

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Київський національний університет будівництва і архітектури

ГІДРОТЕХНІЧНІ СПОРУДИ

Методичні вказівки

до виконання лабораторних робіт
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня
вищої освіти спеціальності
G19 «Будівництво та цивільна інженерія»
ОПП «Водогосподарське будівництво»

Київ 2026

УДК 628.1

Г46

Укладачі: С. В Величко, канд. техн. наук, доцент;

О. В. Дупляк, канд. техн. наук, доцент

Рецензент С.Й. Шаманський, д-р техн. наук, професор

Відповідальний за випуск О.В. Кравченко, д-р. техн. наук,
професор

*Затверджено на засіданні кафедри водопостачання та
водовідведення, протокол № 9 від 14 квітня 2026 року.*

В авторській редакції.

Гідротехнічні споруди[електронний ресурс]: методичні вказівки
Г46 до виконання лабораторних робіт / Уклад.: С.В. Величко, О.В. Дупляк –
Київ : КНУБА, 2026. – 31с.

Містить загальні положення розрахунку стаціонарної фільтрації та стійкості укосу на ПК Seep/W Slope/W. Наведено послідовність проведення та форма звітності для п'яти лабораторних робіт з моделювання стаціонарної фільтрації в греблях різних конструкцій на водонепроникній та водопроникній основі та одну лабораторну роботу на визначення стійкості низового укосу.

Призначено для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності G19 «Будівництво та цивільна інженерія», ОПП «Водогосподарське будівництво».

© КНУБА, 2026

Загальні положення

Фільтраційний розрахунок є одним із обов'язкових розрахунків під час проєктування напірних ґрунтових споруд [1]. Метою фільтраційного розрахунку є визначення положення кривої фільтрації в тілі ґрунтової споруди, визначення фільтраційної міцності, що має важливе експлуатаційне та економічне значення. Фільтраційний розрахунок дає змогу визначити умови руху потоку, вплив конструкції і розмірів споруди на потік, які забезпечують стійкість споруди. Результати розрахунку слугують підставою для проєктування протифільтраційних елементів, таких як ядро, екран, дренаж, та подальший розрахунок стійкості укосів греблі. Виконання фільтраційного розрахунку є ключовою умовою подальшого визначення коефіцієнта стійкості укосу для забезпечення надійності, довговічності та безпеки експлуатації ґрунтових напірних споруд.

Метою вивчення освітньої компоненти є здобуття знань про проєктування напірних ґрунтових гідротехнічних споруд. Здобувачі мають набути та систематизувати знання про фільтраційні розрахунки та розрахунки стійкості укосу ґрунтової напірної споруди і особливості її конструкції. Виконання лабораторних робіт дасть змогу здобувачам краще засвоїти лекційний курс, та поступово від першої лабораторної до останньої отримати навички моделювання ґрунтових споруд різної конструкції на модулях Seep/W та Slope/W.

Виконання лабораторної роботи поділяється на три етапи:

1. Підготовчий етап: до проведення заняття згідно з розкладом здобувач має ознайомитись з темою лабораторної роботи за матеріалами лекцій, додаткової літератури та цих методичних рекомендацій. Здобувач самостійно готує звіт, форму якого наведено в кінці кожної лабораторної роботи.

2. Виконання лабораторної роботи проводиться в аудиторії на спеціальному обладнанні GeoStudio модуль Seep/W та Slope/W або самостійно здобувачем. Для самостійного виконання лабораторних робіт необхідно за посиланням: [How to obtain a Geostudio Student license – MySeequent](#) зареєструватися, завантажити ПК GeoStudio та обрати студентську версію.

3. Звітування: здобувач оформлює звіт згідно з формою наведеною в методичних рекомендаціях і звітує перед викладачем індивідуально.

Теоретичні основи розрахунку фільтрації на ПК Seep/W

В основу розрахунків на ПК Seep/W покладено закон Дарсі:

$$q = kI, \quad (1)$$

де q – питома витрата крізь переріз, $\text{м}^3/(\text{с} \cdot \text{м})$; k – коефіцієнт фільтрації, м/с ; I – градієнт напору.

Основне диференціальне рівняння усталеного фільтраційного потоку (рівняння нерозривності) в двовимірних умовах в однорідно-ізотропних ґрунтах $k_x = k_y$ має вигляд:

$$\frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial y^2} = 0, \quad (2)$$

де H – п'єзометричний напір, м ; k_x – коефіцієнт фільтрації в напрямку x , м/с ; k_y – коефіцієнт фільтрації в напрямку y , м/с .

Для вирішення диференційного рівняння руху усталеного фільтраційного потоку використаний метод скінченних елементів.

Моделюючи фільтрації в тілі греблі, використовуються модель насичений/ненасичений ґрунт (для тіла греблі) і модель насичений ґрунт (для водопроникної основи).

Ґрунт в насиченому стані, 100% пор ґрунту заповнені водою, і об'ємна вологоємність дорівнює пористості ґрунту:

$$\Theta = nS, \quad (3)$$

де Θ – об'ємний вологовміст, $\text{м}^3/\text{м}^3$; n – пористість, $\text{м}^3/\text{м}^3$; S – коефіцієнт насичення, $S=1$.

Вологопровідність в насиченому водою стані дорівнює коефіцієнту фільтрації ґрунту.

В ненасиченому водою ґрунті об'ємна вологоємність буде змінюватись в залежності від капілярного всмоктування води порами. В лабораторній роботі об'ємну вологоємність визначаємо за зразками функцій, наведених в ПК Seep/W для різних ґрунтів (глина, пісок, гравій, суглинок, супісок).

В ненасиченому водою ґрунті вологопровідність (коефіцієнт фільтрації) також змінюється в залежності від капілярного всмоктування: чим менше значення порового тиску (негативні значення), тим менше значення набуває вологопровідність.

Отримати залежність вологопровідності від порового тиску можливо за допомогою формули Ван Генухтена:

$$k_w = k_s \frac{[1 - (a\Psi^{(n-1)})][1 + (a\Psi^n)]^{-m}}{[(1 + a\Psi)^n]^{\frac{m}{2}}}, \quad (4)$$

де k_w – водопровідність, м/с; k_s – водопровідність в насиченому стані (коефіцієнт фільтрації), м/с; e – натуральне число, 2,718; Ψ – від’ємний поровий тиск, Па; a, n, m – параметри кривої Ван Генухтена.

Детальніше ознайомитись з основами фільтрації крізь ненасичений ґрунт, закладеними в розрахунки на ПК Seep/w, можна в методичних вказівках [2].

Теоретичні основи розрахунку стійкості ґрунтового укосу на ПК Slope/W

В лабораторній роботі стійкість укосу земляної греблі будемо розраховувати методом Моргенстена-Прайса. Сутність методу Моргенстена-Прайса полягає в комплексному аналізі стійкості ґрунтових схилів шляхом поділу їх на окремі вертикальні відсіки, де для кожного відсіку забезпечується виконання умов рівноваги: сил (в проєкціях на нормаль та дотичну до поверхні ковзання) та моментів, враховуючи сили взаємодії між відсіками, що робить його одним із найбільш точних серед методів граничної рівноваги. Коефіцієнт запасу стійкості визначається шляхом розв’язання рівнянь рівноваги для всього масиву з урахуванням ваги відсіків, зовнішніх навантажень та опірних параметрів ґрунту.

Функція співвідношення між зсуваючими та утримуючими силами взаємодії між відсіками прийнята напівсінус.

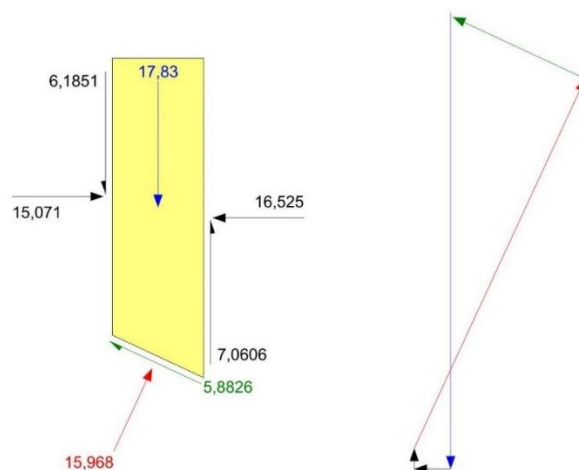


Рис. 1. Розподіл сил за методом Моргенстена-Прайса

Коефіцієнт стійкості відносно моментів рівноваги:

$$F_m = \frac{\sum (clR + (N - ul)R \tan \varphi)}{\sum Gx - \sum Nf + \sum Dd}, \quad (5)$$

Коефіцієнт стійкості відносно рівноваги горизонтальних сил:

$$F_f = \frac{\sum (cl \cdot \cos \alpha + (N - ul) \tan \varphi \cdot \cos \alpha)}{\sum N \sin \alpha - \sum D \cos \omega}, \quad (6)$$

де c – питоме зчеплення, кПа; φ – кут внутрішнього тертя, град; u – поровий тиск, кПа; N – нормальна сила, кН; G – вага відсіку, кН; D – сконцентроване навантаження в точці, кН; l – довжина кривої ковзання, м; R – радіус ковзання, м; α – кут нахилу відсіку до горизонту, град; ω – кут нахилу сконцентрованого навантаження до горизонту, град; D – перпендикуляр опущений з центру ковзання на сконцентроване навантаження, м; f – перпендикуляр опущений з центру ковзання на нормальну силу, м; x – горизонтальна відстань від центру ковзання до осі відсіку, м.

Метод дає змогу враховувати взаємодіючі сили між відсіками, напрямки яких задається допоміжною функцією (наприклад, функцією напівсінуса), що дає можливість пов'язати невідомі сили взаємодії між відсіками із коефіцієнтом стійкості укусу за допомогою формули:

$$X = E \lambda f(x), \quad (7)$$

де X – зчеплення між відсіками (вертикальна сила), кН; E – нормальна сила (горизонтальна), кН; λ – коефіцієнт пропорційності функції; $f(x)$ – функція сил взаємодії між відсіками.

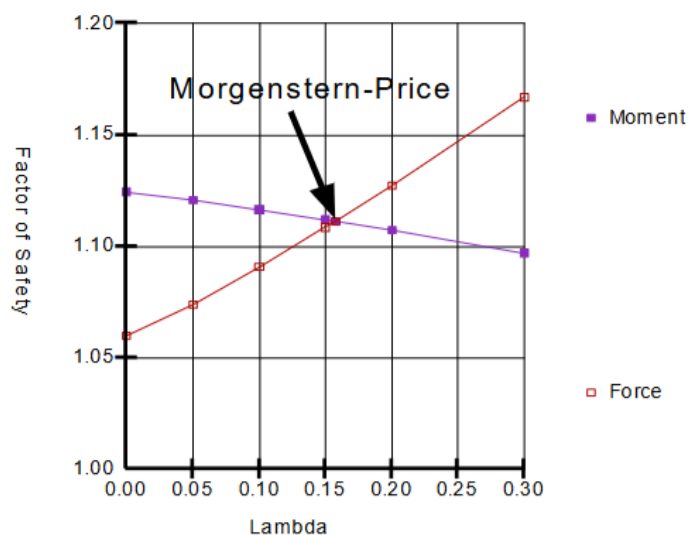


Рис. 2. Метод Моргенстена-Прайса, визначення коефіцієнту стійкості з функцією сил взаємодії між відсіками напівсінусу

У розрахунках використовується класична математична модель поведінки ґрунту Кулона-Мора, яка описує міцність ґрунту у разі поєднання нормальних і зсувних напружень. Модель є еластично-ідеально-

пластичною, тобто матеріал поводить ся пружно до досягнення межі плинності, після чого виникають необоротні деформації. Модель Мора–Кулона є простою для практичних розрахунків, оскільки її параметри визначаються стандартними лабораторними тестами. Модель базується на критичній залежності зсувної міцності від нормальної напруги на потенційній площині зсуву:

$$\tau = c + \sigma_n \tan \varphi , \quad (8)$$

де τ – сила зсуву (дотичні напруження), кПа; c – питоме зчеплення, кПа; σ_n – нормальні напруження, кПа; φ – кут внутрішнього тертя, град.

Основною задачею розрахунку стійкості укосу є визначення мінімального коефіцієнту стійкості найнебезпечнішої кривої ковзання. Поверхня ковзання в ПК Slope/w задається за допомогою площі центрів ковзання та радіусів циліндричних кривих (Grid and radius for circular slips).

Площа центрів ковзання задається координатами крайніх точок і розбивається сіткою на вузли, які є центрами ковзання. Радіуси кривих ковзання задаються лініями, дотичними до кривих ковзання (рис. 3).

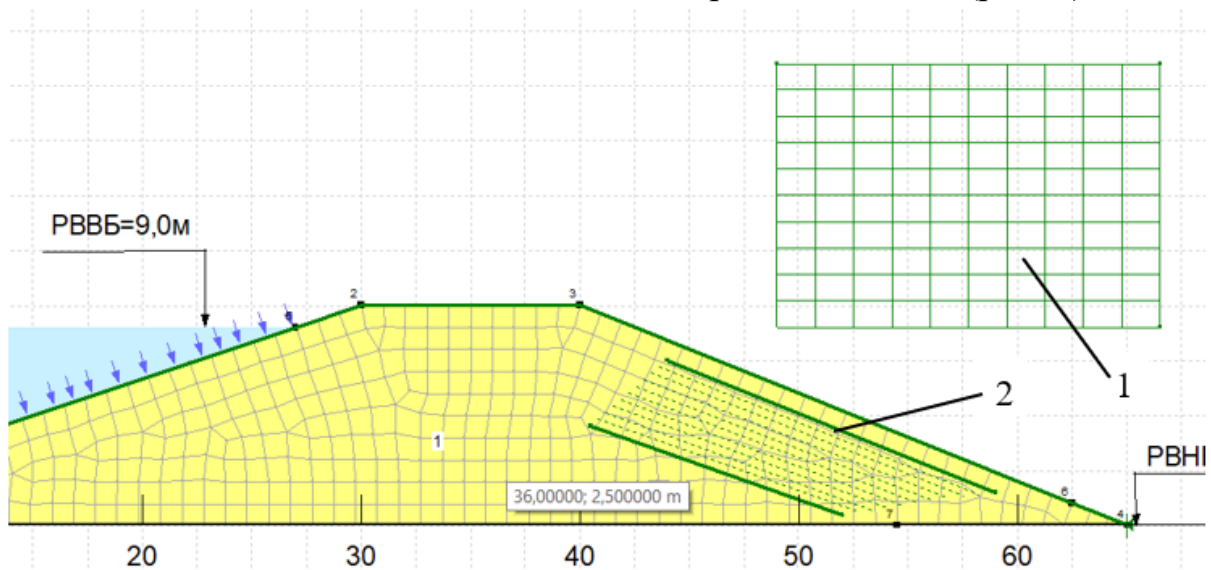


Рис. 3. Визначення площі центрів та радіусів кривих ковзання:

1 – площа центрів кривих ковзання; 2 – дотичні до радіусів ковзання

Додаткову інформацію про розрахунки стійкості укосу на ПК GeoStudio: Slope/w можна отримати з джерела [6].

Лабораторна робота №1. Моделювання фільтрації через однорідну греблю на водонепроникній основі

Мета роботи:

- вивчити принципи моделювання стаціонарної фільтрації за допомогою SEEP/W;
- навчитися створювати граничні умови та призначати їх;
- визначити: положення кривої фільтрації, витрату фільтрації через тіло греблі, положення виходу фільтраційного потоку на низовому укосі, місцевий градієнт виходу потоку на низовий укіс.

Хід роботи

Геометрична модель однорідної греблі на водонепроникній основі та вихідні параметри властивостей матеріалу греблі видається викладачем (рис.4).

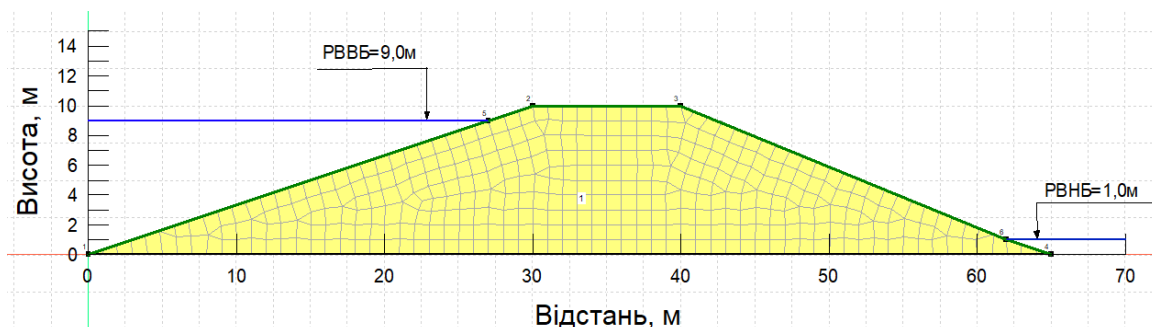


Рис. 4. Модель однорідної греблі на водонепроникній основі

1. Відкрити GeoStudio → Лабораторна 1. Однорідна гребля.
2. Відкрити меню Define → Materials та ознайомитися з властивостями матеріалів греблі, занести параметри в таблицю 1.1 звіту.
3. Створення граничних умов. Визначення граничних умов відбувається в меню Define → Boundary Conditions за допомогою команди Add. Граничними умовами розрахунку є:
 - напір води в верхньому б'єфі (Water Total Head), задається як висота води над початком координат, м (рис.5);
 - напір води в нижньому б'єфі (Water Total Head), задається як висота води над початком координат, м;
 - поверхня витоку кривої фільтрації на низовий укіс, задається як витрата води (Water Rate) з нульовим значенням і відмічається пташкою Potential Seepage Face Review (рис. 6).

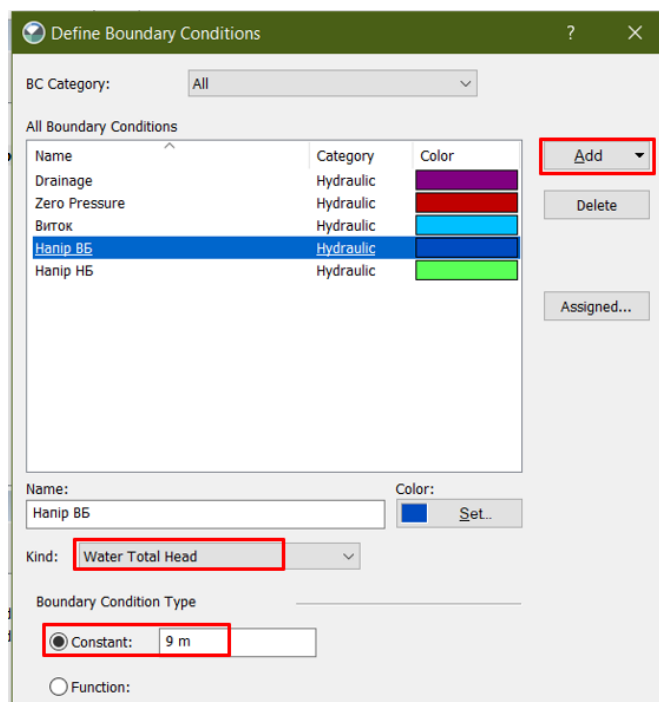


Рис. 5. Створення граничних умов напору в верхньому/нижньому б'єфі

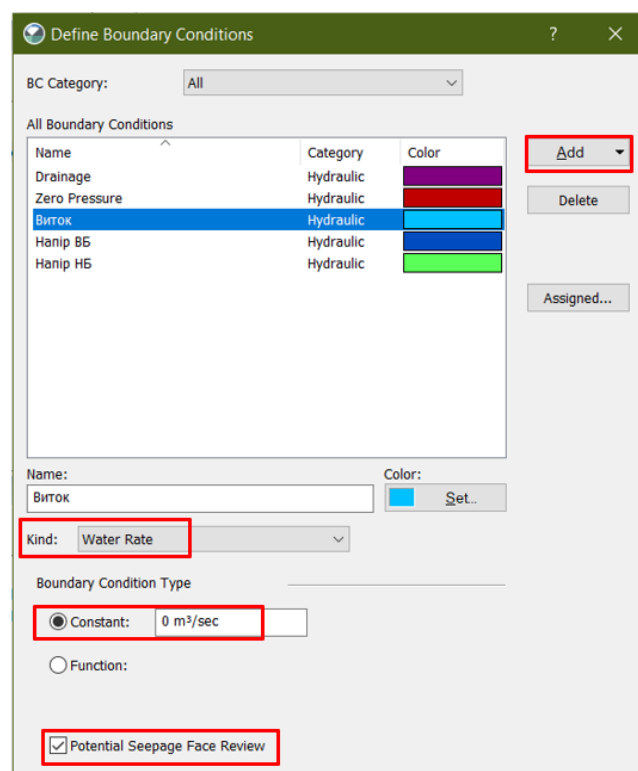


Рис. 6. Створення граничних умов поверхня витоку в нижньому б'єфі

Прив'язка граничних умов відбувається в меню Draw → Boundary Conditions. У вікні обираємо необхідні граничні умови у вигляді лінії та кліком по лінії укосу призначаємо граничні умови (рис. 7).

Після призначення граничних умов можна виконувати розрахунок, для чого у вікні Solve Manager відмічаємо розрахунок пташкою та натискаємо кнопку Start. Через деякий час у вікні з'явиться результати фільтраційного розрахунку.

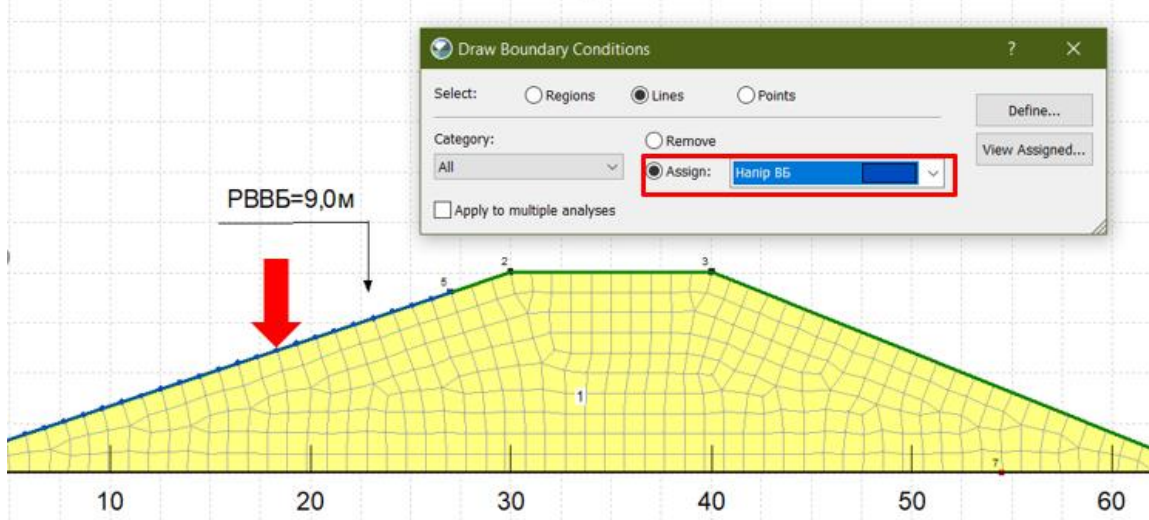


Рис. 7. Призначення граничних умов напору верхнього б'єфу

4. Визначення положення кривої фільтрації. Для відображення поверхні кривої фільтрації необхідно відкрити меню Draw → Isosurfaces і додати (Add) ізолінію Water Pressure, категорія Pore – Pressure, параметр Water Pressure та внести значення (Value) 0 кПа. Графічно визначаємо перевищення виходу кривої на укос над рівнем води в нижньому б'єфі.

5. Визначення питомої витрати через переріз греблі. Інформацію про питому витрату через переріз греблі ($\text{м}^3/\text{с} \cdot \text{м}$) визначаємо за допомогою меню Draw → Graph. Add Water Flow – Water Rates, вісь X обираємо значення Time. Для визначення місця, в якому необхідно визначити витрату, натискаємо кнопку Set Locations. У новому вікні з'явиться можливість обрати геометричний параметр Location → Select Geometry, обираємо низовий укос греблі, натискаємо Show Graph, на графіку відобразиться точка з координатою «у» зі значенням витрати (знак «мінус» означає, що витрата виходить із поверхні чи вузла).

6. Визначення місцевого градієнту виходу потоку на укіс. В меню Draw → Contours за допомогою клавіші Add додаємо додатковий контур «Градiєнти», обираємо категорію Water flow та параметр Water XY – Gradient. Для відображення значень контуру відмічаємо пташкою поле Show legend. Значення градієнту в комірках сітки дивимось View Result

Information. Клікаємо мішкою на комірку сітки і у додатковому вікні знаходимо значення Water gradient.

Проведення лабораторної роботи.

1. Для заданих у роботі властивостях матеріалу призначаємо перші граничні умови задані викладачем у вихідних даних до лабораторної роботи 1, виконуємо розрахунок і заносимо дані в таблиці 1.1 та 1.2 звіту.

2. При заданих в роботі властивостях матеріалу змінюємо граничну умову верхнього б'єфу і виконуємо повторний розрахунок, заносимо дані в звіт.

3. Для заданих у роботі властивостях матеріалу змінюємо в друге граничну умову верхнього б'єфу і виконуємо розрахунок, заносимо дані в звіт.

4. Змінюємо у властивостях матеріалу коефіцієнт фільтрації згідно з вихідними даними до лабораторної роботи і проводимо розрахунок для заданих у вихідних даних граничних умов, вносимо дані в звіт.

5. Змінюємо у властивостях матеріалу коефіцієнт фільтрації згідно з вихідними даними до лабораторної роботи і проводимо розрахунок для заданих у вихідних даних граничних умов, вносимо дані в звіт.

ФОРМА ЗВІТУ

Лабораторна робота №1. Моделювання фільтрації через однорідну греблю на водонепроникній основі

У звіті наводимо рисунки (3 рисунки) однорідної греблі з призначеними граничними умовами для кожного значення граничних умов окремо. Наводимо властивості матеріалів, які переписуємо з вихідних даних меню Define → Materials, результати заносимо в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Властивості матеріалів

Параметр ґрунту	Одиниці виміру	Значення
Модель матеріалу		
Пористість		
Матеріал ґрунту		
Коефіцієнт фільтрації	м/с	

У звіті наводимо результати розрахунку однорідної греблі з положенням кривої фільтрації для кожного розрахункового випадку окремо

(5 рисунків). На рисунках має бути відображена крива фільтрації з контурами градієнтів фільтрації. Результати зводимо в табл. 1.2

Таблиця 1.2

Розрахунок однорідної греблі на водонепроникній основі

№	Напір ВБ, м	Напір НБ, м	Коефіцієнт фільтрації, м/с	Перевищення виходу кривої над РВНБ, м	Градiєнт напору, м/м	Питома витрата, м ³ /с/м
Зміна напору в верхньому б'єфі						
1						
2						
3						
Зміна коефіцієнту фільтрації						
1						
2						
3						

Висновок: робимо висновки щодо зміни положення кривої фільтрації, градієнта напору та питомої витрати при зміні напору в верхньому б'єфі та зміні коефіцієнту фільтрації тіла греблі.

Лабораторна робота №2. Моделювання фільтрації через однорідну греблю з дренажним пристроєм на водонепроникній основі

Мета роботи:

- вивчити вплив дренажних пристроїв (дренажна призма, трубчатий дренаж) на положення кривої фільтрації в тілі греблі за допомогою SEEP/W;
- навчитися створювати граничні умови дренажу;
- визначити: положення кривої фільтрації, витрату фільтрації через тіло греблі, місцевий градієнт виходу потоку в дренаж.

Хід роботи

Геометрична модель однорідної греблі з дренажем на водонепроникній основі та вихідні параметри властивостей матеріалу греблі видається викладачем.

1. Відкрити GeoStudio → Лабораторна 2. Однорідна гребля з трубчатим дренажем.

2. Відкрити меню Define → Materials та ознайомитися з властивостями матеріалів, занести властивості ґрунту в звіт табл. 2.1.

3. Запустити розрахунок однорідної греблі без дренажу та занести результати розрахунку в звіт табл. 2.2, рисунок з результатами розрахунку теж вносимо у звіт.

4. Створення граничних умов для трубчатого дренажу. Геометрично трубчатий дренаж розташований в точці в тілі греблі (рис. 8). Граничною умовою трубчатого дренажу нульова витрата для типу умов Water Rate, яка додається в меню Define → Boundary Conditions за допомогою команди Add. Призначається гранична умова трубчатого дренажу в меню Draw → Boundary Conditions (рис. 9). У вікні обираємо граничну умову Дренаж і клікаємо мишкою в точку прикладання дренажу.

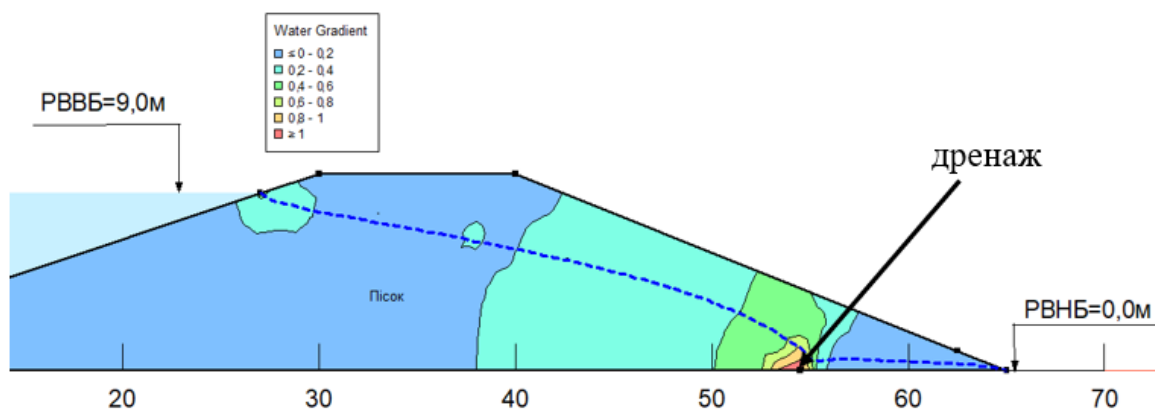


Рис. 8. Створення граничних умов трубчатого дренажу

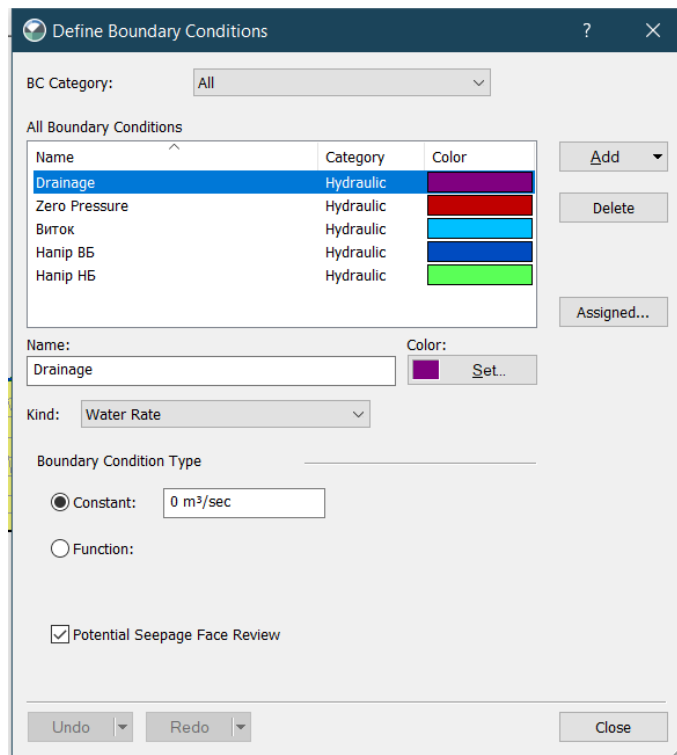


Рис. 9. Створення граничної умови трубчатий дренаж

5. Виконуємо розрахунок фільтрації греблі з трубчатим дренажем.
6. Визначаємо положення кривої фільтрації в греблі з трубчатим дренажем, результати заносимо в звіт табл. 2.2, зберігаємо результати як рисунок у звіті.
7. Відкрити GeoStudio → Лабораторна 2. Однорідна гребля з дренажною призмою (рис.10).

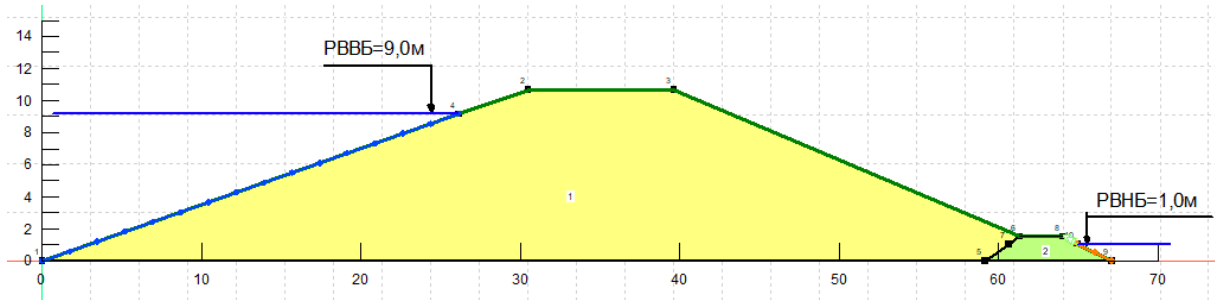


Рис. 10. Однорідна гребля з дренажною призмою

8. Відкрити меню Define → Materials та ознайомитися з властивостями матеріалів греблі, занести властивості ґрунтів у звіт табл. 2.1 лабораторної роботи 2.
9. Уважно ознайомитися з особливостями призначення граничних умов, рисунок з призначеними граничними умовами вносимо в звіт.
10. Виконуємо розрахунок, результати розрахунку зберігаємо як рисунок, результати розрахунку вносимо в табл. 2.2 звіту.
- 11.

ФОРМА ЗВІТУ

Лабораторна робота №2. Моделювання фільтрації через однорідну греблю з дренажним пристроєм на водонепроникній основі

Розрахунок однорідної греблі без дренажу

Наводимо рисунок результатів розрахунку греблі без дренажу з положенням кривої фільтрації, вносимо результати в табл. 2.2.

Вносимо властивості ґрунтів з вихідних даних меню Define → Materials в табл. 2.1.

Розрахунок однорідної греблі з трубчатим дренажем

Вносимо рисунок результатів розрахунку однорідної греблі з трубчатим дренажем з положенням кривої фільтрації. Результати розрахунку зводимо в табл. 2.2.

Таблиця 2.1

Властивості матеріалів

Параметр ґрунту	Одиниці виміру	Значення
Однорідна гребля		
Модель матеріалу		
Пористість		
Матеріал ґрунту		
Коефіцієнт фільтрації	м/с	
Гребля з дренажною призмою		
<i>Тіло греблі</i>		
Модель матеріалу		
Пористість		
Матеріал ґрунту		
Коефіцієнт фільтрації	м/с	
<i>Дренажна призма</i>		
Модель матеріалу		
Пористість		
Матеріал ґрунту		
Коефіцієнт фільтрації	м/с	

Розрахунок однорідної греблі з дренажною призмою

Вносимо рисунок греблі з дренажною призмою і призначеними граничними умовами в звіт. Вносимо властивості ґрунтів з вихідних даних меню Define → Materials в табл. 2.1. Вносимо рисунок результатів розрахунку однорідної греблі з дренажною призмою з положенням кривої фільтрації в звіт. Результати розрахунку зводимо в табл. 2.2

Таблиця 2.2

Розрахунок однорідної греблі на водонепроникній основі

Розрахунок однорідної греблі на водонепроницаєвій основі									
№	Напір ВБ, м	Напір НБ, м	Перевищення виходу кривої над РВНБ, м	Координати положення кривої фільтрації					
Однорідна гребля без дренажу									
				x	27	35	50	55	K
				y					
Однорідна гребля з трубчатим дренажем									
				x	27	35	50	55	K
				y					
Однорідна гребля з дренажною призмою									
				x	27	35	50	55	K
				y					

K – кінцева точка виходу на укіс, чи в призму.

Висновок: робимо висновки щодо зміни положення кривої фільтрації в залежності від виду дренажу: трубчатий дренаж та дренажна призма.

Лабораторна робота №3. Моделювання фільтрації через неоднорідну греблю на водонепроникній основі

Мета роботи:

- вивчити принципи моделювання стаціонарної фільтрації через неоднорідну греблю за допомогою SEEP/W;
- навчитися змінювати геометрію моделі;
- визначити: положення кривої фільтрації, витрату потоку через тіло греблі, місцевий градієнт виходу потоку на низовий укіс.

Хід роботи

Геометрична модель неоднорідної греблі на водонепроникній основі та вихідні параметри властивостей матеріалу греблі видається викладачем.

1. Відкрити GeoStudio → Лабораторна 3. Гребля з ядром (рис. 11).

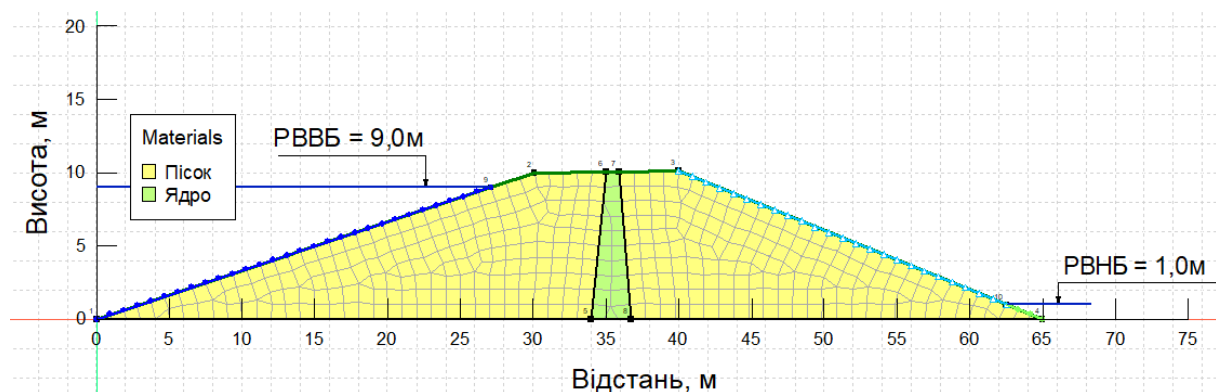


Рис. 11. Гребля з ядром

2. Відкрити меню Define → Materials та ознайомитися з властивостями матеріалів, занести властивості ґрунтів у звіт табл. 3.1.

3. Запустити розрахунок однорідної греблі без ядра та занести результати розрахунку в звіт табл. 3.2, рисунок з результатами розрахунку теж вносимо у звіт.

4. Відкриваємо модель греблі з ядром, вносимо властивості матеріалів греблі в табл. 3.1. Заміряємо розміри ядра і вносимо в табл. 3.1.

5. Запускаємо розрахунок греблі з ядром та заносимо результати розрахунку в звіт табл. 3.2, рисунок з результатами розрахунку теж вносимо у звіт.

6. Змінюємо розміри ядра.

Визначаємо розміри ядра за допомогою нанесення розмірів. Натискаємо іконку Sketch Linear Dimension, клікаємо по точкам між якими необхідно дізнатися відстань (рис. 12). Для оцінки впливу ширини ядра на положення кривої фільтрації збільшуємо розміри ядра зверху в кожний бік на 0,5м та знизу в кожний бік по 1м. Для зміни розмірів ядра греблі необхідно включити режим редагування моделі, натиснувши іконку Modify Objects. Підводимо мишку в точку, яку треба пересунути і зсуваємо точку на необхідну відстань, координати нового положення точки можна задавати у вікні координат.

7. Виконуємо розрахунок греблі з новими розмірами ядра та заносимо результати розрахунку в звіт табл. 3.2, рисунок з результатами розрахунку теж вносимо у звіт.

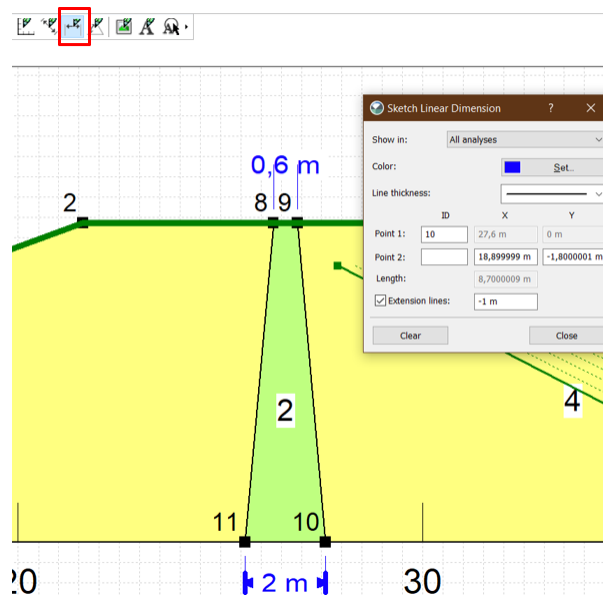


Рис. 12. Відображення розмірів на моделі (синій колір)

8. Повторюємо розрахунок греблі збільшивши розміри ядра ще на 0,5 м у кожний бік зверху і на 1,0 м у кожний бік знизу. Результати розрахунку заносимо в звіт табл. 3.2, рисунок з результатами розрахунку теж вносимо у звіт.

ФОРМА ЗВІТУ

Лабораторна робота №3. Моделювання фільтрації через неоднорідну греблю на водонепроникній основі

Наводимо рисунок результатів розрахунку однорідної греблі з положенням кривої фільтрації, вносимо результати в табл. 3.2.

Наводимо властивості матеріалів, які переписуємо з вихідних даних меню Define → Materials, результати заносимо в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Властивості матеріалів

Параметр ґрунту	Одиниці виміру	Значення
Однорідна гребля		
Модель матеріалу		
Пористість		
Матеріал ґрунту		
Коефіцієнт фільтрації	м/с	
Гребля з ядром		
Тіло греблі		
Модель матеріалу		
Пористість		
Матеріал ґрунту		
Коефіцієнт фільтрації	м/с	
ядро		
Модель матеріалу		
Пористість		
Матеріал ґрунту		
Коефіцієнт фільтрації	м/с	

Розрахунок греблі з ядром

Вносимо рисунок результатів розрахунку греблі з ядром з положенням кривої фільтрації. Результати розрахунку зводимо в табл. 3.2.

Висновок: робимо висновки щодо зміни положення кривої фільтрації в залежності від наявності ядра і його ширини.

Таблиця 3.2

Розрахунок греблі з ядром на водонепроникній основі

№	Напір ВБ, м	Напір НБ, м	Перевищен ня виходу кривої над РВНБ, м	Координати положення кривої фільтрації					
Однорідна гребля									
				х	27	34,5	36,3	50	60
				у					
Гребля з ядром 1									
				х	27	34,5	36,3	50	60
				у					
Гребля з ядром 2									
				х	27	34,2	37,3	50	60
				у					

Гребля з ядром 3									
				x	27	33,8	38,4	50	60
				y					

К – кінцева точка виходу на укiс, чи в призму.

Лабораторна робота №4. Дослідження впливу положення кривої фільтрації через однорідну греблю та закладання укосу на стійкість низового укосу

Мета роботи:

- вивчити принципи розрахунку стійкості укосу на ПК SLOPE/W;
- навчитися задавати центри та радіуси кривих ковзання;
- визначати: критичну криву ковзання та коефіцієнт стійкості укосу.

Хід роботи

Геометрична модель однорідної греблі на водонепроникній основі видається викладачем.

1. Відкрити GeoStudio → Лабораторна 4. Однорідна гребля, стійкість укосу.

2. Відкрити розрахунок кривої фільтрації та познайомитися з параметрами ґрунтів в меню Define → Materials, занести властивості ґрунтів в звіт табл. 4.1.

3. Запустити фільтраційний розрахунок однорідної греблі та занести результати розрахунку в звіт табл. 4.2, рисунок з результатами розрахунку теж вносимо у звіт.

4. Переходимо в розрахунок стійкості укосу, відкриваємо властивості ґрунтів в меню Define → Materials, заносимо властивості ґрунтів в звіт таблиця 4.1.

5. Створення центрів та радіусів кривих ковзання (рис. 3). Задаємо площину центрів кривих ковзання за допомогою меню Draw → Slip Surface → Grid. Малюємо площину починаючи з верхнього лівого краю, потім нижній лівий край і розтягуємо праворуч, кількість клітинок задаємо у спливаючому вікні (приймаємо 10 клітинок) .

Радіуси кривих ковзання задаємо в меню Draw → Slip Surface → Radius. Малюємо множину дотичних до кривих ковзання, починаючи з верхнього лівого краю, далі праворуч → вниз та ліворуч. Кількість дотичних визначаємо у спливаючому вікні (приймаємо 10 дотичних). Рисунок греблі

з заданими граничними умовами та центрами і радіусами ковзання вносимо в звіт.

6. Виконуємо розрахунок, для чого у вікні Solve Manager відмічаємо розрахунок пташкою та натискаємо кнопку Start.

7. Визначення положення критичної площини ковзання та коефіцієнта стійкості укосу. В результаті розрахунку стійкості укосу отримаємо: мінімальне значення коефіцієнта стійкості укосу; контур критичної кривої ковзання (рис. 13). Задати параметри площини центрів ковзання та легенду можливо за допомогою Draw Slip Surface Color Map. Заносимо результати розрахунку в звіт табл. 4.2, рисунок з результатами розрахунку теж вносимо у звіт.

8. Змінюємо граничну умову напору верхнього б'єфу, призначаємо граничну умову напору верхнього б'єфу на 1 м вище за попередній та проводимо розрахунок фільтрації та стійкості укосу. Заносимо результати розрахунку в звіт табл. 4.2, рисунок з результатами розрахунку теж вносимо у звіт.

9. За допомогою засобу Modify Objects зменшуємо низовий укос до закладання 1:2, шляхом переносу точки основи низового укосу в координату (58; 0) і знову проводимо розрахунок. Заносимо результати розрахунку в звіт табл. 4.2, рисунок з результатами розрахунку теж вносимо у звіт.

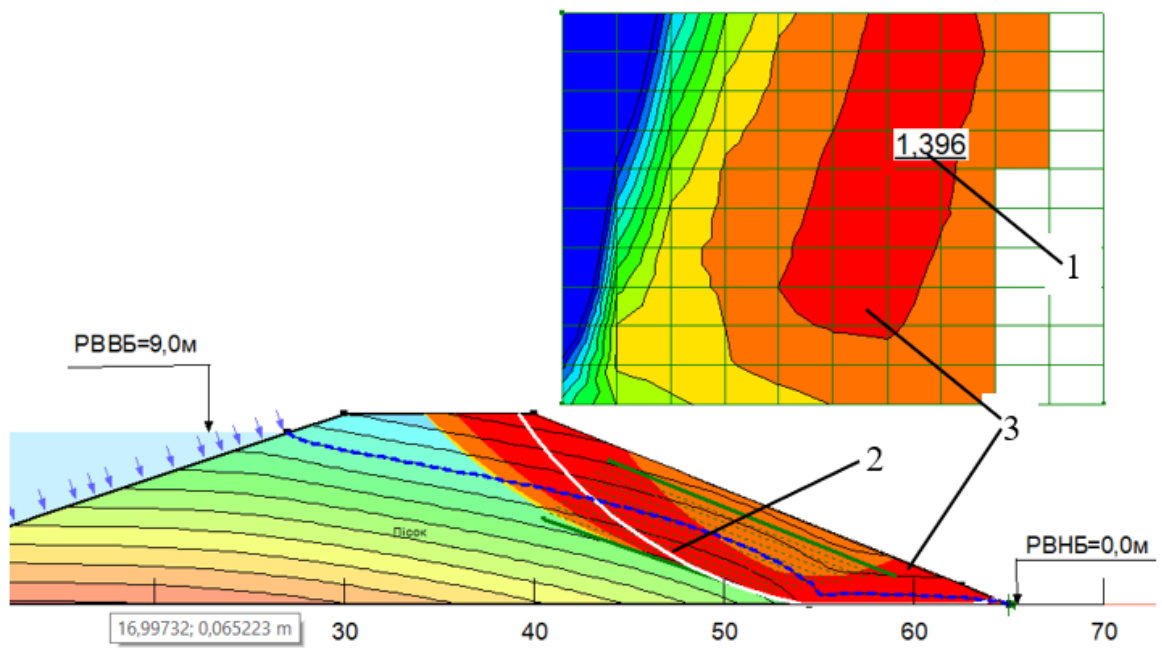


Рис.13. Відображення результатів розрахунку стійкості укосу:

1 – мінімальне значення коефіцієнту стійкості; 2 – критична крива ковзання;
3 – зона кривих поверхонь ковзання що відповідає значенням коефіцієнтів стійкості на площині центрів кривих ковзання

ФОРМА ЗВІТУ

Лабораторна робота №4. Дослідження впливу положення кривої фільтрації через однорідну греблю та закладання укосу на стійкість низового укосу

Наводимо рисунок греблі з граничними умовами та заданими центрами та радіусами кривих ковзання. Параметри ґрунтів з фільтраційного розрахунку і розрахунку стійкості укосу вносимо в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Властивості матеріалів

Параметр ґрунту	Одиниці виміру	Значення
Модель матеріалу		
Пористість		
Матеріал ґрунту		
Коефіцієнт фільтрації	м/с	
Питома вага	кН/м ³	
Питоме зчеплення	кПа	
Кут внутрішнього тертя	град	

У звіті наводимо результати розрахунку однорідної греблі з положенням кривої фільтрації для кожного розрахункового випадку окремо (3 рисунки). На рисунку має бути нанесено крива фільтрації, критична поверхня ковзання, з відповідним значенням коефіцієнту стійкості укосу. Результати зводимо в табл. 4.2

Таблиця 4.2

Розрахунок стійкості низового укосу однорідної греблі на водонепроникній основі

№	Напір ВБ, м	Напір НБ, м	Коефіцієнт фільтрації, м/с	Закладання низового укосу	Перевищення виходу кривої над РВНБ, м	Коефіцієнт стійкості
Зміна напору в верхньому б'єфі						
1				1:2,5		
2				1:2,5		
Зміна закладання укосу						
1				1:2,5		
2				1:2		

Висновок: робимо висновки щодо зміни коефіцієнту стійкості низового укосу від зміни положення кривої фільтрації та закладання укосу.

Лабораторна робота №5. Моделювання фільтрації через однорідну греблю на водопроникній основі

Мета роботи:

- вивчити принципи моделювання стаціонарної фільтрації через греблю на водопроникній основі за допомогою SEEP/W;
- навчитися створювати та корегувати геометричну модель;
- навчитися створювати та призначати властивості ґрунтів;
- визначити: положення кривої фільтрації, витрату фільтрації через тіло греблі та основу, місцевий градієнт виходу потоку на низовий укіс.

Хід роботи

Геометрична модель однорідної греблі на водонепроникній основі та вихідні параметри властивостей матеріалу греблі видається викладачем.

1. Відкрити GeoStudio → Лабораторна 5. Однорідна гребля.
2. Відкрити меню Define → Materials та ознайомитися з матеріалами греблі, занести властивості ґрунтів в звіт табл. 5.1.
3. Запустити розрахунок однорідної греблі на водонепроникній основі та занести результати розрахунку в звіт табл. 5.2, рисунок з результатами розрахунку теж вносимо у звіт.
4. Створення водопроникної основи. Креслення перерізу греблі виконується за допомогою Меню Draw → Regions, обираємо форму області побудови полігональну (Polygonal). Підводимо мишку до вузла греблі, клікаємо по вузлу лівою кнопкою миші і починаємо малювати основу. Закінчуємо малювання кліком правою кнопкою миші. По довжині основа повинна виступати за межі греблі на відстань, яка дорівнює висоті греблі, глибина основи повинна бути не менше висоти греблі (рис. 14).
5. Створення та призначення властивостей ґрунту основи. Нові властивості ґрунтів додаються за допомогою кнопки Add в меню Define → Materials. Основа повністю насичена водою, отже обираємо вид насичення Saturated Only, вносимо значення пористості Set. Vol. Water Content, коефіцієнта фільтрації Saturated X Conductivity, значення видає викладач. Призначення матеріалу греблі відбувається в Меню Draw → Materials. У вікні обираємо необхідний матеріал і клікаємо мишкою по області геометрії.

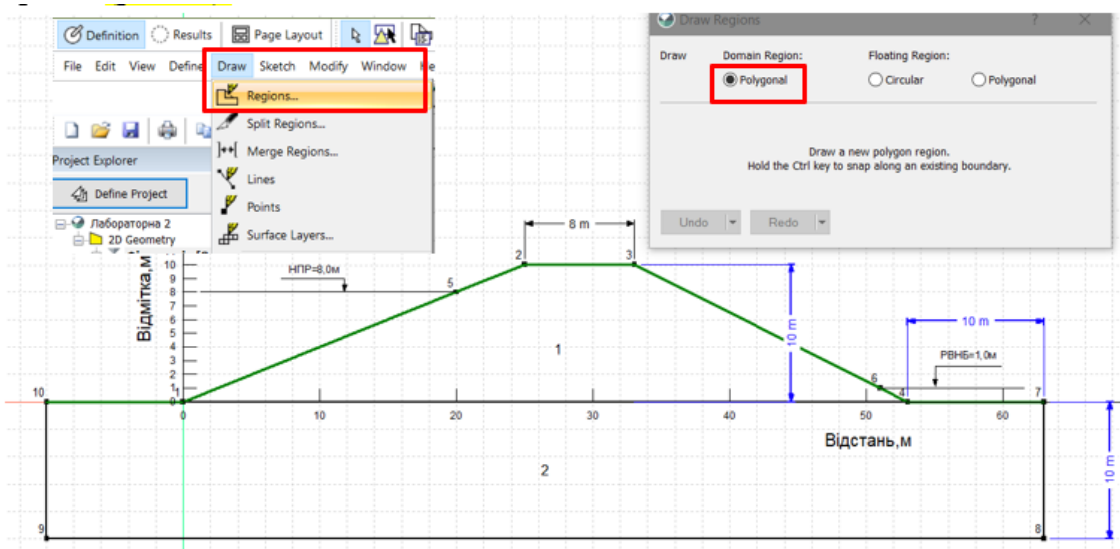


Рис. 14. Створення геометричної основи греблі

6. Граничні умови напорів у верхньому і нижньому б'єфах повинні бути призначені і на укос греблі і на основу (рис. 15).

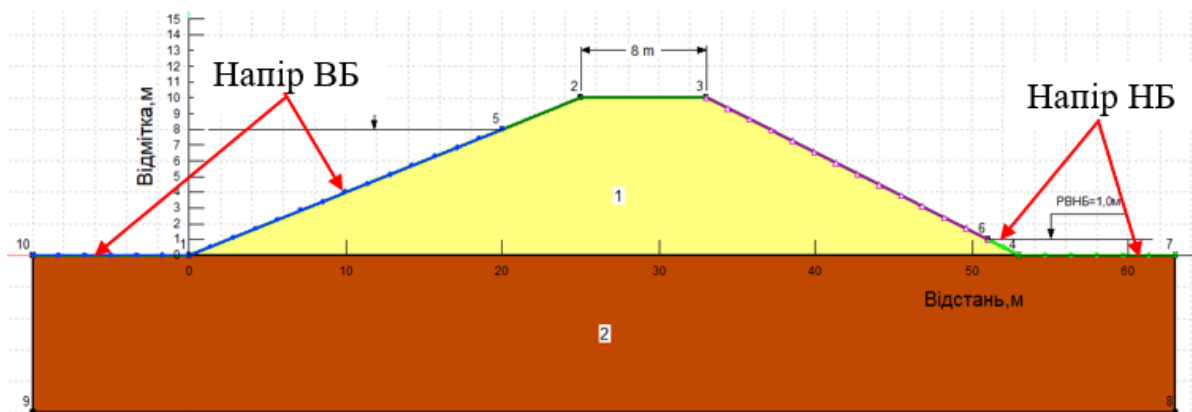


Рис. 15. Призначення граничних умов

7. Запускаємо розрахунок греблі на водопроникній основі та заносимо результати розрахунку в звіт табл. 5.2, рисунок з результатами розрахунку теж вносимо у звіт.

8. Змінюємо коефіцієнт фільтрації основи в меню Define → Materials на значення в 100 разів більше ніж коефіцієнт фільтрації тіла греблі ($k_{\text{фосн}} \gg k_{\text{фгр}}$). Запускаємо розрахунок, результати заносимо в табл. 5.2, рисунок положення кривої фільтрації і градієнтів напору вносимо в звіт.

9. Змінюємо коефіцієнт фільтрації основи в меню Define → Materials на значення в 100 разів менше ніж коефіцієнт фільтрації тіла греблі ($k_{\text{фосн}} \ll k_{\text{фгр}}$). Запускаємо розрахунок, результати заносимо в табл. 5.2, рисунок положення кривої фільтрації і градієнтів напору вносимо в звіт.

ФОРМА ЗВІТУ

Лабораторна робота №5. Моделювання фільтрації через однорідну греблю на водопроникній основі

Наводимо рисунок результатів розрахунку однорідної греблі на водонепроникній основі з положенням кривої фільтрації, вносимо результати в табл. 5.2.

Наводимо властивості матеріалів, які переписуємо з вихідних даних меню Define → Materials, результати заносимо в табл. 5.1.

Розрахунок однорідної греблі на водопроникній основі

У звіті наводимо результати розрахунку однорідної греблі на водопроникній основі, результати розрахунків вносимо в табл. 5.2. Наводимо рисунки для трьох випадків розрахунків греблі на водопроникній основі, на рисунку повинно бути положенням кривої фільтрації та градієнти напорів.

Таблиця 5.1

Властивості матеріалів

Параметр ґрунту	Одиниці виміру	Значення
Однорідна гребля на водонепроникній основі		
Модель матеріалу		
Пористість		
Матеріал ґрунту		
Коефіцієнт фільтрації	м/с	
Однорідна гребля на водопроникній основі		
Основа греблі: $k_{ф\text{ осн}}=k_{ф\text{ гр}}$		
Модель матеріалу		
Пористість		
Коефіцієнт фільтрації	м/с	
Основа греблі: $k_{ф\text{ осн}}>>k_{ф\text{ гр}}$		
Модель матеріалу		
Пористість		
Коефіцієнт фільтрації	м/с	
Основа греблі: $k_{ф\text{ осн}}<<k_{ф\text{ гр}}$		
Модель матеріалу		
Пористість		
Коефіцієнт фільтрації	м/с	

Таблиця 5.2

Розрахунок однорідної греблі на водопроникній основі

№	Напір ВБ, м	Напір НБ, м	Коефіцієнт фільтрації основи, м/с	Перевище ння виходу кривої над РВНБ, м	Градiєнт напору, м/м	Питома витрата, м ³ /с/м
Однорідна гребля на водонепроникній основі						
1						
Однорідна гребля на водопроникній основі						
1						
2						
3						

Висновок: робимо висновки щодо зміни положення кривої фільтрації, градієнта напору та питомої витрати при зміні коефіцієнту фільтрації основи греблі.

Лабораторна робота №6. Моделювання фільтрації через бетонну водозливну греблю на водопроникній основі

Мета роботи:

- вивчити принципи моделювання стаціонарної фільтрації під бетонними спорудами на SEEP/W;
- навчитися моделювати шпунти;
- визначити: епюру сумарного протитиску, місцевий градієнт виходу потоку в нижній б'єф, витрату під спорудою.

Хід роботи

Геометрична модель бетонної водозливної греблі зі шпунтами та вихідні параметри властивостей основи греблі видається викладачем.

1. Відкрити GeoStudio → Лабораторна 6. Водозливна гребля.
2. Відкрити меню Define → Materials та ознайомитися з властивостями матеріалів греблі, властивості матеріалу основи занести в табл. 6.2 звіту.
3. Запускаємо розрахунок водозливної греблі та заносимо результати розрахунку в звіт таблиця 6.3, рисунок з градієнтами напору та результатами розрахунку теж вносимо у звіт.
4. Визначаємо силу протитиску (сума фільтраційного тиску та Архімедової сили). Епюру сумарного протитиску будуюмо за допомогою

Draw Graph, додаємо Add графік Pore-Pressure – Water Pressure, вказуємо розташування по осі X, Set Locations: Select Geometry, виділяємо горизонтальні частини основи, як вказано на рис 16. Натискаємо Show Graph і отримуємо епюру (рис. 17).

Щоб скопіювати дані в Excel натискаємо кнопку More і обираємо Copy Graph Data, вставляємо данні в Excel, отримуємо сумарну епюру фільтраційного тиску та сили Архімеда. Сила сумарного протитиску дорівнює площі фігури між графіком зміни тиску та віссю X, обмежена червоними лініями на рис.17. Рахуємо площу епюри як суму площ трапецій окремих ділянок (приклад табл. 6.1).

5. Визначення витрати під водозливною греблею виконуємо за допомогою побудови графіку Draw → Graph, Add Water Flow – Water Rates, вісь x обираємо значення Time. Для визначення місця в якому необхідно визначити витрату натискаємо кнопку Set Locations. У новому вікні з'явиться можливість обрати геометричний параметр Location → Select Geometry, обираємо нижній б'єф за межами водозливної греблі, натискаємо Show Graph. Результати заносимо в табл. 6.3.

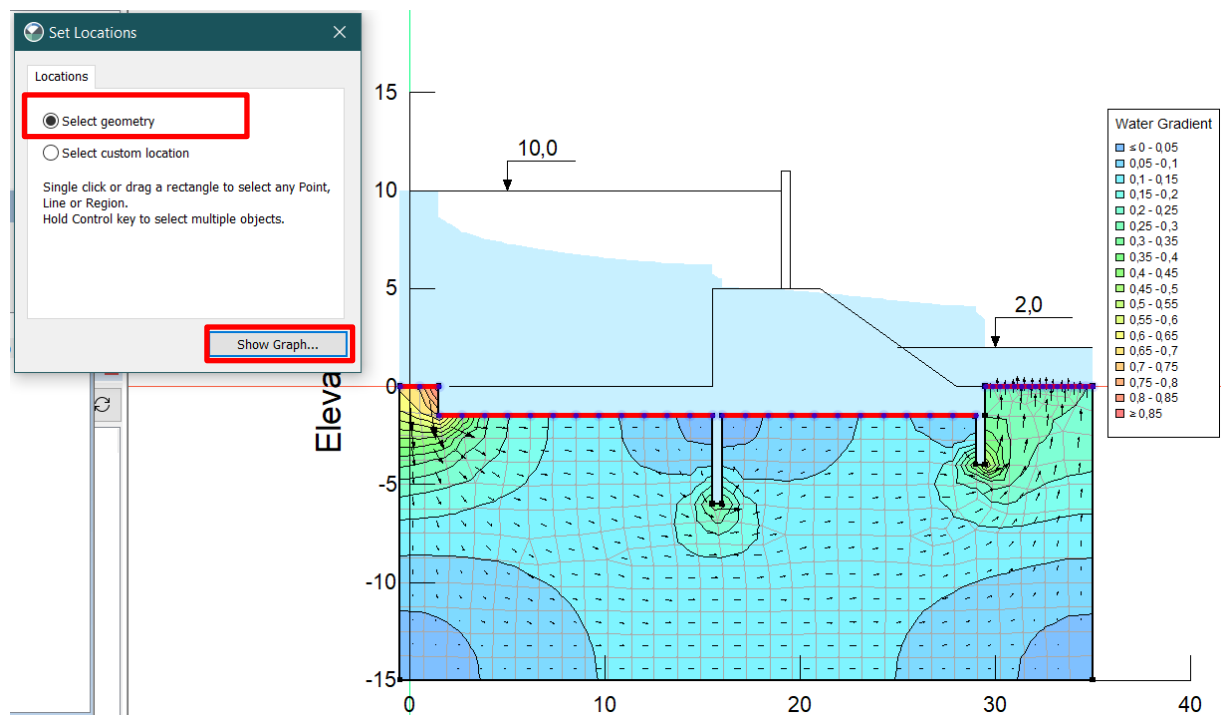


Рис. 16. Побудова епюри фільтраційного тиску

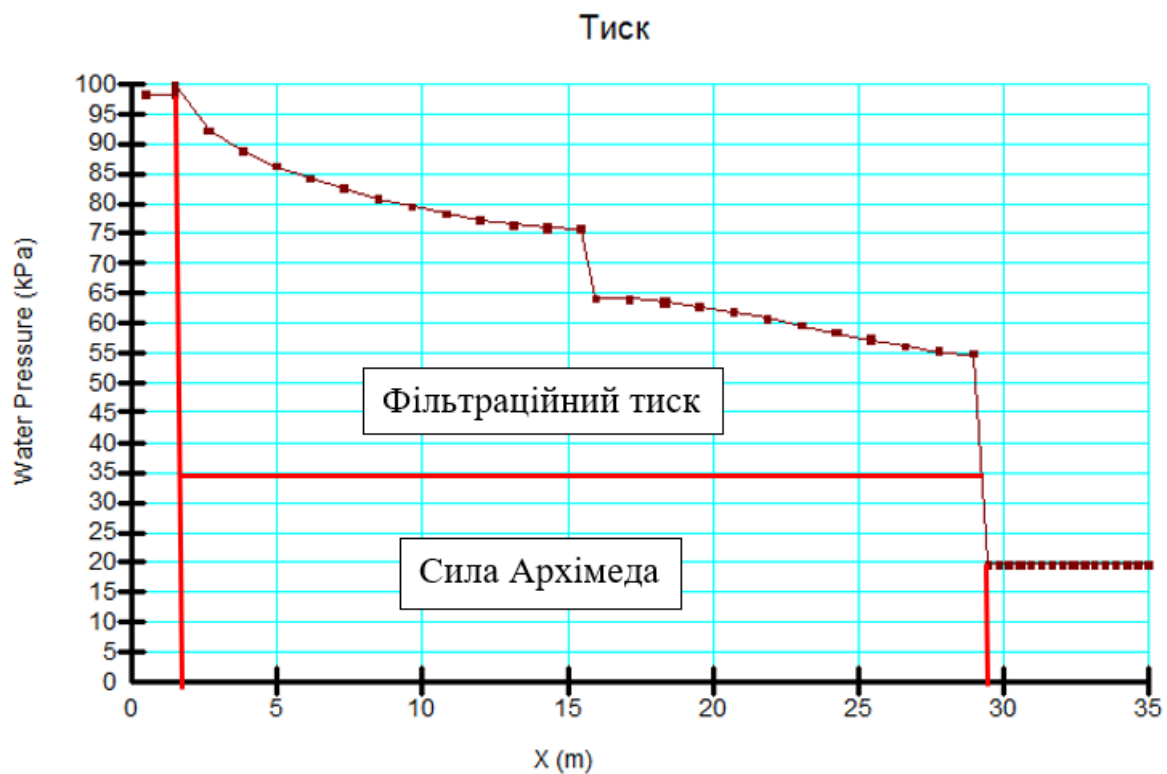


Рис. 17. Епюра сумарного протитиску

Таблиця 6.1

Розрахунок площі епюри протитиску

№	X	P, КПа	H=X ₂ -X ₁	P _{cp} =(P ₁ +P ₂)*0,5	W=H*P _{cp}
1	1,50	99,60	1,17	95,89	111,9
2	2,67	92,19	1,17	90,49	105,6
3	3,83	88,80	1,17	87,52	102,1
4	5,00	86,24	1,17	85,20	99,4
5	6,17	84,16	1,17	83,27	97,2
6	7,33	82,38	1,17	81,60	95,2
7	8,50	80,82	1,17	80,13	93,5
8	9,67	79,44	1,17	78,83	92,0
9	10,83	78,23	1,17	77,71	90,7
10	12,00	77,19	1,17	76,79	89,6
11	13,17	76,39	1,17	76,12	88,8
12	14,33	75,86	1,17	75,77	88,4
13	15,50	75,68	0,50	69,88	34,9
14	16,00	64,09	1,18	64,00	75,6
15	17,18	63,92	1,18	63,67	75,2
16	18,36	63,43	1,18	63,05	74,5

17	19,55	62,68	1,18	62,22	73,5
18	20,73	61,75	1,18	61,22	72,4
19	21,91	60,70	1,18	60,13	71,1
20	23,09	59,56	1,18	58,96	69,7
21	24,27	58,37	1,18	57,77	68,3
22	25,45	57,16	1,18	56,59	66,9
23	26,64	56,02	1,18	55,60	65,7
24	27,82	55,18	1,18	55,02	65,0
25	29,00	54,85	0,50	37,23	18,6
26	29,5	19,61			
Сумарна сила протитиску					1985,70

6. За допомогою іконки Modify Objects зменшуємо довжину верхового шпунта до 4м, низовий шпунт не змінюємо.

7. Виконуємо розрахунок, результати розрахунку заносимо в таблицю 6.3, рисунок з градієнтами напору вносимо в звіт.

8. За допомогою іконки Modify Objects збільшуємо довжину верхового шпунта до 8м, низовий шпунт зменшуємо до 0,5м. Виконуємо розрахунок, результати розрахунку заносимо в табл. 6.3, рисунок з градієнтами напору вносимо в звіт

9. За допомогою іконки Modify Objects підземний профіль греблі модифікуємо до профілю без шпунтів. Виконуємо розрахунок, результати розрахунку заносимо в табл. 6.3, рисунок з градієнтами напору вносимо в звіт.

ФОРМА ЗВІТУ

Лабораторна робота №6. Моделювання фільтрації через бетонну водозливну греблю на водопроникній основі

Наводимо рисунок результатів розрахунку водозливної греблі зі шпунтами, в області основи показуємо градієнти напору, вносимо результати в табл. 6.3.

Наводимо властивості матеріалів, які переписуємо з вихідних даних меню Define → Materials, результати заносимо в табл. 6.2.

Таблиця 6.2

Властивості матеріалів

Параметр ґрунту	Одиниці виміру	Значення
Модель матеріалу		
Пористість		
Коефіцієнт фільтрації	м/с	

Таблиця 6.3

Розрахунок водозливної греблі

№	Довжина шпунта ВБ, м	Довжина шпунта НБ, м	Коефіцієнт фільтрації, м/с	Градiєнт напору в НБ, м/м	Питома витрата, м ² /с	Сила сумарного протитиску у тиску, кН
Водозливна гребля зі шпунтами						
1						
2						
3						
Водозливна гребля без шпунтів						
1						

У звіті наводимо результати розрахунку водозливної греблі, в основі контури градієнтів фільтрації для кожного розрахункового випадку окремо (4 рисунки). Результати зводимо в таблицю 6.3

Висновок: робимо висновки щодо зміни градієнта напору на виході в нижній б'єф, питомої витрати та сили фільтраційного тиску при зміні довжини шпунтів під тілом водозливної греблі.

Список літератури

1. *Видання.* Гідротехнічні споруди. Основні положення: ДБН В.2.4-3:2025. – [Чинний від 2026-01-01] - К.: Мінрозвитку громад та територій України, 2025 – 49 с. (Національний стандарт України).
2. Seepage Modeling with SEEP/W [Електронний ресурс]/ GEO-SLOPE International Ltd - Calgary, Alberta, Canada T2P 2Y5, 2015. – 197р. Режим доступу: <https://ottegroup.com/wp-content/uploads/2021/02/seep-modeling-June2015.pdf> (дата звернення 28.02.2026). – Назва з екрана.
3. Хлапук М.М. Гідротехнічні споруди: навч. посіб. / М.М. Хлапук, Л.А. Шинкарук, А.В. Дем'янюк, О.А. Дмитрієва. – Рівне: НУВГП, 2013. – 241 с.
4. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт Розрахунки гідротехнічних споруд з використання програмного комплексу GeoStudio/ уклад. С.В. Величко, О.В. Дупляк. – Київ : КНУБА, 2024. – 44 с.
5. GeoStudio [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.seequent.com/products-solutions/geostudio/> (дата звернення 28.02.2026). – Назва з екрана.
6. Stability Modeling with GeoStudio [Електронний ресурс]. Copyright © 2022 Seequent Limited, The Bentley Subsurface Company. 255р. Режим доступу: <https://files.seequent.com/PDFs/Geostudio-Stability%20Modeling-Oct2022.pdf#page=1.00> (дата звернення 28.02.2026). – Назва з екрана.

Навчально-методичне видання

ГІДРОТЕХНІЧНІ СПОРУДИ
Методичні вказівки
до виконання лабораторних робіт
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня
вищої освіти спеціальності
G19 «Будівництво та цивільна інженерія»
ОПП «Водогосподарське будівництво»

Укладачі: **Величко** Світлана Віталіївна,
Дупляк Олена Віталіївна

Комп'ютерне верстання *А. П. Селівестрової*

Ум. друк. арк. 1,86 Обл.-вид. арк. 2,0
Електронний документ. Вид № 65/V-26.

Виконавець і виготовлювач

Київський національний університет будівництва і архітектури
Проспект Повітряних Сил, 31, Київ, Україна, 03037

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів
видавничої справи ДК № 808 від 13.02.2002 р