}{1000} = 0,149 \text{ т .}$$

– асфальтобетон крупнозернистий  $q = 92,5 \text{ т(на 4см)}$ ,  $\Delta q = 11,6 \text{ т (на кожні } \pm 0,5 \text{ см)}$

$$Q = (92,5 + 11,6 * 14) \frac{4900}{1000} = 1249,01 \text{ т ;}$$

*Улаштування середнього шару покриття з гарячої щільної крупнозернистої асфальтобетонної суміші товщиною 9 см (РЕКН 27-53-1, 27-54-1)*

Вимірник  $E = 1000 \text{ м}^2$

– бітум  $q = 0,0108 \text{ т(на 4см)}$ ,  $\Delta q = 0,0014 \text{ т (на кожні } \pm 0,5 \text{ см)}$

$$Q = (0,0108 + 0,0014 * 10) \frac{4900}{1000} = 0,122 \text{ т .}$$

– асфальтобетон щільний крупнозернистий  $q = 96,6 \text{ т(на 4см)}$ ,  $\Delta q = 12,1 \text{ т (на кожні } \pm 0,5 \text{ см)}$

$$Q = (96,6 + 12,1 * 10) \frac{4900}{1000} = 1066,24 \text{ т ;}$$

*Улаштування верхнього шару покриття з гарячої ЩМА товщиною 7 см (РЕКН 27-53-10, 27-54-10)*

Вимірник  $E = 1000 \text{ м}^2$

– ЩМА  $q = 91,4 \text{ т(на 4см)}$ ,  $\Delta q = 11,4 \text{ т (на кожні } \pm 0,5 \text{ см)}$

$$Q = (91,4 + 11,4 * 6) \frac{4900}{1000} = 783,02 \text{ т .}$$

Розрахунок потреби будівництва в дорожньо-будівельних матеріалах зводимо до табл. 2

Таблиця 2

Найменування конструктивного шару	Найменування матеріалу	Од. вим.	Потреба		
			на 1000 м <sup>2</sup>	на захватку	на 1 км
Підстильний шар основи	вода	м <sup>3</sup>	13,7	70,144	175,36
	суміш С5	м <sup>3</sup>	202,6	1037,31	2593,28
Верхній шар основи	вода	м <sup>3</sup>	10,5	52,5	131,25
	суміш С7	м <sup>3</sup>	152	760	1900
Нижній шар покриття	бітум	т	0,0304	0,149	0,373
	асфальтобетон	т	254,9	1249,01	3122,53
Середній шар покриття	бітум	т	0,032	0,122	0,305
	асфальтобетон	т	217,6	1066,24	2665,6
Верхній шар покриття	асфальтобетон	т	159,8	783,02	1957,55

### 3.4. Розрахунок потреби в автомобільному транспорті

Потреба в автотранспорті для постачання на об'єкт будівельних та допоміжних матеріалів визначається на підставі змінної продуктивності транспортних засобів певної марки.

Змінна продуктивність автосамоскида, т/зм.,

$$П_{зм} = \frac{T_{зм} \cdot Q_a}{\frac{2L}{V} + t_{нр}} k_{\Gamma} k_{вп} ,$$

де  $T_{зм}$  – тривалість робочої зміни, 8 год;

$Q_a$  – вантажопідйомність автосамоскида, т;

$L$  – дальність транспортування матеріалу за різних умов руху (по ґрунтових дорогах та дорогах із твердим покриттям), км;

$V$  – робоча швидкість руху, км/год

(при відстані перевезення до 1 км швидкість руху знижується на 20% );

$t_{нр}$  – час навантаження й розвантаження автомобіля ( $t_{нр} = 0,2$  год);

$k_{\Gamma}$  – коефіцієнт використання робочого часу,  $k_{\Gamma} = 0,85$ ;

$k_{вп}$  – коефіцієнт використання вантажопідйомності,  $k_{вп} = 0,90 \dots 1,0$ .

Змінна продуктивність автосамоскида КраА3-65055-063  $Q_a = 20$  т.  
при перевезенні

– суміш С5 
$$П_{зм}^{С5} = \frac{8 \cdot 20}{\frac{2 \cdot 12,7}{30} + 0,2} \cdot 0,85 \cdot 0,95 = 123,44 \text{ т/зм};$$

– суміш С7 
$$П_{зм}^{С7} = \frac{8 \cdot 20}{\frac{2 \cdot 12,7}{30} + 0,2} \cdot 0,85 \cdot 0,95 = 123,44 \text{ т/зм};$$

– асфальтобетону 
$$П_{зм}^{a/б} = \frac{8 \cdot 20}{\frac{2 \cdot 2,975}{30} + 0,2} \cdot 0,85 \cdot 0,95 = 324 \text{ т/зм}.$$

Змінна продуктивність поливомийної машини, т/зм.

$$П_{зм} = \frac{T_{зм} \cdot Q_a}{\frac{2L}{V} + Q_a \cdot t_{нр}} k_{\Gamma} ,$$

де  $Q_a$  – місткість цистерни поливомийної машини, м<sup>3</sup>;

$t_{np}$  – час наповнення цистерни й розливання води по поверхні покриття через сопла  $t_{np} = 0,09$  год/м<sup>3</sup>, через шланг –  $t_{np} = 0,025$  год/м<sup>3</sup>

Змінна продуктивність поливомийної машини КО-829А  $Q_a = 6$  м<sup>3</sup> :

$$P_{зм}^{пмм} = \frac{8 \cdot 6}{\frac{2 \cdot 5,5}{40} + 6 \cdot (0,09 + 0,025)} \cdot 0,85 = 17,6 \text{ м}^3/\text{зм.}$$

Змінна продуктивність автогудронатора, т./зм,

$$P_{зм} = \frac{T_{зм} \cdot Q_a}{\frac{2L}{V} + Q_a \cdot t_{np}} k_2 ,$$

де  $Q_a$  – місткість цистерни автогудронатора, т;

$t_n$  – час наповнення цистерни  $t_n = 0,14$  год/т.;

$t_p$  – час розподілу в'язучого по поверхні покриття  $t_p = 0,19$  год/т.

Змінна продуктивність автогудронатора ДС-39Б  $Q_a = 4$  м<sup>3</sup> :

$$P_{зм}^{аз} = \frac{8 \cdot 4}{\frac{2 \cdot 2,975}{40} + 4 \cdot (0,14 + 0,19)} \cdot 0,85 = 18,52 \text{ м}^3/\text{зм.}$$

Кількість автотранспорту, яка необхідна для транспортування змінної потреби матеріалів на захватку:

$$N_a = Q_{зм} / P_{зм} ,$$

де  $Q_{зм}$  – потреба в матеріалах на захватку (приймається за даними табл. 2).

Розрахункова кількість автотранспорту  $N^p_a$  округляється до цілого значення  $N_a$  так, щоб коефіцієнт використання  $K_e = N^p_a / N_a$  був менше 1,0.

*Улаштування підстильного шару основи з щебенево-піщаної суміші С5*

### **Розрахунок №1**

– суміш С5

$$N_a = 1037,31 \times 2 / 123,44 = 16,8$$

приймаємо автосамоскид КраА3-65055-063 в кількості 20 шт ( $K_e = 0,84$ )

#### ***Розрахунок №4***

– вода

$$N_a = 70,144 / 17,6 = 3,98$$

приймаємо поливомийну машину КО-829А в кількості 5 шт ( $K_e = 0,8$ )

*Улаштування шару основи з щебенево-піщаної суміші С7*

#### ***Розрахунок №6***

– суміш С7

$$N_a = 760 \times 2 / 123,44 = 12,31$$

приймаємо автосамоскид КраАЗ-65055-063 в кількості 15 шт ( $K_e = 0,82$ )

#### ***Розрахунок №9***

– вода

$$N_a = 52,5 / 17,6 = 2,98$$

приймаємо поливомийну машину КО-829А в кількості 4 шт ( $K_e = 0,75$ )

*Улаштування нижнього шару покриття з із пористої крупнозернистої гарячої асфальтобетонної суміші*

#### ***Розрахунок №11***

– бітум

$$N_a = 0,149 / 18,52 = 0,01$$

приймаємо автогудронатор ДС-39Б в кількості 1 шт ( $K_e = 0,01$ )

#### ***Розрахунок №12***

– асфальтобетон

$$N_a = 1249,01 / 323 = 3,87$$

приймаємо автосамоскид КраАЗ-65055-063 в кількості 4 шт ( $K_e = 0,97$ )

*Улаштування середнього шару покриття з гарячої щільної крупнозернистої асфальтобетонної суміші*

– бітум

$$N_a = 0,122 / 18,52 = 0,01$$

приймаємо автогудронатор ДС-39Б в кількості 1 шт ( $K_e = 0,01$ )

***Розрахунок №16***

– асфальтобетон

$$N_a = 1066,24 / 323 = 3,3$$

приймаємо автосамоскид КраА3-65055-063 в кількості 4 шт ( $K_6 = 0,83$ )

*Улаштування верхнього шару покриття з гарячої дрібнозернистої асфальтобетонної суміші товщиною*

***Розрахунок №20***

–ЩМА

$$N_a = 783,02 / 323 = 2,42$$

приймаємо автосамоскид КраА3-65055-063 в кількості 3 шт ( $K_6 = 0,81$ ).

### 3.5. Розрахунок потреби в технологічному транспорті

Потреба в технологічному транспорті для виконання основних операцій і процесів визначається на підставі їх змінної продуктивності за РЕКН.

Змінна продуктивність технологічного транспорту:

$$P_{зм} = \frac{T_{зм} \cdot E}{H_{в.р.}} k_2 ,$$

де  $T_{зм}$  – тривалість робочої зміни, 8 год;

$E$  – вимірник (згідно РЕКН  $E = 100 \text{ м}^2$ );

$H_{в.р.}$  – розрахункова норма часу для виконання обсягу робіт на вимірник;

$k_2$  – коефіцієнт використання робочого часу,  $k_2 = 0,85$ ;

Кількість технологічного транспорту, яка необхідна для виконання відповідних операцій і процесів:

$$N^p_m = F / P_{зм} .$$

Розрахункова кількість технологічного транспорту  $N^p_m$  округляється до цілого  $N_a$ , щоб коефіцієнт використання  $K_г = N^p_m / N_m$  становив менше ніж 1,0.

#### **Розрахунок №2**

Розподіл і профілювання суміші С5 автогрейдером Komatsu GD 605A за 5 проходів на ширину основи  $B = 12,8 \text{ м}$  (РЕКН 27.21.1)

Вимірник –  $E = 1000 \text{ м}^2$ ,  $H_p = 3,64 \text{ маш/год}$

$$P_{зм} = \frac{8 \cdot 1000}{3,64} = 1868 \text{ м}^2/\text{зм}, N_a = 5120 / 1868 = 2,74$$

приймаємо автогрейдер ДЗ-298 в кількості 3 шт ( $K_г = 0,91$ )

#### **Розрахунок №3**

Підкочення суміші С5 самохідним вібраційним котком BOMAG BW 24R масою 10 т за 13 проходів по одному сліду.

Вимірник –  $E = 1000 \text{ м}^2$ ,  $H_p = 11,43 \text{ маш/год}$

$$P_{зм} = \frac{8 \cdot 1000}{11,43} \cdot 0,85 = 595 \text{ м}^2/\text{зм}, N_a = 5120 / 595 = 8,61$$

приймаємо коток BOMAG BW 24R масою 10 т в кількості 9 шт ( $K_г = 0,96$ )

### ***Розрахунок №5***

Ущільнення суміші С5 самохідним пневматичним котком Дунарас СР 271 масою 15 т за 10-12 проходів по одному сліду

Вимірник –  $E = 1000 \text{ м}^2$ ,  $H_p=10,55$  маш/год

$$P_{зм} = \frac{8 \cdot 1000}{10,55} 0,85 = 645 \text{ м}^2/\text{зм}, N_a = 5120 / 645 = 7,94$$

приймаємо коток Дунарас СР 271 масою 15 т в кількості 9 шт ( $K_e = 0,88$ )

### ***Розрахунок №7***

Розподіл суміші по ширині основи 12,5 м товщиною 8,0 см самохідним асфальтоукладальником Vögele Super 1800

Вимірник –  $E = 1000 \text{ м}^3$ ,  $H_p=4,4$  маш/год

$$P_{зм} = \frac{8 \cdot 1000}{4,4} 0,85 = 1546 \text{ м}^2/\text{зм}, N_a = 5000 / 1546 = 3,23$$

приймаємо асфальтоукладальник Vögele Super 1800 4 шт. ( $K_e = 0,81$ )

### ***Розрахунок №8***

Підкочення суміші С7 самохідним вібраційним котком BOMAG BW 24R масою 10 т за 10-15 проходів по одному сліду.

Вимірник –  $E = 1000 \text{ м}^2$ ,  $H_p=11,43$  маш/год

$$P_{зм} = \frac{8 \cdot 1000}{11,43} 0,85 = 595 \text{ м}^2/\text{зм}, N_a = 5000 / 595 = 8,4$$

приймаємо коток BOMAG BW 24R масою 10 т в кількості 9 шт ( $K_e = 0,93$ )

### ***Розрахунок №10***

Ущільнення суміші С7 самохідним пневматичним котком Дунарас СР 271 масою 15 т за 10-12 проходів по одному сліду

Вимірник –  $E = 1000 \text{ м}^2$ ,  $H_p=10,55$  маш/год

$$P_{зм} = \frac{8 \cdot 1000}{10,55} 0,85 = 645 \text{ м}^2/\text{зм}, N_a = 5000 / 645 = 7,75$$

приймаємо коток Дунарас СР 271 масою 15 т в кількості 9 шт ( $K_e = 0,86$ )

### ***Розрахунок №13***

Розподіл гарячої пористої крупнозернистої асфальтобетонної суміші товщиною 11,0 см самохідним асфальтоукладальником Vögele Super 3000-2

Вимірник –  $E = 1000 \text{ м}^3$ ,  $H_p=4,4$  маш/год

$$P_{зм} = \frac{8 \cdot 1000}{4,4} 0,85 = 1546 \text{ м}^3/\text{зм}, N_a = 4900 / 1546 = 3,17$$

приймаємо асфальтоукладальник Vögele Super 3000-2 4 шт. ( $K_g = 0,79$ )

### ***Розрахунок №14***

Підкочення гарячої пористої крупнозернистої асфальтобетонної суміші самохідним вібраційним котком BOMAG BW 24R масою 10 т

Вимірник –  $E = 1000 \text{ м}^2$ ,  $H_p=5,45$  маш/год

$$P_{зм} = \frac{8 \cdot 1000}{5,45} 0,85 = 1248 \text{ м}^3/\text{зм}, N_a = 4900 / 1248 = 3,93$$

приймаємо коток BOMAG BW 24R масою 10 т в кількості 5 шт ( $K_g = 0,8$ )

### ***Розрахунок №15***

Ущільнення гарячої пористої крупнозернистої асфальтобетонної суміші самохідним вібраційним котком BOMAG BW 27RH масою 13,5 т

Вимірник –  $E = 1000 \text{ м}^2$ ,  $H_p=15,86$  маш/год

$$P_{зм} = \frac{8 \cdot 1000}{15,86} 0,85 = 429 \text{ м}^3/\text{зм}, N_a = 4900 / 429 = 11,42$$

приймаємо коток BOMAG BW 27RH масою 13,5 т в кількості 12 шт.

( $K_g = 0,95$ )

### ***Розрахунок №17***

Розподіл гарячої дрібнозернистої асфальтобетонної суміші товщиною 9 см самохідним асфальтоукладальником Vögele Super 3000-2

Вимірник –  $E = 1000 \text{ м}^3$ ,  $H_p=4,4$  маш/год

$$P_{зм} = \frac{8 \cdot 1000}{4,4} 0,85 = 1546 \text{ м}^3/\text{зм}, N_a = 4900 / 1546 = 3,17$$

приймаємо асфальтоукладальник Vögele Super 3000-2 4 шт. ( $K_g = 0,79$ )

### ***Розрахунок №18***

Підкочення гарячої пористої крупнозернистої асфальтобетонної суміші самохідним вібраційним котком BOMAG BW 24R масою 10 т

Вимірник –  $E = 1000 \text{ м}^2$ ,  $H_p=5,45$  маш/год

$$P_{зм} = \frac{8 \cdot 1000}{5,45} 0,85 = 1248 \text{ м}^3/\text{зм}, N_a = 4900 / 1248 = 3,93$$

приймаємо коток BOMAG BW 24R масою 10 т в кількості 5 шт ( $K_g = 0,8$ )

### ***Розрахунок №19***

Ущільнення гарячої пористої крупнозернистої асфальтобетонної суміші самохідним вібраційним котком BOMAG BW 27RH масою 13,5 т

Вимірник –  $E = 1000 \text{ м}^2$ ,  $H_p=15,86$  маш/год

$$P_{зм} = \frac{8 \cdot 1000}{15,86} 0,85 = 429 \text{ м}^2/\text{зм}, N_a = 4900 / 429 = 11,42$$

приймаємо коток BOMAG BW 27RH масою 13,5 т в кількості 12 шт.

( $K_g = 0,95$ )

### ***Розрахунок №21***

Розподіл гарячої дрібнозернистої асфальтобетонної суміші товщиною 4 см самохідним асфальтоукладальником Vögele Super 3000-2

Вимірник –  $E = 1000 \text{ м}^3$ ,  $H_p=4,4$  маш/год

$$P_{зм} = \frac{8 \cdot 1000}{4,4} 0,85 = 1546 \text{ м}^3/\text{зм}, N_a = 4900 / 1546 = 3,17$$

приймаємо асфальтоукладальник Vögele Super 3000-2 4 шт. ( $K_g = 0,79$ )

### ***Розрахунок №22***

Підкочення гарячої пористої крупнозернистої асфальтобетонної суміші самохідним вібраційним котком BOMAG BW 24R масою 10 т

Вимірник –  $E = 1000 \text{ м}^2$ ,  $H_p=5,45$  маш/год

$$P_{зм} = \frac{8 \cdot 1000}{5,45} 0,85 = 1248 \text{ м}^3/\text{зм}, N_a = 4900 / 1248 = 3,93$$

приймаємо коток BOMAG BW 24R масою 10 т в кількості 5 шт ( $K_g = 0,8$ )

**Розрахунок №23**

Ущільнення гарячої пористої крупнозернистої асфальтобетонної суміші  
самохідним вібраційним котком BOMAG BW 27RH масою 13,5 т

Вимірник –  $E = 1000 \text{ м}^2$ ,  $N_p = 15,86$  маш/год

$$P_{zm} = \frac{8 \cdot 1000}{15,86} \cdot 0,85 = 429 \text{ м}^2/\text{зм}, N_a = 4900 / 429 = 11,42$$

приймаємо коток BOMAG BW 27RH масою 13,5 т в кількості 12 шт.

( $K_g = 0,95$ )

### **3.6. Технологія та організація виконання робіт**

#### **3.6.1. Технологія влаштування підстильного шару основи**

Перед влаштуванням дорожнього одягу земляне полотно має бути підготовленим. При цьому слід відвести воду з колій й вибоїн, висушити ґрунт, спланувати його, надавши йому потрібного поперечного похилу. Додаткове ущільнення виконують самохідними пневмоколісними котками масою 16–30 т. Ущільнення ведуть човниковими проходами котка від країв до середини, перекриваючи попередні проходи на 1/3 ширини смуги ущільнення. Коефіцієнт ущільнення ґрунту має бути 0,95-1. Нерівності від проходів пневмоколісних котків вирівнюють за два-три проходи самохідних котків з гладкими металевими вальцями масою не менше 8–10 т.

Якщо ґрунт земляного полотна має невисокий модуль пружності, його укріплюють мінеральними матеріалами шляхом їх поступового розсипу з наступним ущільненням котками й автомобілями. Пісок для підстилаючих шару вивозять автосамоскидами й розвантажують в кучі вздовж осі дороги або на одній її стороні, а при великій ширині шару – в кучі на обох половинах дороги. Перед розрівнюванням матеріалу виставляють висотні кілки по осі дороги, у крайок проїзної частини, а якщо піщаний шар виконується на всю ширину дороги, то й на бровках піщаного шару. Коефіцієнт ущільнення піску при вертикальній розбивці приймають попередньо 1.10 а в процесі виконання робіт його уточнюють. Висотні кілки на пікетах і в переломних точках виставляють по нівеліру, проміжні – по візирках.

Пісок розрівнюють і сплановують автогрейдером, правильність поперечного профілю перевіряють шаблоном, невеликі виправлення поверхні піску виконують вручну. Ущільнення шару піску самохідними пневмоколісними котками, віброкотками. Вологість піску має бути оптимальною. Сухий пісок поливають водою з розрахунку 4-5 л/м<sup>2</sup>. Засоби ущільнення вибирають так, щоб ущільнення проводилось в один шар.

### 3.6.2. Технологія влаштування щебенево – піщаних шарів

При приготуванні суміші її оптимальний склад визначається лабораторним шляхом, при цьому ретельно контролюється вміст глинистих часток (дрібніше 0,05 мм). Якщо суміш не задовольняє вимог за зерновим складом, її необхідно збагачувати шляхом додавання певної фракції щебеню чи гравію.

Технологія влаштування гравійних шарів передбачає виконання таких операцій:

- при серповидному профілі профілювання й ущільнення котками земляного полотна; при коритному профілі влаштування автогрейдером корита з подальшим ущільненням котками його дна;
- транспортування гравійної суміші до місця вкладання із завантаженням у бункер розподільника або розподілом на основі у вигляді суцільного валика;
- розподіл гравійного матеріалу потрібною товщиною по профілю полотна або по дну корита самохідним розподільником або автогрейдером;
- ущільнення гравійного шару котками з поливанням його водою.

При влаштування одношарового гравійного покриття серповидного профілю гравійну оптимальну суміш вивозять на дорогу автомобілями-самоскидами й розвантажують у самохідні розподільники (типу ДС-8 і ДС-54), які розподіляють суміш та попередньо її ущільнюють.

За відсутності розподільників гравійну суміш розвантажують з автосамоскидів в кучі в одну чи дві лінії по ширині земляного полотна. Розрівнюють суміш бульдозером або автогрейдером. Остаточне планування суміші виконують автогрейдером по висотних кілочках, що встановлені по осі дороги, на краях проїзної частини і бровках земляного полотна. При цьому слід враховувати коефіцієнт ущільнення матеріалу, який орієнтовно приймають рівним 1,3 (в процесі роботи значення коефіцієнта уточнюється).

Гравійно-піщану та щебенево-піщану суміш оптимального гранулометричного складу слід доставляти на дорогу в готовому вигляді.

Приготування оптимальної суміші безпосередньо на дорозі допускається лише в крайніх випадках.

Ущільнення гравійного одношарового покриття проводять котками з гладкими вальцями масою 5-6 т за 8-10 проходів по одному сліду або масою 8-12 т за 10-20 проходів. Досить ефективним є використання для ущільнення гравійних шарів вібраційних та пневмоколісних котків. Ущільнення котками ведуть від узбіч до середини з перекриттям попередніх проходів на 20-30 см.

Перші два проходи котка виконують при швидкості 1,5-2 км/год, всі наступні – при швидкості 3-4 км/год. Якщо в процесі укочування утворюються хвилі та нерівності, то швидкість котка необхідно знижувати до 1,5 км/год.

Признаками остаточного ущільнення гравійного покриття є відсутність помітних слідів після котка і перед вальцем зникає хвиля.

Оптимальна вологість матеріалу під час ущільнення становить 7-12%. При великій вологості земляного полотна й гравійного матеріалу укочування не проводиться. Для створення щільної, міцної та стійкої гравійного шару при ущільненні верхнього шару покриття рекомендується поливати його 30%-м розчином гігроскопічних солей  $\text{CaCl}_2$  або  $\text{NaCl}_2$  з нормою витрати 2-3 л/м<sup>2</sup>.

У процесі укочування перевіряють рівність поверхні і правильність поперечного профілю. Остаточне ущільнення гравійного шару проходить під впливом автомобілів при систематичному вигладжуванні, профілюванні та регулюванні руху протягом двох-трьох тижнів. При сухому матеріалі здійснюють розлив розчину гігроскопічних солей.

При влаштуванні гравійного покриття в два шари матеріал для нижнього шару вивозять у напівкорито, розрівнюють і планують його. Сухий матеріал поливають водою поливо-мийними машинами до 15 л/м<sup>2</sup> 3-4 проходи по одному сліду. З метою запобігання випаровування води зволоження проводять безпосередньо перед підкочуванням і лише там, де укочування буде проведене протягом найближчих 20-30 хвилин.

Ущільнення нижнього шару гравійного двошарового покриття проводять котками з гладкими вальцями масою 5-6 т за 6-10 проходів по одному сліду або масою 8-12 т за 8-15 проходів.

Верхній шар гравійного покриття влаштовують аналогічно влаштуванню одношарового покриття. Ущільнення проводять котками з гладкими вальцями масою 5-6 т за 4-7 проходів по одному сліду або масою 8-12 т за 5-8 проходів. Також можна використовувати вібраційні та пневмоколісні котки.

### **5.6.3. Технологія влаштування шарів з гарячої асфальтобетонної суміші**

Покриття з гарячих асфальтобетонних сумішей влаштовують у весняно-літній період в суху погоду при температурі повітря не нижче 5°C, у осінній період – не нижче 10°C.

Технологія влаштування асфальтобетонних шарів передбачає виконання таких операцій:

- приготування асфальтобетонної суміші на заводах;
- підготовка основи;
- транспортування суміші до місця виконання робіт;
- укладання суміші по поверхні основи;
- ущільнення асфальтобетонного шару;
- догляд за шаром.

Перед влаштуванням асфальтобетонного шару поверхню основи необхідно ретельно очистити від пилу та бруду щітками поливомийних машин, а при необхідності – відремонтувати.

Для забезпечення зчеплення між шаром асфальтобетону, що вкладається, та основою (існуючим покриттям) не пізніше ніж за 6 години проводять підґрунтування бітумною емульсією з розрахунку 0,3-0,9 л/м<sup>2</sup> або рідким бітумом – 0,2-0,8 л/м<sup>2</sup>. Якщо покриття влаштовується по основі, яка тільки влаштована, то підґрунтовку можна не проводити.

Перед початком основних робіт проводять розбивку в плані та по висоті.

Асфальтобетонна суміш доставляється до місця вкладання автомобілями-самоскидами й вивантажується в бункер самохідного асфальтоукладальника або перевантажувача, який подає суміш на укладальник без його зупинки.

Асфальтоукладальник розподіляє суміш із заданим поперечним ухилом на проектну товщину з урахуванням коефіцієнту ущільнення 1,15-1,25 та попередньо ущільнює шар при допомозі трамбуючого бруса.

В залежності від технічних характеристик укладальника асфальтобетонне покриття може влаштовуватись однією смугою на всю ширину або ж в декілька смуг. При роботі одного укладальника довжина смуги розраховується таким чином, щоб не було охолодження асфальтобетону й забезпечувалась належна якість поздовжнього стику. Якщо використовують два укладальника, то вони повинні рухатись в одному напрямі зі зміщенням на 10-30 м один від одного.

У окремих випадках, при малих обсягах робіт чи недоступних місцях, допускається вкладання асфальтобетонної суміші вручну. Укладання суміші ведуть на всій ширині ділянки покриття по попередньо виставлених висотних кілках. Суміш розвантажують на основу на відстані 2-5 м від місця вкладання, підносять її совковими лопатами й розкладають по покриттю (суміш не можна кидати). Розрівнюють і профілюють суміш металевими граблями й дерев'яними движками на товщину, яка на 25-30% більше проектної.

Поверхня вкладеного асфальтобетонного шару після проходу укладальника має бути рівною, однорідною, без розривів і раковин. На ділянках з ухилом більше 40‰ покриття влаштовують знизу вверх.

Попереднє ущільнення асфальтобетонного покриття здійснюється самохідними котками з гладкими вальцями масою 6-8 т. за 2-3 проходи по одному сліду, потім ущільнюють котками на пневматичних шинах за 8-10 проходів. Остаточне ущільнення виконують важкими котками з гладкими вальцями масою 10-18 т за 2-3 проходи по одному сліду.

За відсутності самохідних пневмоколісних котків після підкочування покриття ущільнюють важкими котками з гладкими вальцями масою 15-18 т. Кількість проходів визначається пробним ущільненням.

Замість гладковальцевих котків статичної дії для ущільнення верхнього шару з асфальтобетонних сумішей типу А, Б, Г та нижнього шару з пористих сумішей дозволяється використовувати котки вібраційної дії. Перші 2-3 проходи по одному сліду віброкаток здійснює з виключеним, потім 3-4 проходи з включеним вібратором. Остаточне ущільнення виконують важкими котками з гладкими вальцями масою 10-18 т за 6-8 проходів по одному сліду. Самохідні пневмоколісні котки у порівнянні з гладковальцевими мають дещо більшу продуктивність і ущільнюють покриття на більшу глибину, за рахунок зміни тиску в шинах стає можливим регулювати контактний тиск.

При ручному вкладанні асфальтобетонних сумішей кількість проходів котків по одному сліду необхідно збільшити на 20-30%. При ущільненні багатота середньощобенистих сумішей типу А і Б, а також нижнього шару з пористих асфальтобетонних сумішей легкі котки доцільно замінити важкими.

Ущільнення проводять від країв до середини з перекриттям попередніх проходів на 0,2-0,3 м. При ущільненні першої смуги котки не повинні наближатись вальцями ближче ніж на 10 см до краю від суміжної смуги. При ущільненні другої смуги перші проходи здійснюють по поздовжньому стику. При наїзді на свіжовкладену смугу котки мають рухатись ведучими вальцями вперед, оскільки перед відомими вальцями, як правило, утворюються хвилі. Котки повинні зрушувати з місця або змінювати напрям руху плавно й без ривків. Забороняється зупиняти коток на гарячому неущільненому покритті.

Ущільнювати гарячі суміші починають при тій температурі, при якій не утворюються деформації: для багатощобенистих сумішей – при 140-160°C, для малощобенистих – при 100-130 °С, для сумішей нижнього шару – при 120-140 °С. При використанні поверхнево-активних речовин або активного мінерального порошку температура при вкладанні має бути знижена.

Швидкість руху котків при перших 5-6 проходах по одному сліду становить 1,5-2 км/год, потім 3-5 км/год; для пневмоколісних котків – до 5-8 км/год, для вібраційних котків – до 2-3 км/год.

Після попереднього ущільнення перевіряють рівність і поперечний профіль покриття. Виявлені дефекти виправляють шляхом розпушування покриття металевими граблями з додаванням або зняттям суміші. Пористість на окремих ділянках ліквідують шляхом розсипання по поверхні покриття дрібнозернистої асфальтобетонної суміші з послідуочим ущільненням котками.

При перерві в роботі, наприклад, в кінці другої зміни, ступені між смугами мають бути мінімальними. З метою запобігання розкатування суміші в кінці смуги покриття вкладають упорні дошки або рейки. Шви мають бути перпендикулярні до осі дороги.

При відновленні роботи упорні дошки знімають, краї в поздовжньому (в межах ступені) та поперечному напрямках обрубують на ширину 10-15 см та прогрівають гарячою асфальтобетонною сумішшю чи газовими пальниками. Стінки стиків змазують гарячим бітумом марки СГ70-130 або СГ 130/200. Після вкладки суміш біля торців ущільнюють металевими трамбівками та вигладжують гарячим утюгом.

Зразу ж після укочування асфальтобетонного покриття виконують обрубкування стиків перфоратором або зрізання дисковими пилами.

### **3.6.4. Контроль якості робіт при будівництві дорожнього одягу**

#### *Контроль якості при влаштуванні додаткових шарів*

Перед влаштуванням додаткових шарів необхідно перевірити якість влаштування земляного полотна: рівність його поверхні, відповідність поперечного профілю проектним вимогам, ступінь ущільнення ґрунту, геометричні розміри й висотні відмітки поверхні, правильність виконання водовідвідних і дренажних споруд, прошарків. При необхідності земляне полотно додатково ущільнюють і сплановують.

При влаштуванні додаткових шарів основи необхідно перевіряти не рідше ніж через 100 м, а також в усіх сумнівних випадках: якість використаного матеріалу шляхом відбору проб та їх лабораторного дослідження; товщину шару матеріалу по осі та біля країв проїзної частини, а якщо додатковий шар влаштовується на всю ширину земляного полотна, то й по краях цього шару; ступінь ущільнення матеріалу шляхом визначення щільності зразків та їх співставлення з необхідною щільністю; рівність і поперечний профіль збудованого додаткового шару.

В процесі будівництва повинні виконуватись правила техніки безпеки, які висуваються до машин і механізмів, що використовуються при влаштуванні додаткових шарів основи (автогрейдери, бульдозери, розподільники кам'яних матеріалів, котки та інше).

При влаштуванні додаткових шарів переміщення механізмів допускається не ближче ніж 0,5 м від країв земляного полотна. Відстань між машинами на захватках приймають не меншою за 10 м. Перед проведенням робіт слідкують за своєчасним огороженням ділянки будівництва й розстановкою відповідних дорожніх знаків. Робітників забезпечують спецодягом і засобами індивідуального захисту, які необхідні при виконанні робіт. Після завершення робочого дня машини розташовують поза межами земляного полотна на спеціальних майданчиках.

*Контроль якості робіт при влаштуванні дорожніх одягів і покриттів з кам'яних матеріалів.*

У процесі виконання робіт по влаштуванню щебених, гравійних та шлакових шарів основи і покриття перевіряють:

- якість матеріалів та їх відповідність технічному проекту шляхом візуального огляду та за даними лабораторних випробувань зразків (не рідше одного разу в тиждень, але не менше ніж один раз на 1 км влаштованого шару основи чи покриття);
- поздовжній профіль – за результатами контрольного нівелювання через кожні 100 м;
- поперечний профіль – шаблоном з рівнем на кожному пікеті;
- рівність поверхні покриття – за наявністю та величиною просвітів в п'яти контрольних точках під 3-метровою рейкою в трьох створах (по осі дороги та на відстані 0,75-1,0 м від кожного краю шару) на кожному кілометрі;
- ширину основи і покриття – рулеткою;
- товщину шару – по замірах в трьох лунках (по осі дороги та на відстані 0,75-1,0 м від кожного краю шару), які пробиваються на трьох поперечниках на кожному кілометрі;
- якість ущільнення – шляхом проходу котка масою 10-12 т (після проходу котка на поверхні шару не залишається видимих візуально слідів; зерно матеріалу, покладене під валок, повинно бути повністю роздавлене, а не вдавнене в шар дорожнього одягу).

При проміжному прийманні допускаються відхилення від проектних розмірів: по ширині – 10 см; по товщині шару – 10%, але не більше 20 мм; поперечний уклон – 5‰, висотні відмітки по осі дороги – 5 см; просвіт під 3-метровою рейкою – 15 см.

Щозміни не рідше одного разу перевіряють вологість щебеню і гравійно-піщаної суміші. Постійно контролюють візуально якість розподілення кам'яних

матеріалів та їх ущільнення. Однорідність гравійно-піщаної суміші, яку готують на дорозі, контролює лабораторія. Одночасно в період перемішування візуально слідкують, щоб не утворювались грудки з дрібняка чи інших фракцій суміші.

Візуальна оцінка якості щебених і гравійних шарів дозволяє не тільки виявити їх недоліки, а й передбачити можливі причини браку та намітити способи його ліквідації. Наявність на поверхні шару хвиль може бути викликана надлишком дрібних фракцій мінерального матеріалу. У таких випадках виступи зрізають автогрейдером, продукти руйнування та дрібні частинки гравію (щебеню) змітають на обочини, а шар посилено ущільнюють з одночасним зволоженням водою. Місцеві руйнування виникають часто через невідале розклинювання або неоднорідність гранулометричного складу. Окремі пошкоджені місця переробляють повністю.

Підвищена деформативність, виникнення колій часто зумовлені надлишком мінеральних частинок до 0,05 мм. Причиною недоущільнення щебеню може бути зайва кількість проходів котка і обламування країв граней щебеню. Шар розклинюють дрібним щебенем, чорним піском або сумішшю цементу з піском у зволоженому стані. Затримка в ущільненні може бути через надмірне зволоження основи, що вимагає зупинити роботи до просихання розташованих нижче шарів і земляного полотна. Якщо міцність шару з активного Мінерального матеріалу зростає повільно, то причиною цього явища може бути нестача вологи. В цьому випадку матеріал шару розпушують, дозвожують і ущільнюють повторно

Поперечні тріщини на поверхні шару виникають при ущільненні його в сухому стані. Якщо після зволоження не вдається позбутися поперечних тріщин, то замінюють коток на більш легкий.

При влаштуванні основ і покриттів з неукріплених кам'яних матеріалів необхідно виконувати вимоги техніки безпеки, які висуваються до роботи з машинами, які пересуваються в процесі роботи, а також при роботі в темний період доби та в зимовий час.

*Контроль якості робіт при влаштуванні щебених шарів.*

При влаштуванні основ і покриттів із кам'яних матеріалів, які оброблені органічним в'язучим, організовується контроль за якістю вихідних матеріалів, технологією приготування сумішей і чорного щебеню, а також за виконанням будівельних робіт

Якість мінеральних матеріалів контролюють за їх фізико-механічними властивостями, зерновому складу, вмістом пилюватих і глинистих часток. Для в'язучих матеріалів перевіряють – глибину проникнення, в'язкість, температуру в момент використання, зчеплення в'язучого з кам'яним матеріалом.

З кожної партії мінерального порошку беруть одну пробу масою 1 кг; а з партії органічного в'язучого – 2-3 кг.

У разі використання кам'яних матеріалів, які отримані в результаті киркування старого гравійного чи щебеневого покриття, проби для визначення зернового складу відбирають через кожні 0,5 км загальною масою 8-10 кг з валика.

Температуру в'язучого під час його підготовки контролюють не рідше ніж через 2 години. В'язкість в'язучого визначають після його підготовки в котлі, повторно перевіряють через 4 год., а складеного в'язучого - через 2 год.

Показник зчеплення органічних в'язучих і кам'яних матеріалів перевіряють кожного разу при зміні складових суміші.

*При змішуванні на дорозі* контролюють вологість кам'яного матеріалу, а через кожні 25 м – шаблоном постійність об'єму валика суміші до та після оброблення. У разі використання активаторів та поверхнево-активних речовин перевіряють правильність їх дозування. Також контролюють норму й рівномірність розливу, якість попереднього та остаточного перемішування.

Якість суміші перевіряють за зовнішнім виглядом (однорідна суміш без включень необроблених часток і згустків в'язучого) та фізико-механічними властивостями проб, які відбираються через кожні 0,5 км. Неоднорідність суміші виправляється шляхом додавання в'язучого або кам'яного матеріалу та додаткового перемішування.

При всіх способах виконання робіт через кожні 100 м визначають товщину шару металевою лінійкою, правильність поперечного профілю – шаблоном, рівність поверхні – триметровою рейкою.

Ступінь ущільнення збудованих основ і покриттів за способом просочування та з чорного щебеню перевіряють пробним проходом важкого котка масою не менше 15 т – під час його руху структура матеріалу залишається непорушною та без утворення хвиль попереду вальців котка.

Під час приймання робіт з улаштування основ і покриттів із щебеню, укріпленого органічним в'язучим, допустимі відхилення від проектних мають бути не більше: по ширині – 10 см; товщині – 10%; поперечний похил 5‰; просвіт під 3-метровою рейкою – 7 мм.

Поверхні основи або покриття повинна бути однорідною, однакового кольору, без жирних та сухих місць, без крупних включень. Приймання проводиться до влаштування поверхневої обробки.

#### *Контроль якості робіт при влаштуванні асфальтобетонних шарів.*

При будівництві асфальтобетонних покриттів технічному контролю підлягають: приготування асфальтобетонної суміші на заводі, влаштування асфальтобетонного покриття, готове покриття.

Під час приготування сумішей підлягає перевірці: якість мінеральних матеріалів і в'язучого, точність дозування, контроль температурного режиму приготування суміші, якість готової суміші.

На дорозі за допомогою термометрів перевіряється температура асфальтобетонної суміші, візуально – її якість. В суміші не повинно бути згустків бітуму та частин мінерального матеріалу, які не оброблені в'язучим. Синій димок над асфальтобетонною сумішшю свідчить про перевищення температурного режиму її приготування та „загорання” бітуму. В кузові автомобіля асфальтобетонна суміш повинна мати обриси сплюсненого конуса

(при недостатній кількості бітуму суміш має форму правильного конуса, при надлишку бітуму – форму зрізаного конуса).

Перед вкладанням суміші перевіряють рівність, щільність та чистоту основи, рівномірність підгрунтовки, правильність встановлення бокових упорів.

В процесі укладання асфальтобетонної суміші через кожні 100 м перевіряють: товщину укладеного шару – металевою лінійкою, поперечний уклон – шаблоном, рівність – триметровою рейкою, яка прикладається до покриття вздовж осі дороги.

Після розподілу суміші контролюють час початку та завершення укочування, кількість та правильність проходів котків. Виявлені при укладанні та ущільненні суміші недоліки мають бути невідкладно ліквідовані.

Ділянки покриття, які після ущільнення мають велику пористість або на яких суміш виявилась недоброякісною, підлягають вирубуванню, закладанню якісним матеріалом та ущільненню котками.

Особливу увагу приділяють якості влаштування поздовжніх та поперечних сполучень суміжних смуг покриття.

Висотні відмітки по осі дороги контролюють шляхом нівелюванням через кожні 100 м.

Після влаштування асфальтобетонного покриття перевіряють коефіцієнт його ущільнення та товщину шарів, надійність зчеплення між шарами покриття та з основою, відповідність асфальтобетону технічним вимогам, шорсткість поверхні покриття, коефіцієнт зчеплення покриття з шинами автомобілів.

Для контролю якості асфальтобетону з покриття відбирають керни або вирубки, які випробовують в переформованому та непереформованому вигляді. Проби беруть на покриттях з гарячого асфальтобетону через 3-10 діб після його влаштування, з холодного – через 15-30 діб після влаштування покриття і відкриття руху по ньому.

Проби відбирають з розрахунку: при ширині покриття не більше 7 м – три проби на 1 км; при ширині покриття більш ніж 7 м – три проби з кожних 7000 м<sup>2</sup>. Керни і вирубку беруть з різних місць: із середини смуги руху, в безпосередній близькості до сполучення двох ділянок, а також там, де покриття найменш ущільнене рухом. При відборі проб вимірюють товщину шарів і візуально оцінюють міцність їх зчеплення між собою та з основою.

Ступінь ущільнення покриття з гарячого та холодного асфальтобетону оцінюють коефіцієнтом ущільнення  $K_y$ , який визначають відношенням щільності відібраних з покриття вирубок чи кернів до щільності переформованого зразка, ущільненого стандартним навантаженням. Нормативні значення коефіцієнту ущільнення асфальтобетону приймають: 0,99 для гарячих щільних сумішей типу А-Д та пористого і високопористого асфальтобетонів; 0,96 – для холодного асфальтобетону. Завершення процесу ущільнення візуально оцінюють по відсутності слідів на покриття від проходу важкого котка.

Під час приймання робіт з улаштування асфальтобетонних покриттів допустимі відхилення від проектних мають бути не більше:

по ширині – 10 см;

по товщині – 10%,

поперечний похил – 5‰,

просвіт під 3-метровою рейкою – 5 мм.

## РОЗДІЛ 4. ОРГАНІЗАЦІЙНА ЧАСТИНА

### 4.1. Основні положення

Проект виконання робіт розроблений у складі:

- календарний графік виконання робіт;
- графік руху робітників;
- будівельний генеральний план;
- календарний графік робіт облаштування будмістечка;
- ТЕП;

Будівництво автомобільної дороги проектується потоковим методом, як найбільш прогресивним при будівництві лінійно-протяжних об'єктів. Загальною задачею організації будівництва є планування робіт на основі графіка будівництва, який враховує ув'язку спеціалізованих потоків в єдиному об'єктному потоці. Кожний спеціалізований потік розвивається на захватках і ділянках, на яких працюють спеціалізовані дорожньо-будівельні загони і бригади оснащені машинами і механізмами для виконання комплексів робіт (простих потоків, що складають спеціалізовані потоки).

Потоковий метод забезпечує рівномірність споживання ресурсів і ритмічність випуску готової продукції. На основі графіка виконання робіт розробляються графік руху робітників, постачання матеріальних ресурсів, будівельних машин, визначаються потреби в тимчасових будівлях, потреби в воді, електроенергії, складах. Розроблення проекту виконання робіт (ПВР) і його застосування сприяє науковій організації робіт на будівництві авто-мобільної дороги, раціональному споживанню ресурсів, скороченню термінів будівництва і поліпшенню якості робіт при зростанні продуктивності праці. В складі ПВР розробляється будівельний генеральний план (будгенплан).

## **4.2. Основні технічні та конструктивні параметри дороги**

Роботи по будівництву автомобільної дороги ведуться в літній період, початок будівництва квітень 2018року.

Траса автомобільної дороги представлена на схемі.

Виконання дорожньо-будівельних робіт повинна виконувати спеціалізована організація, яка має ліцензію на дорожньо-будівельні роботи, і з якою замовник укладає договір на генпідряд. Роботи, які необхідно виконувати, але на які відсутня ліцензія у генпідрядника, повинні бути передані на субпідряд організаціям, які мають право виконувати спеціалізовані роботи і мають на це відповідну ліцензію.

Відповідно до ДБН А.3.1-5-2007 "Організація будівельного виробництва", відношення між підрядником і замовником регламентуються укладеним між ними "Договором генпідряду на будівництво під'їзної автомобільної дороги".

Згідно п.2.2 вищезазначеного ДБН, генеральна підрядна організація повинна бути визначена на основі торгів. Для проведення торгів замовнику необхідно мати проектно-кошторисну документацію.

В зведеному кошторисному розрахунку враховані:

- роботи, які виконуються в літній час без укриття;
- витрати на перевезення робітників на об'єкт робіт;
- пересувний характер робіт;
- а також всі витрати, які визначаються ДБН Д. 1.1-1-2007

З боку проектної організації задача полягає в тому, щоб дати замовнику обсяги виконуваних робіт, їх вартість, і головне, врахувати особливості проєктованого об'єкту. До особливостей можна віднести:

- робота на ділянці лісу, що охороняється;
- робота в зоні житлової забудови.

По кожному з цих факторів є свої особливості:

1. Ділянка роботи по будівництва дороги до початку виконання робіт повинна бути огорожена та оснащена знаками дорожнього руху. Тимчасове

огороження краще всього встановлювати із фундаментних блоків 0,3 x 0,6 x 2,3м, влаштованих один за одним, на відстань добової захватки робіт.

2. При виконанні робіт на ділянці лісу недопустима організація зупинок техніки поза межами відсипаного земляного полотна. Вся техніка повинна бути обладнана засобами пожежегасіння. На вихлопних трубах повинні бути іскрогасники.

3. При виконанні робіт в житловій забудові, окрім наявності засобів пожежегасіння, необхідно звертати увагу на шум техніки. Не допускається робота двигуна з несправними глушником, карбюратором, системою згоряння дизельних двигунів.

Загальний строк будівництва, як для дороги V категорії не регламентується нормами. Враховуючи нескладні інженерно-геологічні умови на всьому протязі ділянки, будівництво планується виконати на протязі 5 місяців.

В цілях планомірного розгортання будівельно - монтажних робіт та забезпечення взаємозв'язаних між собою дій всього будівельного комплексу в підготовчий період треба виконати такі організаційно - технічні заходи, що зможуть забезпечити здійснення будівництва автомобільною дороги директивними темпами. Ця робота повинна бути виконана шляхом проведення загальної організаційно-технічної підготовки, до якої входить розробка ПВР, підготовка будівельних організацій до виконання БМР і інше.

До початку розгортання робіт необхідно забезпечити будівництво проектно-кошторисною документацією, оформити відведення земель в натурі та передати підрядним організаціям закріплені на місцевості знаки геодезичної розбивочної основи.

Повинні бути укладені договори підряду (субпідряду) з різнопрофільними будівельними організаціями на виконання робіт, які передбачаються проектною документацією. В зоні розташування підземних комунікацій роботи слід організувати тільки у присутності повноважних представників тих організацій, які їх експлуатують.

Слід організувати постачання необхідних дорожньо-будівельних матеріалів і конструкцій таким чином, щоб був створений постійний 5-10 денний запас.

Вирішити питання, пов'язані з переселенням осіб, що проживають в будинках індивідуальної забудови та з об'єктами різного господарчого призначення, які підлягають знесенню.

У цей же період на стадії розробки ПВР генпідрядними організаціями повинні бути здійснені заходи для забезпечення будівництва відповідними технологічними картами і схемами будівельних процесів, перебазувати необхідну дорожньо-будівельну техніку в пункти їх використання, виконати роботи по забезпеченню будівельних майданчиків тимчасовими приміщеннями санітарно-побутового, адміністративного і складського призначення для обслуговування кадрів будівельників, інженерно-технічного і робітничого персоналу.

### 4.3. Визначення обсягів дорожньо-будівельних робіт

Зведена відомість обсягів основних видів дорожньо-будівельних робіт

№ п/п	Найменування робіт	одиниця виміру	Обсяг робіт
I	<b><u>Підготовка території будівництва</u></b>		
1	Відновлення траси	км	3,0
2	Звалювання дерев, трелювання хлестів тощо	100 дер.	2,5
3	Корчування, вивезення пнів тощо	100 пнів	2,5
III	<b><u>Штучні споруди</u></b>		
4	Будівництво круглої металевої гофрованої труби ПК2101+94-1 x 1,58	м	52,22
II	<b><u>Земляне полотно</u></b>		
5	Зняття родючого шару ґрунту	1000м <sup>3</sup>	31,32
6	Розробка ґрунту 1 групи бульдозером в бічних резервах з переміщенням в насип на відстань 50 м	1000м <sup>3</sup>	2,47
7	Розробка ґрунту 1 групи екскаватором із навантаженням на автомобілі самоскиди	1000м <sup>3</sup>	86,81
8	Ущільнення ґрунту причіпними котками	1000м <sup>3</sup>	89,28
9	Рекультивация земель	1000м <sup>3</sup>	31,32
10	Планування укосів насипів планувальником	1000м <sup>2</sup>	25,22
11	Укріплення укосів земляного полотна гідрозасівом трав	1000м <sup>2</sup>	25,22
IV	<b><u>Дорожній одяг</u></b>		
12	Улаштування нижнього шару основи із щебенево-піщаної суміші С-5 16 см	100м <sup>3</sup>	115,2
13	Улаштування верхнього шару основи із щебенево-піщаної суміші С-7 12 см	100м <sup>3</sup>	86,4
14	Улаштування верхнього шару покриття із пористої крупнозернистої а/б суміші типу А, товщиною 11,0 см	1000м <sup>2</sup>	66,7
15	Улаштування верхнього шару покриття із щільної дрібно-зернистої а/б суміші типу А, товщиною 9,0 см	1000м <sup>2</sup>	66,7
16	Улаштування верхнього шару покриття із щебенево мастикованої а/б суміші(ЩМА-20), товщиною 7,0 см	1000м <sup>2</sup>	66,7
VI	<b><u>Обстановка та приналежність дороги</u></b>		
17	Установка дорожніх знаків на металевих стояках	100шт	0,25
18	Установка бар'єрного огородження	100м	65,05
19	Розмітка проїзної частини	1км	15,7

#### **4.4. Розрахунок потреби матеріально-технічних ресурсів**

##### **1. Підготовчі роботи**

*1.1. Відновлення осі траси на місцевості.*

Норматив – ШД10-1-5-2

Вимірник – 1 км

Обсяг робіт (в одиницях вимірника) – 3,0.

Склад підрозділу: інженер – 1 чол., технік – 1, дорожній робітник – 2, водій – 1.

*1.2. Звалювання дерев, трелювання хлестів тощо*

Норматив – РЕКН 27-83-1 (прим.)

Вимірник – 100 дерев.

Обсяг робіт (в одиницях вимірника) – 2,5 .

*1.3. Корчування, вивезення пнів тощо*

Норматив – РЕКН 27-83-1 (прим.)

Вимірник – 100 пнів.

Обсяг робіт (в одиницях вимірника) – 2,5.

##### **2. Земляне полотно**

*2.1. Зняття рослинного шару ґрунту на глибину 15 см бульдозерами з переміщенням на відстань до 10 м*

Норматив – РЕКН 1-24-2

Вимірник – 1000 м<sup>3</sup> .

Обсяг робіт (в одиницях вимірника) – 31,32.

*2.2. Розробка ґрунту I групи бульдозером в бічних резервах з переміщенням в насип на відстань 50 м*

Норматив – РЕКН 1-17-13

Вимірник – 1000 м<sup>2</sup> .

Обсяг робіт (в одиницях вимірника) – 2,47.

*2.2. Розробка ґрунту I групи екскаватором із навантаженням на самоскиди*

Норматив – ШД 1-53-1

Вимірник – 1000 м<sup>3</sup> .

Обсяг робіт (в одиницях вимірника) – 86,81.

*2.3. Ущільнення ґрунту земляного полотна самохідними дорожніми котками*

Норматив – ДА 1-7-5

Вимірник – 1000 м<sup>3</sup> .

Обсяг робіт (в одиницях вимірника) – 89,28.

*2.4. Рекультивация земель*

Норматив – РЕКН 1-24-2

Вимірник – 1000 м<sup>3</sup> .

Обсяг робіт (в одиницях вимірника) – 31,32.

*2.5. Планування поверхні земляного полотна автогрейдером*

Норматив – ШД 1-58-3.

Вимірник – 1000 м<sup>2</sup> .

Обсяг робіт (в одиницях вимірника) – 25,22.

*2.5. Укріплення укосів насипу зем.полотна гідрозасівом багаторічних трав.*

Норматив – РЕКН 1-152-2.

Вимірник – 100 м<sup>2</sup> .

Обсяг робіт (в одиницях вимірника) – 25,22.

### **3. Дорожній одяг**

*3.1. Улаштування нижнього шару основи із щебенево-піщаної суміші С-5 товщиною 16 см*

Норматив – РЕКН 27-53-3, 27-54-3

Вимірник – 1000 м<sup>2</sup> .

Обсяг робіт (в одиницях вимірника) – 115,2.

*3.2. Улаштування верхнього шару основи із щебенево-піщаної суміші С-7 товщиною 12 см*

Норматив – РЕКН 27-53-3, 27-54-3

Вимірник – 1000 м<sup>2</sup> .

Обсяг робіт (в одиницях вимірника) – 86,4.

*3.3. Улаштування верхнього шару покриття з гарячої пористої крупнозернистої асфальтобетонної суміші товщиною 11,0 см*

Норматив – РЕКН 27-53-4, 27-54-4

Вимірник – 1000 м<sup>2</sup> .

Обсяг робіт (в одиницях вимірника) – 66,7.

*3.4. Улаштування верхнього шару покриття з гарячої щільної дрібнозернистої асфальтобетонної суміші товщиною 9,0 см*

Норматив – РЕКН 27-53-1, 27-54-1

Вимірник – 1000 м<sup>2</sup> .

Обсяг робіт (в одиницях вимірника) – 66,7.

*3.5. Улаштування верхнього шару покриття з гарячої щебенево-мастичної суміші товщиною 7,0 см*

Норматив – РЕКН 27-53-7, 27-54-7

Вимірник – 1000 м<sup>2</sup> .

Обсяг робіт (в одиницях вимірника) – 66,7.

*3.6. Укріплення узбіч на ширину 1,5 м розсіпом фракційованого щебеню із заклинкою товщиною 10 см*

Норматив – ШД 1-23-1

Вимірник – 1000 м<sup>2</sup> .

Обсяг робіт (в одиницях вимірника) – 9,0.

#### **4. Обстановка дороги та приналежність дороги**

##### *4.1. Установка дорожніх знаків на металевих стійках*

Норматив – РЕКН 27-83-1

Вимірник – 100знаків.

Обсяг робіт (в одиницях вимірника) – 0,25.

##### *4.2. Влаштування бар'єрного огородження*

Норматив – РЕКН 27-65-1

Вимірник – 100 м.

Обсяг робіт (в одиницях вимірника) – 65,05.

##### *4.3. Влаштування дорожньої розмітки*

Норматив – РЕКН 27-65-1,4

Вимірник – 1 км.

Обсяг робіт (в одиницях вимірника) – 15,7.

Для визначення потреби матеріально-технічних і трудових ресурсів під час капітального ремонту використовуємо локальний кошторисний розрахунок, який наведено в розділі 6.

Зведена потреба в матеріально-технічних і трудових ресурсів наведена в табл. 2 – 4.

Таблиця 2 – Зведена відомість потреби робочих кадрів

Назва персоналу	Потреба в робочих та ІТП, людей				
	Всього	У тому числі			
		підготовчі роботи	земляне полотно	дорожній одяг	облаштування дороги
Дорожні робочі	29	4	4	16	5
Майстри	11	2	2	4	3
Виконроби	6	2	1	2	1
Механізатори	27		6	18	3
<b>Всього</b>	<b>73</b>	<b>8</b>	<b>13</b>	<b>40</b>	<b>12</b>

Таблиця 3 – Зведена відомість потреби дорожньо-будівельних матеріалів

Назва матеріалу	Од. вим.	Потреба в матеріалах			
		Всього	У тому числі		
			підготовчі роботи	дорожній одяг	облаштування дороги
Цемент	т	454,2		454,2	
Вода	м <sup>3</sup>	501,8		201,8	
Щебінь чорний фр. 10-20 мм	м <sup>3</sup>	280,5		280,5	
Щебінь чорний фр. 20-40 мм	м <sup>3</sup>	3978,0		3978,0	
Асфальтобетон дрібнозернистий	т	3080,4		3080,4	
Стійки металеві	шт.	20			20
Щити дорожніх знаків	шт.	20			20
Збірні з/б конструкції	м <sup>3</sup>	2,4			2,4
Емаль ПФ-133	т	0,3			0,3

Таблиця 4 – Зведена відомість потреби дорожньо-будівельних машин

Назва персоналу	Потреба в машинах, шт.				
	Всього	У тому числі			
		підготовчі роботи	земляне полотно	дорожній одяг	облаштування дороги
Автогудронатор	2			2	
Автомобіль бортовий	3	1		1	1
Автосамоскид КрАЗ 65055	8		2	5	1
Асфальтоукладальник Vögele Super 1800	1			1	
Екскаватор-планувальник	1		1		
Коток самохідний вібраційний BOMAG BW 151	3			3	
Коток самохідний вібраційний BOMAG BW 190	4			4	
Коток самохідний пневматичний BOMAG BW 16R	2			2	
Коток самохідний вібраційний BOMAG BW 202	2			2	
Кран автомобільний	1				1
Машина бурильна	1				1
Машина поливомийна	3		1	2	
Машина для гідрозасіву трав	1		1		
Машина маркувальна	1				1
Розподільник щебеню	3			3	

#### **4.5. Проектування генплан будівельного містечка**

Будівельний генеральний план розроблений на період облаштування будівельного містечка для розміщення будівельного персоналу і техніки під час виконання робіт на будівництві автомобільної дороги.

Вихідними даними є:

- календарний графік будівництва ;
- графік руху робітників ;
- робочі креслення ;
- відомість потреби в матеріально-технічних ресурсах ;
- дані про джерела забезпечення будмайданчика водою, електроенергією;
- нормативно-довідкова література.

Будгенплан розроблений із умов здійснення будівництва на неосвоєній території, що ускладнює можливості в постачанні води і електроенергії на період будівництва.

На будгенплані відображено розміщення тимчасових будинків адміністративного, побутового, санітарно-гігієнічного призначення та інших об'єктів, що забезпечують потреби людей зайнятих на будівництві, створюючи необхідні умови для підготовки до роботи, а також побутові та санітарно-гігієнічні умови відпочинку у не робочий час. У будмістечку також розміщується контора начальника дільниці, виконробів і майстрів.

Електропостачання будмайданчика здійснюється від пересувної тимчасової електростанції типу ПЕС-10. Від електростанції запроектована тимчасова електрична мережа 380/220 В. Освітлення майданчика запроектовано освітлювачами типу «Універсал-2» на опорах розміщених по його периметру. Водопостачання будівництва здійснюється цистернами місткістю 8 м<sup>3</sup> привозною водою. Пожежогасіння забезпечується пожежним інвентарем, піском та наявною водою в цистернах.

Потреба у тимчасових адміністративно-побутових приміщеннях забезпечується запроектованими інвентарними будівлями пересувного і контейнерного типу.

Для стоянки в не робочий час дорожньо-будівельних машин запроектований майданчик вимощений щебенем.

Територія будмістечка огорожується тимчасовим парканом із стовпців та дошок на висоту 2 м.

Всі рішення будгенплану прийняті на підставі проведених розрахунків із забезпеченням протипожежної безпеки і охорони праці відповідно до ДБН А.3.2-2-2009 «Охорона праці і промислова безпека в будівництві».

### ***1. Тимчасові будівлі і споруди.***

Потреба будівництва в тимчасових будівлях адміністративного, санітарно-побутового та господарського призначення визначається виходячи із чисельності робітників у найбільш напружену зміну.

Кількість робітників у ланці по влаштуванню водоперепускних труб складає  $N_p = 10$  чоловік, що становить 80,2 % від загальної кількості працюючих при лінійному будівництві.

Кількість інженерно-технічних працівників (ІПТ), службовців та обслуговуючого персоналу  $N^*$  становить 19,8 % від загальної кількості працюючих, тобто:

$$N^* = N_p \times 19,8 / 80,2 = 10 \times 19,8 / 80,2 = 2,5 \text{ чол.} \approx 3 \text{ чол.};$$

Розрахунок площі інвентарних приміщень ведемо за формулою

$$S_{\text{пот}} = S_n \times N$$

де:  $S_n$  – нормативний показник площі на одну людину, м<sup>2</sup>/чол.;

$N$  – розрахункова кількість працюючих чи окремих категорій, чол.

Розрахунок тимчасових інвентарних приміщень виконуємо у табл. 7.1.

## 2. Тимчасове водозабезпечення.

Загальні потреби у воді для виконання будівельно-монтажних робіт:

$$Q_{\Pi} = Q_{\text{вир}} + Q_{\text{гп}} + q_{\text{пож}}$$

де  $Q_{\text{вир}}$  – витрати води на виробничі потреби

$$Q_{\text{вир}} = 1,2 \times Q_{\text{зм}} \times k_1,$$

де: 1,2 – коефіцієнт на невраховані витрати води в мережі;

$Q_{\text{зм}}$  – середні виробничі витрати води в зміну, л;

$k_1$  – коефіцієнт нерівномірності споживання води,  $k_1 = 1,5$ ;

$$Q_{\text{вир}} = 1,2 \times 1300 \times 1,5 = 2340 \text{ л/зміну}$$

$Q_{\text{гп}}$  – витрати води на господарсько-побутові потреби

$$Q_{\text{вир}} = q_{\text{зм}} \times n \times k_2,$$

де:  $q_{\text{зм}}$  – питомі витрати води на одного робітника за зміну,  $q_{\text{зм}} = 15$  л/чол;

$n$  – кількість працюючих в найбільш завантажену зміну,  $n = 10$  чол.;

$k_2$  – коефіцієнт нерівномірності споживання води,  $k_2 = 3$ ;

$$Q_{\text{вир}} = 15 \times 10 \times 3 = 450 \text{ л/зміну}$$

$q_{\text{пож}}$  – витрати води на пожежегасіння,  $q_{\text{пож}} = 0$  (об'єкт будівництва відноситься до пожежобезпечних робіт).

$$Q_{\Pi} = 2340 + 450 = 2790 \text{ л/зміну.}$$

Оскільки роботи по влаштуванню штучної споруди ведуться в польових умовах, тому вода на будівельний майданчик завозиться і зберігається у цистернах по 3000 л. окремо для виробничих потреб та окремо для господарсько-побутових потреб.

### 3. Тимчасове електрозабезпечення.

Розрахунок тимчасового електрозабезпечення для виконання БМР визначається за нормами та встановленою потужністю електроприймачів і коефіцієнта попиту з диференціацією за видом споживачів, кВт:

$$P_p = \alpha \left[ \sum \frac{P_c \cdot k_1}{\cos \varphi} + \sum \frac{P_T \cdot k_2}{\cos \varphi} + \sum P_{o.v.} \cdot k_3 + \sum P_{o.z.} \right]$$

де:  $\alpha$  – коефіцієнт, що враховує витрати електроенергії в мережі;

$P_c$ ;  $P_T$ ;  $P_{o.v.}$ ;  $P_{o.z.}$ ; – потужність споживачів відповідно силових на техно-логічні потреби та освітлення внутрішнє і зовнішнє, кВт.

$k_1$ ;  $k_2$ ;  $k_3$ ; – коефіцієнти попиту, що залежать від кількості споживачів;

$\cos \varphi$  – коефіцієнт потужності, що залежить від кількості та завантаження силових споживачів.

Розрахунок споживаної електроенергії ведемо в таблиці .

Таблиця 11.

№	Споживачі електроенергії	Обсяг робіт або к-ть од.	Питома потужність на од., кВт	Загальні витрати, кВт
<b>Силові установки</b>				
1	Установка зварювальна УДЗ-101-УЕ	2	7,5	15
<b>Технологічні потреби</b>				
2	відсутні	-		-
<b>Освітлення</b>				
3	а) зовнішнє	750	0,0015	1,1
	б) внутрішнє			
	– побутові приміщення	45	0,015	0,7
	– склад	24,6	0,005	0,2

$$P_p = 1,05 ( 15 \times 0,35 / 0,4 + 0,9 \times 0,8 + 1,1 ) = 15 \text{ кВт}$$

Приймаємо для забезпечення потреб будівництва електроенергією пересувну електростанцію ПЕС-60 потужністю 48 кВт.

Кількість прожекторів для освітлення будівельного майданчика:

$$\Pi = \rho \times E \times S / P_{\text{л}}$$

де:  $\rho$  – питома потужність,  $\rho=0,3$ ;

$E$  – освітлення, лк;

$S$  – площа майданчика, що підлягає освітленню, м<sup>2</sup>;

$P_{\text{л}}$  – потужність лампи прожектора;  $P_{\text{л}}=500$  Вт.

$$\Pi = 0,3 \times 5 \times 1500 / 500 = 4,5$$

Приймаємо для освітлення 4 прожектора ПЗС-35, які розміщуємо по кутках будівельного майданчика.

#### 4.7. Техніко-економічна оцінка прийнятих рішень

1. Довжина ділянки дороги

$$L = 3,0 \text{ км.}$$

2. Витрати праці на ремонт ділянки дороги вцілому (за календарним графіком)

$$N = 10672 \text{ люд-дні.}$$

3. Витрати праці на ремонт 1-го км дороги

$$N^* = N / L = 10672 / 3,0 = 3557 \text{ люд-дні.}$$

4. Тривалість будівництва дороги

$$T = 100 \text{ днів.}$$

5. Максимальна кількість робітників (згідно календарного плану)

$$P_{\text{max}} = 170 \text{ чол.}$$

6. Середня кількість робітників

$$P_{\text{ср}} = 10672 / 100 = 112 \text{ чол.}$$

7. Коефіцієнт нерівномірності руху робітників

$$K_{\text{нр}} = 170 / 112 = 1.52$$

## **РОЗДІЛ 5. ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ**

### **5.1. Основні положення з техніки безпеки при виконанні робіт**

#### **5.1.1. Вимоги безпеки під час виконання будівельних робіт**

1. Будівництво автомобільних доріг повинно проводитися відповідно до вимог ДБН В.2.3-4:2015. "Автомобільні дороги" (далі - ДБН В.2.3-4:2015).

2. Під час використання фрез для розпушування ґрунту потрібно дотримуватися таких вимог:

перед початком роботи фрези ділянку, на якій виконуються роботи, ретельно очистити від каменів, пеньків, коренів тощо;

опускати навісне устаткування в робоче положення та підіймати його для транспортування дозволяється тільки після зупинки;

не дозволяється перебувати біля фрези у разі, якщо кожух відкритий.

3. Земляні роботи під час спорудження земляного полотна виконують відповідно до затвердженого ПВР, а також технологічних карт з урахуванням нормативних вимог ДБН А.3.2-2-2009.

4. Перед початком спорудження земляного полотна потрібно забезпечити відведення поверхневих вод відповідно до ПВР.

5. Спорудження земляного полотна дороги у виїмці виконується з улаштуванням узбіччя з кутом природного укосу ґрунту або з установкою шпунтової огорожі.

6. Під час руху автосамоскида заднім ходом до місця навантажування та розвантажування ґрунту повинні подаватися короткі звукові сигнали.

7. Під час розвантаження ґрунту з автомобіля-самоскида в насип відстань від осі його заднього колеса до брівки природного укосу насипу повинна бути не менше ніж 2 м, а відстань від брівки до зовнішнього колеса машини, що рухається по насипу, не менше ніж 1 м.

8. Під час розвантаження ґрунту працівники повинні перебувати в зоні видимості водія, але не ближче 5 м до місця відсипки ґрунту.

9. Укоси повинні бути забезпечені дерев'яними трапами з поручнями. Не дозволяється виконувати укріплювальні роботи на вологій або мерзлій поверхні укосу.

10. Укріплювальні роботи на укосах з ухилом понад 45° здійснюються під наглядом уповноваженої особи, а працівники повинні забезпечуватися запобіжними поясами.

11. Під час планування укосів, які виконуються екскаватором-планувальником, працівникам не дозволяється перебувати в зоні дії машини, нижче по укосу біля підшви по фронту робіт плюс 15 м по обидва боки.

12. Під час виконання робіт на насипах і виїмках установлюють постійний нагляд за станом укосів і у разі деформації чи зсуву негайно вживають заходів з виведення працівників із небезпечної зони та ліквідації деформації укосу.

13. Вимощувати укоси плитами, які не анкетуються, або вкладати камінь у плетені клітки дозволяється тільки знизу нагору, тобто від підшви укосу та після влаштування упору (берми).

14. Під час зміцнення укосів земляного полотна посівом трав не дозволяється стороннім особам перебувати в зоні дії гідромонітору.

### **5.1.2. Вимоги безпеки під час улаштування дорожнього покриття**

1. Для улаштування дорожнього покриття повинні застосовуватися механізми та технологічні процеси, які обмежують безпосередній контакт дорожніх працівників із токсичними в'язучими матеріалами.

2. До початку робіт з влаштування дорожніх покриттів необхідно:

- дільницю виконання робіт обладнати засобами організації дорожнього руху відповідно до вимог ДСТУ 4100-2002;
- установити безпечну зону для працівників;
- скласти та затвердити схему заїзду, а також виїзду автомобілів із зони робіт.

Знаки дорожнього руху встановлює підприємство, що виконує ці роботи.

3. У темний час доби місця виконання робіт потрібно освітити відповідно ДБН В.2.5-28-2006.

4. Виконання робіт дорожніми машинами, що рухаються під час технологічного процесу, здійснюється таким чином:

- не дозволяється під'їжджати до брівки укосу насипу ближче ніж 1,0 м під час укладання розподільником щебеню та висівок в основу дорожнього покриття;
- якщо розподільник щебеню прикріплений до автомобіля-самоскида, то автомобіль повинен рухатися заднім ходом за сигналами працівника, що перебуває біля розподільника;
- не дозволяється працівникам під час роботи розподільника щебеню перебувати у його бункері.

5. Працівники повинні перебувати з навітряної сторони від машин, що працюють, під час влаштування дорожнього покриття.

6. Працівникам під час виконання робіт розподільником і ґрунтозмішувальною машиною не дозволяється:

- підтягати болти на включених вібраторах;
- ставати на вібробрус або транспортерні стрічки та інші робочі органи;
- регулювати натяг ременів вібратора або ремонтувати їх під час роботи;
- заправляти ґрунтозмішувальну машину водою на ходу;
- прочищати форсунки під час її роботи.

7. Очищати ротор і міняти лопатки дозволяється тільки після зупинки ротора та двигуна машини, а також постановки на інвентарні підкладки.

8. Під час укладки асфальтобітумної суміші необхідно дотримуватися таких вимог безпеки:

- подавати автомобіль-самоскид на розвантаження тільки по сигналу машиніста асфальтоукладача;
- перед початком руху автомобіля заднім ходом водій зобов'язаний подати звуковий сигнал;
- під час розвантаження суміші з автомобіля в бункер працівники повинні перебувати не ближче ніж 1 м.

9. Для відкриття заднього борту автомобіля-самоскида під час розвантаження асфальтобетонної суміші в бункер асфальтоукладача необхідно застосовувати спеціальний металевий гачок.

10. Не дозволяється під час сильного туману та недостатньої видимості завантажувати асфальтобетонну суміш з автомобіля у бункер асфальтоукладача.

11. Для очищення кузова автомобіля-самоскида від залишків асфальтобетонної суміші необхідно застосовувати спеціальні скребки або лопати з ручкою довжиною не менше ніж 2 м, при цьому працівник повинен стояти на землі.

12. Під час роботи асфальтоукладачів і котків не дозволяється:

- перебувати стороннім особам у зоні їх роботи;
- регулювати роботу ущільнюючих механізмів;
- залишати асфальтоукладачі і котки без нагляду з двигуном, що працює;
- ремонтувати шнеки, живильники та інші механізми.

13. Під час руху асфальтоукладача не дозволяється очищати від суміші крила прийомного бункера.

14. У разі укладання асфальтобетонної суміші з поверхнево-активними речовинами та активаторами потрібно користуватися герметичними окулярами та універсальними респіраторами.

15. Бачки для перенесення гарячого бітуму повинні бути конусоподібної форми, звуженими зверху, обладнані кришками з запірними пристроями та держачками для перенесення їх двома працівниками. Бачок повинен заповнюватися на 3/4 його об'єму.

16. Тачки, що застосовуються для перевезення асфальтобетонної суміші, повинні бути обладнані двома ніжками, а носилки для перенесення гарячого асфальту повинні бути обладнані бортами з трьох боків.

17. Жаровні для підігріву валиків, гладилок, грабелів, бітуму, лопат тощо повинні легко пересуватися на колесах. Не дозволяється в топках жаровні застосовувати рідке паливо.

18. Жаровні влаштовують на узбіччях на відстані, безпечній як для дорожніх працівників, так і для пішоходів і транспорту.

19. Машиніст бетоноукладача повинен перебувати на своєму робочому місці (майданчику управління) до зупинки двигуна та постановки важелів управління в нейтральне положення.

20. Під час виявлення несправності вузлів бетоноукладача або розриву шлангів гідроприводу потрібно негайно зупинитися, тиск у системі зняти та місце розриву заглушити.

21. Під час укладання бетону рейко-форми повинні бути закріплені повним комплектом стандартних штирів. Не дозволяється застосовувати штирі, діаметр яких менше на 10 % від отворів у підшві рейко-форм і довжиною менше 0,8 м.

22. Перед укладанням бетонної суміші стійкість рейко-форм необхідно перевіряти пробним проїздом бетоноукладача із завантаженим бункером. Особливо ретельно перевіряється кріплення рейко-форми в стиках.

23. Не дозволяється під час роботи бетоноукладача ставати на вібробрус і обробний брус, класти на них інструмент, а також очищати бункер.

24. Для запобігання самовільному руху бетоноукладача під час зупинки на похилих ділянках необхідно встановити на рейко-форми гальмові башмаки.

25. Рухатися автомобілям-самоскидам у зоні укладання цементобетонної суміші дозволяється тільки за сигналом приймача суміші.

26. Під час укладання бетонної суміші бетоноукладачем із ковзаючими формами сторонні особи повинні перебувати на відстані не менше 5 м від нього.

27. Під час виконання робіт бетоноукладачем з копіювальними струнами їх закріплюють в натяжних лебідках. Працівники, які натягують струни, повинні застосовувати рукавиці.

28. Очищати робочі органи бетоноукладача дозволяється тільки після повної зупинки двигуна. Працівник, зайнятий на встановленні штирів у поздовжніх швах покриття, не повинен залишати своє робоче місце до повної зупинки двигуна бетоноукладача.

29. Працівник, який обробляє шви вручну, повинен користуватися гумовими рукавицями.

30. Під час продувки деформаційних швів стиснутим повітрям від компресора працівники повинні застосовувати захисні окуляри та респіратор.

31. Машиніст наріжчика деформаційних швів у затверділому бетоні повинен користуватися захисними окулярами. Ізлучні диски повинні бути зафіксовані та надійно закріплені на валу і закриті кожухом.

32. Кожний ріжучий диск повинен бути встановлений вертикально, без перекосів від заклинювання та руйнування під час різання.

33. Під час роботи відстань між машинами комплексу повинна бути не менше ніж 10 м. Не дозволяється розподіляти суміш під час розвантаження її з кузова автомобіля.

34. Для установки бортових каменів у проектне положення повинні застосовуватися механізми, які обладнані спеціальними захватами.

Роботи з укладання та розбирання бортових каменів повинні виконуватися під наглядом майстра. Не дозволяється вручну навантажувати та розвантажувати бортові камені.

35. Переносити (переміщати) вручну бортові камені повинні чотири працівника одночасно з використанням спеціальних кліщів, якщо навантаження на кожного з працівників не перевищує 50 кг. Не дозволяється за допомогою крюків вручну переміщати бортові камені волоком.

36. Бортові камені, які встановлюються на бетонну основу, потрібно вклати на цементний розчин.

37. Бортові камені необхідно трамбувати по дерев'яній прокладці, яку тримають на камені спеціальними кліщами.

### **5.1.3. Вимоги безпеки під час розмітки проїзної частини**

1. Під час нанесення ліній безпеки та розподільних смуг на покриття проїзної частини автомобільних доріг необхідно дотримуватися вимог ДБН В.2.3-4:2015.

2. Місце роботи обладнують технічними засобами організації дорожнього руху відповідно до вимог ДСТУ 4100-2002.

3. Маркірувальні машини до місця виконання розмітки повинні переміщатися під час перерв у русі транспорту.

4. Під час нанесення розмітки термопластиком із використанням маркірувальних машин потрібно виконувати такі вимоги:

- не допускати перегріву маркірувальної машини, стежачи за температурою термопластика в котлі, користуючись термopарою або градусником;
- під час відкриття кришки котла працівник зобов'язаний користуватися брезентовими рукавицями;
- працівник зобов'язаний стежити за правильною роботою газових пальників за допомогою показників манометра на редукторі газового балона;
- не дозволяється під час дощу використовувати газові пальники;
- у разі витоку газу із системи подачу його негайно припиняють;
- не дозволяється заправляти горючими матеріалами (бензином тощо) під час роботи двигуна та запалених пальників;
- не дозволяється під час буксування підігрівати термопластичну масу;
- під час завантажування в гарячий котел холодний пластмасовий матеріал працівник повинен перебувати збоку від котла.

5. Під час нанесення розмітки нітрофарбою на дорожнє покриття працівники повинні бути в комбінезонах, гумових рукавицях, захисних окулярах і респіраторах.

6. У місцях виконання робіт повинна бути аптечка для надання першої медичної допомоги.

#### **5.1.4. Вимоги безпеки під час реконструкції та ремонтних робіт**

1. Проектом організації будівництва повинен бути передбачений двосмуговий або односмуговий об'їзд ділянки дороги, що ремонтується або реконструюється.

2. Огородження місць проведення робіт і розміщення дорожніх знаків повинно відповідати вимогам ДСТУ 4100-2002.

3. Перед початком виконання робіт працівники та машиністи дорожніх машин повинні ознайомитися із сигналізацією, що застосовується або подається жестами та прапорцями, а також з порядком руху та маневрування дорожніх машин і транспортних засобів, місцями розвороту, в'їздами, місцями складування матеріалів і схову інвентарю.

4. Під час виконання дорожніх робіт у межах смуги дороги, по якій не припиняється рух, працівники зобов'язані одягати жилети яскраво-помаранчевого кольору.

5. Під час ремонту мостів (шляхопроводів) працівники повинні носити каски. Не дозволяється перебувати під мостом або шляхопроводом без касок.

6. Дорожні машини та устаткування після закінчення денної зміни повинні бути встановлені на майданчик відстою за межами земляного полотна.

Машини бетоноукладального комплексу, асфальтоукладачі та інші нетранспортабельні машини, що залишаються на ніч на проїзній частині, повинні бути огорожені з обох боків інвентарним бар'єрним огородженням з сигнальними ліхтарями, які вмикають із настанням недостатньої видимості.

Бар'єри влаштовуються перед машинами на відстані не менше ніж 10 м.

7. У разі необхідності маневру дорожніх машин на проїзній частині під час ремонту дороги потрібно виставляти регулювальників руху за межами робочої зони або на узбіччі із червоними прапорцями та гучномовним зв'язком (мегафоном).

8. Швидкість руху дорожніх машин і механічних засобів у робочій зоні не повинна перевищувати 5 км/год.

### **5.1.5. Вимоги безпеки під час ремонту дорожнього покриття**

1. Під час ремонту покриття із застосуванням пересувної авторемонтної машини потрібно дотримуватися таких вимог:

- після навантаження асфальтобетонної суміші завантажувальний люк бункера має бути зачинений;
- пересувна електростанція повинна бути встановлена так, щоб не перешкоджала пересуванню працівників.

Електростанція повинна заземлюватися відповідно до вимог Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів, затверджених наказом Комітету по нагляду за охороною праці Міністерства праці та соціальної політики України від 09.01.98 N 4, зареєстрованих у Міністерстві юстиції України 10.02.98 за N 93/2533 (НПАОП 40.1-1.21-98).

2. Під час застосування авторемонтних машин, що обладнані пневматичним інструментом, котлами для підігрівання бітуму та мішалками для виготовлення асфальтобетонної суміші, необхідно стежити щоб біля розвантажувального отвору мішалки не було працівників.

3. Під час використання відбійного молотка потрібно:

- стежити за тим, щоб буртик піки завжди був притиснутий до букси;
- не заглиблювати піку в дорожнє покриття до упора кінцевої пружини;
- для відокремлення пікою вирубаних шматків дорожнього покриття вимкнути відбійний молоток.

4. Під час вирубання дорожніх покриттів із застосуванням кувалд, зубил, клинів і сокир інтервал між працівниками повинен бути не менше ніж 4 м, або між працівниками повинні бути встановлені захисні екрани.

5. Під час застосування пересувних бітумних котлів потрібно дотримуватися таких вимог:

- котел потрібно установити на узбіччі на відстані не менше ніж 50 м від місця проведення робіт з підвітряної сторони;

- завантажувати котел потрібно поступово та не вкидати шматки бітуму в підігріту масу;
- не дозволяється завантажувати котел понад 3/4 його місткості;
- якщо бітум спінюється і переливається через край котла, то потрібно загасити пальник або залити топку водою (у разі розігріву твердим паливом);
- якщо бітум у котлі спалахнув, потрібно щільно закрити кришку.

Під час ямкового ремонту потрібно набирати бітум із котла черпаками з держакон довшиною не менше ніж 1 м, наповнюючи ківш на 3/4 його місткості. Місткість ручних поливальниць не повинна перевищувати 10 - 12 л.

6. Не дозволяється проводити роботи гарячим в'язучим з відкритих посудин або з посудин, які не щільно закриваються.

7. Переносити асфальтобетонну суміш лопатами вручну дозволяється на відстань, що не перевищує 8 м.

Для перенесення асфальтобетонної суміші на більшу відстань необхідно користуватися носилками з бортами з трьох боків або легкими тачками з перекиданням наперед.

8. Під час ремонту дорожнього покриття із застосуванням інфрачервоного випромінювання потрібно виконувати такі вимоги:

- на місці роботи розігріву повинен бути пінний вогнегасник типу ПВ-5 і запас піску;
- запалювати форсунку дозволяється тільки факелом, просоченим гасом, з довжиною ручки не менше 0,6 м;
- під час розпалювання пальників не дозволяється перебувати працівникам та стороннім особам перед зонтом розігрівача з того боку, де є вихід полум'я;
- перед опусканням робочого органу розігрівача на місце розігріву асфальту та під час його роботи дорожні працівники повинні перебувати на відстані не менше ніж 5 м від нього;
- стежити щоб тиск у паливному баку не перевищував 0,2 МПа;
- не дозволяється експлуатувати розігрівач із паливною арматурою, що підтікає.

9. Під час використання розігрівачів на газу з пальниками кругового типу потрібно дотримуватися таких вимог:

- після відкриття вентилів на балонах і газовитратній колонці потрібно стежити за манометрами та переконатися в наявності середнього (0,16 МПа) та нижнього (0,002-0,0035 МПа) тиску;
- працівник повинен перебувати з підвітряного боку під час запалення пальника та випромінювача;
- не дозволяються проскакування та вібрації полум'я в пальниках під час розігріву випромінювачів;
- під час виявлення несправностей (витік газу, нерівномірність роботи пальників тощо) потрібно припинити подачу газу до пальників і перекрити вентиль.

10. Під час експлуатації розігрівачів не дозволяється:

- залишати без нагляду пальники, що працюють;
- працювати під час просочування полум'я на форсунку;
- тримати поблизу розігрівача легкозаймисті матеріали;
- ліквідувати несправності та проводити регулювання під час роботи розігрівача.

11. У разі виникнення пожежі на розігрівачі потрібно негайно перекрити магістральний і балонний вентилялі.

## 5.2. Інженерні рішення з техніки безпеки

### Задача 1

Побудувати криву рівномічного укосу для призначення крутизни укосу виїмки в ґрунті.

Вихідні дані:

- висота укосу  $H = 10$  м;
- щільність ґрунту  $\gamma = 1,4$  т/м<sup>3</sup> ;
- сила зчеплення ґрунту на розрив  $c = 1,5$  т/м<sup>2</sup> ;
- кут природного відкосу  $\varphi = 20^\circ$

Розв'язання

Побудову кривої рівномічного укосу виконуємо за допомогою наближеного методу проф. М. Маслова.

Передумови розрахунку:

1. Кут стійкості укосу будь-якої гірської породи  $a$  є кутом її опору зсуву ( $\psi_p$ );
2. Критичні напруження в товщі визначаються рівністю двох головних напружень, що дорівнюють масі стовпа ґрунту висотою, яка рівна глибині занурення точки від вертикальної поверхні ґрунту.

Коефіцієнт зсуву  $F_p$  являється тангенсом кута зсуву  $\psi_{pz}$ , тобто

$$F_p = \operatorname{tg} \psi_{pz}$$

або

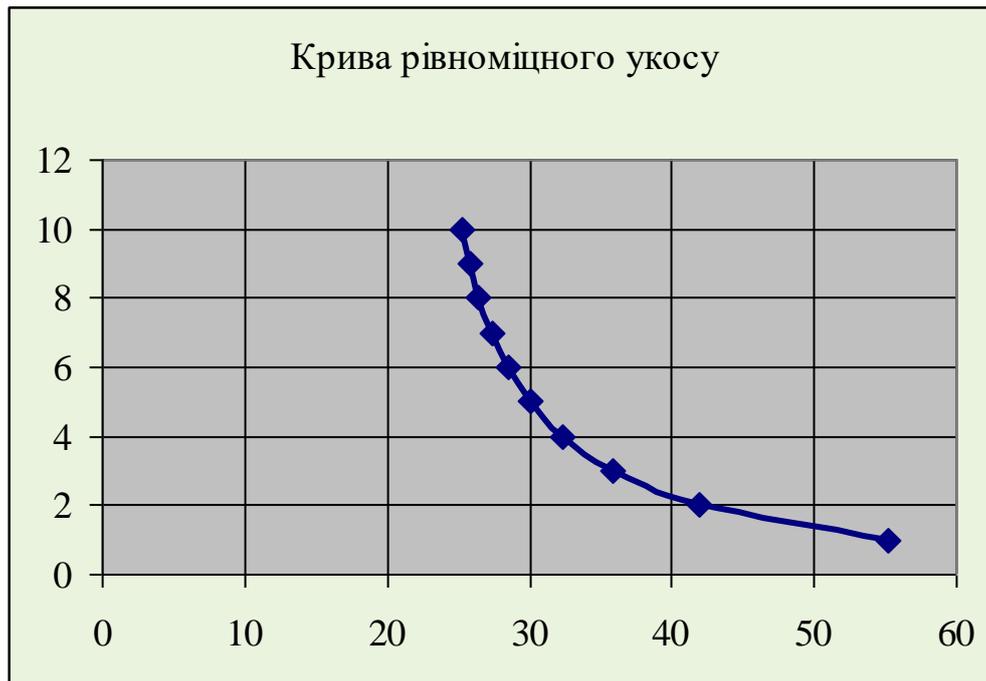
$$F_p = \operatorname{tg} \varphi_\omega + C_\omega / p$$

де  $p$  – вертикальна рівномірно розподілене навантаження від споруди, кг/см<sup>2</sup>

Задаємося різними значеннями величини глибина занурення розрахункової точки  $z = 1, 2, 4, 6, 8, 10$  м і визначаємо для них кут стійкості укосу  $a_z$  – при різному навантаженні  $p = \gamma \times z$

Розрахунок проводимо в табличній формі, за результатами якого будуємо графік кривої рівномічного укосу:

$z,$ м	$\gamma,$ т/м <sup>3</sup>	$p = \gamma \times z,$ т/м <sup>2</sup>	$\text{tg } \varphi_{\omega}$	$C_{\omega},$ т/м <sup>2</sup>	$C_{\omega}/p$	$F_p = \text{tg}\varphi_{\omega} + C_{\omega}/p =$ $= \text{tg}\psi_{pz}$	$\alpha_z = \psi_{pz}$
1	1,4	1,4	0,364	1,5	1,071	1,435	55
2	1,4	2,8	0,364	1,5	0,536	0,900	42
4	1,4	5,6	0,364	1,5	0,268	0,632	32
6	1,4	8,4	0,364	1,5	0,179	0,543	28
8	1,4	11,2	0,364	1,5	0,134	0,498	26
10	1,4	14	0,364	1,5	0,107	0,471	25



## Задача 2

Розрахувати віброзахист сидіння самохідної будівельної дорожньої машини. Джерелом порушення коливань робочого місця машини є коливання підвіски машини, на яких встановлено сидіння. З метою спрощення перевірного розрахунку приймаємо коливання, що змінюються за гармонічним законом. Маса підресореної частини сидіння  $m=16,5$  кг; маса водія  $m_d=80$  кг; коефіцієнт жорсткості  $c=6000$ , Н/м; коефіцієнт опору  $b=8000$ , Н/м; частота  $f=4$ , Гц; швидкість підвіски  $dy/dt=0,135$ .

### Розв'язання

- 1) маса водія, яка припадає на сидіння;

$$M_a=80 \cdot 5/7=57 \text{ кг};$$

- 2) Маса підресорної частини сидіння із водієм;

$$m=m_c+M_a=16.5+57=73.5 \text{ кг};$$

- 3) Власна кутова частота системи віброізоляції без демпфування;

$$\omega_c = \sqrt{\frac{C}{m}} = \sqrt{\frac{6000}{73.5}} = 9.0c^{-1};$$

- 4) Відносне демпфування;

$$\beta = \frac{b}{2\sqrt{cm}} = \frac{8000}{2\sqrt{6000 \cdot 73.5}} = 6.02;$$

- 5) Кутова частота гармонічного збудження;

$$\omega = 2\pi f = 2 \cdot 3.14 \cdot 4 = 25.12c^{-1};$$

- 6) Частотне відношення;

$$\eta = \frac{\omega}{\omega_c} = \frac{25.12}{9} = 2.79;$$

- 7) Відносний коефіцієнт передачі при ізоляції;

$$\mu_B(\omega/\omega_c) = \frac{2.79^2}{\sqrt{[1 - 2.79^2]^2 + [2 \cdot 6.02 \cdot 2.79]^2}} = 0.22$$

8) Абсолютний коефіцієнт передачі при ізоляції;

$$\mu_n(\omega/\omega_c) = \sqrt{\frac{1 + (2 * 6.02 * 2.79)^2}{[1 - 2.79^2]^2 + [2 * 6.02 * 2.79]^2}} = 0.98;$$

9) Коефіцієнт ефективності при ізоляції;

$$K_{ef} = \frac{1}{\mu_n} = \frac{1}{0.98} = 1.02;$$

10) Абсолютна швидкість сидіння;

$$v_a = \mu_n \frac{dy}{dt} = 0.98 * 0.135 = 0.132 \text{ м/с};$$

11) Абсолютне прискорення сидіння;

$$a_a = \mu_n \omega \frac{dy}{dt} = 0.98 * 25.12 * 0.135 = 3.32 \text{ м/с}^2$$

12) Амплітуда гармонічного коливання;

$$S_a = \mu_B / \omega \frac{dy}{dt} = 0.22 / 25.12 * 0.135 = 0.065 \text{ м};$$

13) Середньоквадратична абсолютна швидкість сидіння для середньої частоти;

$$v_n = \frac{v_a}{1.41} = \frac{0.132}{1.41} = 0.094 \text{ м/с};$$

14) Середньоквадратичне абсолютне прискорення;

$$a_n = \frac{a_a}{1.41} = \frac{3.32}{1.41} = 2.35$$

15) Логарифмічний рівень;

$$L_o(n) = 20 \lg \frac{v_n}{5 * 10^{-8}} = 20 \lg \frac{0.094}{5 * 10^{-8}} = 125.4 \text{ дБ};$$

Порівнюємо отримані дані з нормами вібрації за ГОСТ 12.1.012-90 – при октаві 1/1 і частоті 4 Гц  $v_n=3.5*10^{-3}$  м/с;  $a_n=0.36$  м/с<sup>2</sup>;  $L_0(n)=35$ дБ;  $S_a=0.25*10^{-2}$  м. Отже, пристрій віброізоляції має захисні властивості, оскільки  $k_{ef} = 1,33 > 1$ , але одержані значення середньоквадратичного абсолютного прискорення і логарифмічного рівня віброшвидкості виходять за допустимі значення.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Дипломний проект на тему «Реконструкція ділянки автомобільної дороги Київ-Харків-Довжанський від км210 до км213 з розробленням штучної споруди» виконано у відповідності з діючими нормативно-технічними вимогами.

Дипломний проект містить 9 розділів розрахунково-пояснювальної записки та 12 аркушів креслень формату А1, які охоплюють етапи проектування й виконання дорожніх робіт під час реконструкції ділянки автомобільної дороги.

У розділі 1 «Проектно-будівельна частина» проведено аналіз умов проходження дороги, здійснено оцінку транспортно-експлуатаційного стану, безпеки та умов руху на дорозі.

У розділі 2 «Спеціальна частина» проведено гідравлічний розрахунок для проектування водоперепускної труби на ПК2101+94; проведено аналіз трьох варіантів водоперепускної труби, на підставі якого визначено, що найбільш оптимальним є використання одночкової труби діаметром 1,58 м., а також наведено розрахунок за європейськими нормами круглої металевої гофрованої труби діаметром 1,58 м.

У розділі 3 «Технологічна частина» складено технологічну карту на влаштування дорожнього одягу під час реконструкції ділянки автомобільної дороги Київ-Харків-Довжанський від км210 до км213.

У розділі 4 «Організаційна частина» визначено організаційні параметри дорожньо-будівельного потоку та складено календарний план робіт з реконструкції ділянки автомобільної дороги Київ-Харків-Довжанський від км210 до км213, згідно якого визначено тривалість робіт та потребу в трудових ресурсах (див. таблицю ТЕП проекту).

У розділі 5 «Заходи з охорони праці» розглянуто заходи щодо техніки безпеки при виконанні дорожньо-будівельних робіт та заходи щодо перевезення небезпечних вантажів автотранспортом.

**Основні техніко-економічні показники проекту робіт  
з реконструкції ділянки автомобільної дороги  
Київ-Харків-Довжанський від км210 до км213**

№ з/п	Найменування показників	Од. вим.	Кількість
1.	Довжина ділянки дороги, що підлягає капітальному ремонту	км	3,0
2.	Кошторисна вартість будівництва (згідно зведеного кошторисного розрахунку)	тис.грн.	62 184,397
3.	Приведена кошторисна вартість будівництва	тис.грн./км	50 374,043
4.	Кошторисна вартість будівельних робіт (згідно зведеного кошторисного розрахунку)	тис.грн.	20 728,132
5.	Приведена кошторисна вартість будівельних робіт	тис.грн./км	16 791,348
6.	Витрати праці на будівництво (згідно календарного плану)	люд-дні	10672 люд-дні
7.	Тривалість будівництва (згідно календарного плану)	днів	100
8.	Максимальна кількість робітників (згідно календарного плану)	чол.	170
9.	Середня кількість робітників	чол.	112
10.	Коефіцієнт нерівномірності руху робітників	-	1,52

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В.2.3-4:2015. Споруди транспорту. Автомобільні дороги. – К.: Мінрегіонбуд України, 2016. – 91 с.
2. ДБН В.2.3-5-2001. Споруди транспорту. Вулиці та дороги населених пунктів. – К.: Держбуд України, 2001.
3. ДБН В.2.3-6-2002. Споруди транспорту. Мости та труби. Обстеження і випробування. – К.: Держбуд України, 2002.
4. ДБН А.2.2-1-2003 Проектування. Склад і зміст матеріалів оцінки впливів на навколишнє середовище (ОВНС) при проектуванні і будівництві підприємств, будинків і споруд. – К.: Держбуд України, 2003.
5. ДБН А.2.2-3-2004 Проектування. Склад, порядок розроблення, погодження та затвердження проектної документації для будівництва. – К.: Держбуд України, 2001.
6. ДБН А.3.1-5-2009 Організація будівельного виробництва. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011 – 61 с.
7. ДБН А.3.2-2-2009 Охорона праці і промислова безпеки у будівництві. – К.: Мінрегіонбуд України, 2012. – 94 с.
8. ДБН Д.2.2-99. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Зб. 27. Автомобільні дороги. – К.: Держбуд України, 2000.
9. ДСТУ 3587-97. Безпека дорожнього руху. Автомобільні дороги, вулиці та залізничні переїзди. Вимоги до експлуатаційного стану. – К.: Держстандарт України, 1997.
10. ГБН Г.1-218-182:2011. Ремонт автомобільних доріг загального користування. Види робіт та перелік робіт. – К: Укравтодор, 2011.
11. ВБН В.2.3-218-539:2007 Влаштування шарів дорожнього одягу автомобільних доріг загального користування з холодних сумішей, що містять фрезерований асфальтобетон. – К.: Держбуд України, 2007.

12. ВБН В.3.1-218-174-2002. Оцінка технічного стану автодорожніх мостів, що експлуатуються. – К.: Держбуд України, 2002. – 76 с.
13. ВБН В.3.2-218-171-2002. Споруди транспорту. Спорудження земляного полотна автомобільних доріг. – К.: Держбуд України, 2003.
14. ВБН В.3.2-218-186-2004. Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу. – К.: Держбуд України, 2004.
15. ВБН Д.2.2-218-045-2001. Відомчі ресурсні елементні кошторисні норми. Ремонт автомобільних доріг та мостів. – К: Укравтодор, 2009.
16. ВБН Д.1.1-218-001-2001. Порядок визначення вартості будівництва, реконструкції, капітального та поточного ремонтів автомобільних доріг загального користування. – К.: Держбуд України, 2001.
17. ВБН В.3.2-218-180-2003. Правила визначення вартості робіт з експлуатаційного утримання автомобільних доріг загального користування. – К.: Держбуд України, 2003.
18. ГСТУ 218-02070915-102-2003. Автомобільні дороги. Визначення транспортно-експлуатаційних показників дорожніх покриттів. Методи та засоби. – К: Укравтодор,, 2003.
19. ГСТУ 218-03449261-099-2002. Безпека дорожнього руху. Порядок проведення лінійного аналізу аварійності та оцінки умов безпеки руху на автомобільних дорогах. – К.: Держбуд України, 2003.
20. Білятинський О.А., Старовойда В.П. Проектування капітального ремонту і реконструкції доріг. – К.: Вища освіта, 2003. – 343 с.
21. Бойчук В.С. Довідник дорожника. – К., Урожай, 2002. – 560 с.
22. Бойчук В.С., Кірічек Ю.О., Сергеев О.С. Штучні споруди на дорогах. – Дн-к, ПДАБА, 2004. – 364 с.
23. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці. – Львів: Афіша, 2002. – 320 с.
24. Заворицький В.Й., Алєніч М.Д., Кизима С.С. Транспортно-експлуатаційні якості автомобільних доріг. – К.: ІСДО, 1995. – 136 с.

25. Кубасов А.У., Чумаков Ю.Л., Широков С.Д. Будівництво, ремонт і утримання автомобільних доріг. – К Транспорт, 2005. – 336 с.
26. Кліматичні характеристики: довідковий матеріал до курсового й дипломного проектування для студентів спеціальності «Автомобільні дороги та аеродроми». – Полтава: ПолтНТУ, 2006. – 60 с.
27. Новые технологи и машины при строительстве, содержании и ремонте автомобильных дорог / Под ред. А.Н. Максименко – К: Дизайн, 2002. – 240 с.
28. Савенко В.Я., Славінська О.С., Лисенко О.П. Основи технології будівництва доріг: Навчально-методичний посібник. – К.: НТУ, 2006. – 247 с.
29. Технологія будівництва автомобільних доріг в прикладах (для курсового та дипломного проектування) / В.Я. Савенко, О.С. Славінська, Г.М. Фещенко, В.І. Каськів. – К.: НТУ, 2003. – 377 с.