

Інтерпретації даних сучасних методів польових досліджень ґрунтів

Людмила БОНДАРЕВА¹, Іван ЗІМЕНКО², Костянтин БОНДАРЕВ³

Київський національний університет будівництва і архітектури
31, просп. Повітрофлотський, Київ, Україна, 03037,
¹bondareva.lo@knuba.edu.ua, orcid.org/0000-0001-7392-814X
²zimenkovan2000@gmail.com
³kreamor111@gmail.com

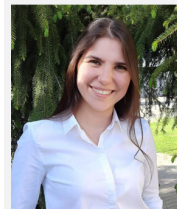
DOI: 10.32347/0475-1132.48.2024.61-74

Анотація. Розглянуто сучасні методи польових випробувань ґрунтів. Досліджено вплив інтерпретації методів польових випробувань на розрахункові міцнісні та деформативні параметри ґрунтів та виконано порівняння з табличними значеннями за ДСТУ;

Сучасне проектування передбачає створення складних геотехнічних моделей при розрахунку взаємодії між основою і конструкціями споруди, що в свою чергу вимагає точних та оперативних досліджень ґрунтів, що є ключовим фактором у проектуванні та будівництві. Лабораторні методи, хоча і дають можливість безпосередньо визначити потрібні параметри, часто вимагають значних витрат часу та ресурсів. Перевага польових методів полягає в тому, що випробування виконується безпосередньо в масиві ґрунту, тобто на результат не впливає транспортування та підготовка зразків до випробувань. Проведення досліджень безпосередньо в масиві надає можливість отримати інформацію про характеристики ґрунтів та їх класифікацію, тобто дає інформацію про нашарування ґрунтів.

У даній публікації розглядаються сучасні методи польових досліджень ґрунтів, зокрема СРТu (Cone Penetration Test аналог статичного зондування ґрунтів) та ДМТ (Dilatometer Test або дилатометричний тест) [1, 2]. Ці методи широко застосовуються в Європі, тоді як для України вони є відносно новими і лише починають набувати популярності. Тому актуально порівняти параметри ґрунтів, які отримані на основі випробувань цими методами з табличними значеннями, що традиційно використовуються в Україні.

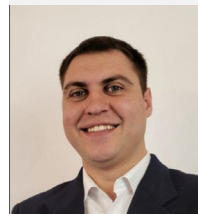
Порівняно значення деформацій та напружень за трьома розрахунковими моделями, що



Людмила БОНДАРЕВА
доцент кафедри
геотехніки
к.т.н., доц.



Іван ЗІМЕНКО
студент кафедри
геотехніки



Костянтин БОНДАРЕВ
спеціаліст,
випускник кафедри
геотехніки

виконані за даними СРТu, ДМТ та

ДСТУ. Зроблено порівняльний аналіз деформацій фундаментної плити при використанні моделей з пружним і пружно-пластичним середовищем.

Для цього було запроєктовано фундаментну плиту та розроблено скінчено-елементну модель будинку досліджуваного фундаменту на масиві ґрунту з похилим нашаруванням ґрунтів, використанні моделі з пружним і пружно-пластичним середовищем.

Ключові слова. Польові випробування, статичне зондування (СРТu), дилатометричні випробування (ДМТ), фундаментна плита, пружне та пружно-пластичне середовище.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Сучасний будівельний сектор та інженерна геологія постійно потребують вдосконалення методів геотехнічних досліджень для визначення характеристик ґрунтів, які необхідні для створення моделей при проектуванні будівель і споруд. Основна перевага польових методів полягає в тому, що випробування проводяться безпосередньо в масиві ґрунту, що унеможливує вплив транспортування та відбору зразків на результати випробувань. Вимірювання виконуються безпосередньо під час польового тесту, інтерпретація даних у більшості випадків автоматизована, що дозволяє швидко передавати дані інженеру у вже обробленому вигляді.

Крім того, спосіб визначення механічних характеристик ґрунтів на місці за допомогою польових методів випробувань є більш швидким та економічно вигідним у порівнянні з лабораторними дослідженнями.

Актуальним завданням у геотехніці є вибір відповідних лабораторних і польових методів, які найкраще підходять для певних інженерно-геологічних умов і відповідних навантажень. З цією метою було виконано порівняння відносно нових для України методів СРТу і ДМТ з табличними довідковими значеннями параметрів ґрунтів, які найчастіше використовуються геологами при визначенні механічних параметрів ґрунтів.

АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

У роботах науковців [3-6] висвітлено переваги та недоліки різних видів польових випробувань ґрунтів. Описані методи визначення параметрів ґрунтів на основі випробувань СРТу, як і використовуються для розрахунку стійкості схилів котлованів і штучних насипей. В роботах Робертсона [7, 8] наведено способи інтерпретації даних отриманих на основі СРТ тесту для визначення механічних параметрів ґрунтів, а також для їх класифікації. Зокрема, у роботах [9, 10] аналізуються способи використання даних статичного зондування (СРТу)

та дилатометричних випробувань (DMT) для числових розрахунків у сучасних програмних комплексах.

МЕТА РОБОТИ

Метою дослідження є порівняти параметри отримані в результаті різних типів польових випробувань, лабораторних досліджень та табличних значень з довідкової літератури. Дослідити вплив інтерпретації даних на міцнісні та деформативні параметри ґрунтів, і обґрунтувати вибір відповідних параметрів для подальших розрахунків.

ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

СРТу – випробування конусного проникнення з вимірюванням порового тиску або без нього (СРТу/СРТ) є найбільш широко використовуваним польовим методом для стратиграфічного профілювання та оцінки параметрів ґрунту. У порівнянні з відбором проб і лабораторним тестуванням, це забезпечує швидкий і економічний збір і інтерпретацію даних.

Основними частинами зонда СРТу є конус, фрикційна втулка та фільтр – датчик порового тиску.

Зонд має форму конуса з кутом нахилу 60° і базовою поверхнею, як правило, 10 або 15 см². Стандартний розмір конуса становить 10 см², тоді як конуси 15 см² використовуються при установці додаткових датчиків на зонд. Поверхня фрикційної втулки над конусом дорівнює 150 см²[1, 5] (Рис.1).

Обладнання, що використовується для пресування зонда, зазвичай складається з гідравлічного крана та системи анкерування в ґрунт (Рис.2). Максимально допустиме зусилля вдавлювання для діаметра $d = 35,7$ мм (10 см²) становить 20 тонн (200 кН). Також обмежити зусилля вдавлювання можуть слабкі ґрунти з поверхні, які не дають можливості якісно закріпити машину і обмежити можливість її підняття.

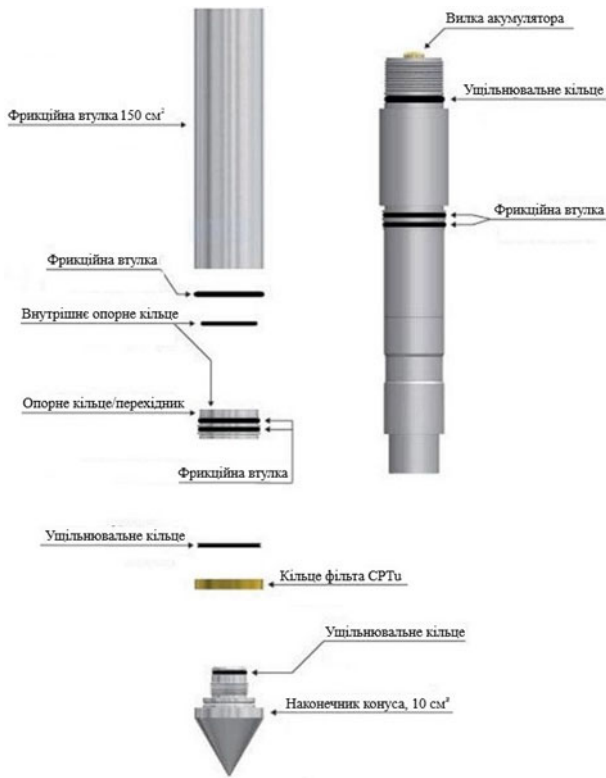


Рис.1. Конструкція зонду CPTu.
Fig.1. Construction of CPTu.



Рис.2. Машина CPTu.
Fig.2. Cone penetration test machine

Для випробувань у твердих ґрунтах необхідно провести попереднє буріння, щоб уникнути перевантаження та пошкодження

зонда. Обладнання для втиснення має бути розташоване таким чином, щоб занурення зонда було максимально вертикальним. Відхилення від початкового напрямку втиснення не повинно перевищувати 2° , і штанги перед випробуванням треба перевірити на наявність деформацій і відхилень від початкової геометрії.

Випробування CPTu виконуються шляхом занурення п'єзоконуса в ґрунт із постійною швидкістю 2 см/с. Щоб досягти необхідної глибини, в процесі вдавлювання додають однометрові штанги. Тестові спостереження та параметри записуються з інтервалами в 1 см. на комп'ютері в режимі реального часу (Рис.3).

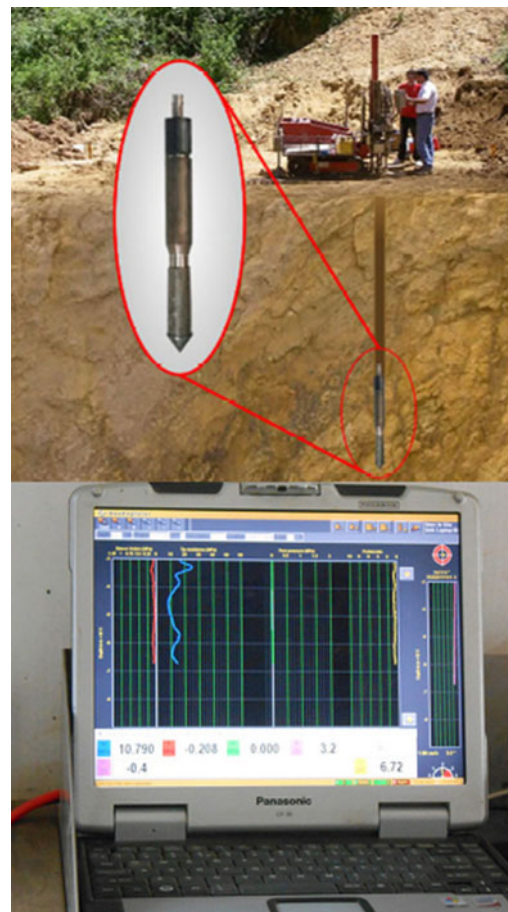


Рис.2. Процес виконання польового випробування CPTu..
Fig.2. The process of performing in-situ CPTu

За допомогою CPTu безпосередньо вимірюються два параметри: тertia по бічній поверхні - f_s [кПа], опір під конусом зонду - q_c [МПа] та поровий тиск u [кПа] (рис.4).

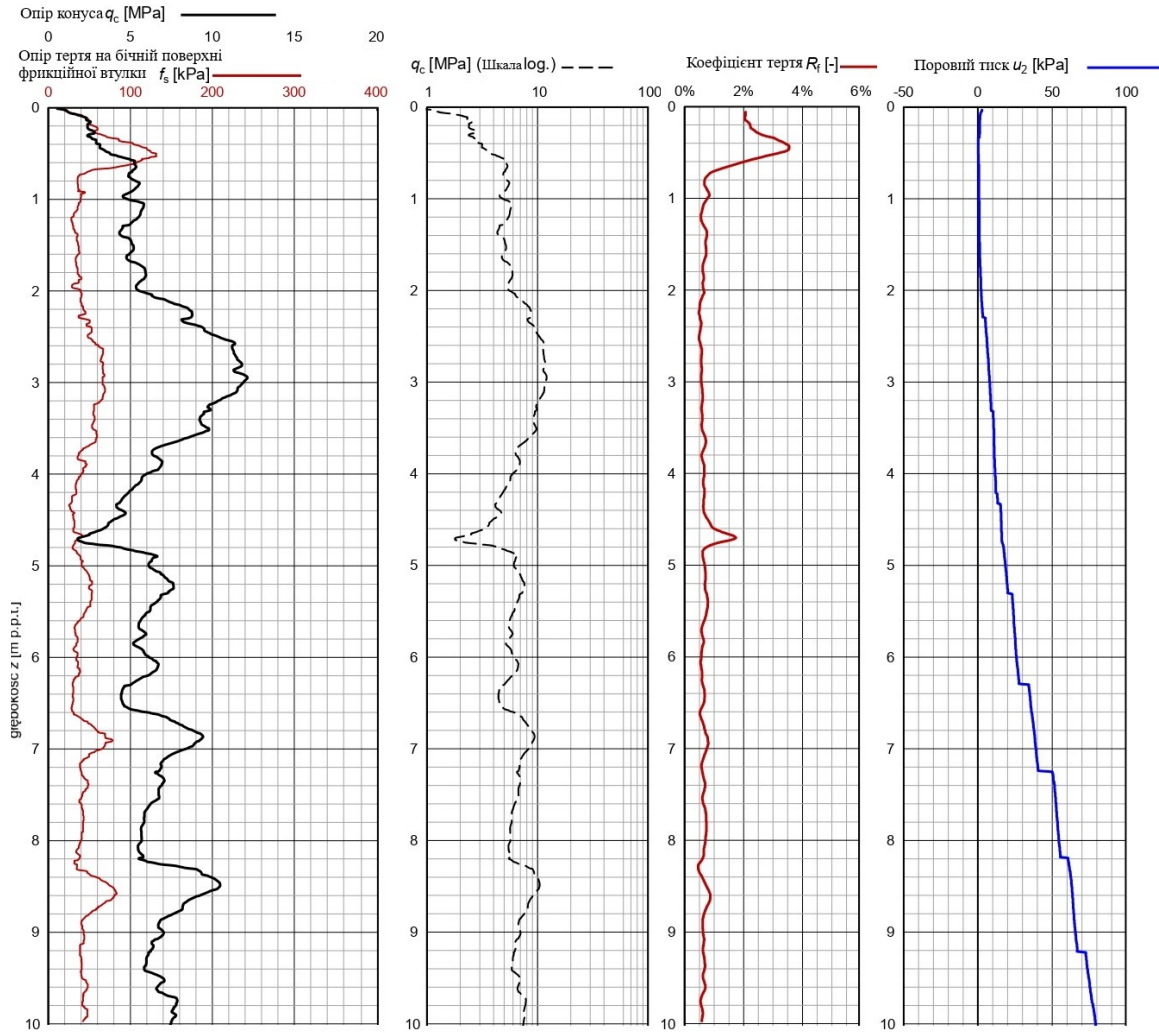


Рис.4. Графіки реальних випробувань СРТу.
Fig.4. Graphs of CPTu.

Тип ґрунту визначається за даними статичного зондування з використанням методу, запропонованого Робертсоном [6,7]. Для цього використовується наведена нижче номограма (рис. 5) та ряд параметрів, які вимірюються при зондуванні і автоматично обчислюються програмами по мірі надходження даних. Ця номограма класифікує ґрунти на дев'ять різних типів (табл. 1) на основі характеру їх поведінки. Кружечками на рис. 5 показані значення показника I_c , визначені за формулою та наведені в табл. 1.

$$I_c = \sqrt{(3,47 - \log(Q_t))^2 + (\log(F_r + 1,22))^2} \quad (1)$$

де Q_t - нормований опір конуса; F_r - нормований коефіцієнт тертя;

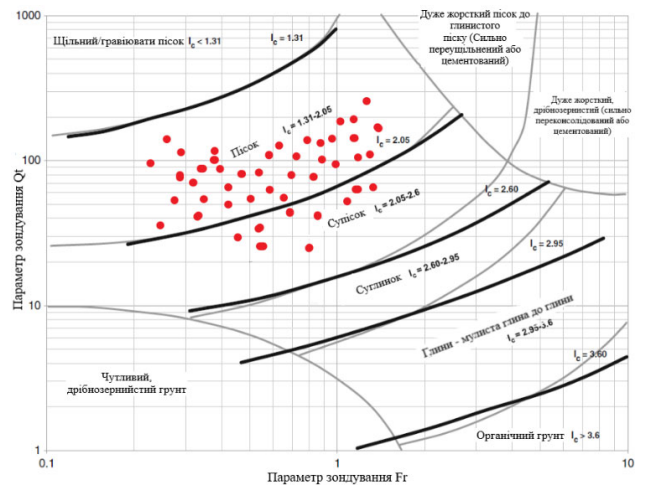


Рис.5. Класифікаційна діаграма Робертсона.
Fig.5. Robertson's classification chart.

Параметр I_c використовується для формалізованої класифікації ґрунту на основі номограми. Зазвичай для глинистих ґрун-

тiв використовується I_c -iндекс консистенцiї, а для piщаних I_D – iндекс щiльностi. Бiльш детальну iнформацiю про цей метод можна знайти в роботах [1, 6, 7]

На основi виконаних вимiрювань вико-

нується iнтерпретацiя за методом Робертсона [1, 4] та визначаються такi характеристики ґрунту як: кут внутрiшнього тертя - ϕ , питоме щеплення - c , модуль стисливостi - M i модуль деформацiї – E i тд (рис.6).

Табл. 1 Загальна класифiкацiя типiв ґрунтiв за Робертсоном
Table 1. General soil type classification according to Robertson

СPTu-зони (Robertson et al., 1990)	Запропонована класифiкацiя ґрунтiв за СPT	iндекс I_c
1	Глинистi ґрунти в текучому та текучопластичному станi	–
2	Глина – органо-мiнеральнi ґрунти	< 3,6
3	Глина - суглинок	2,95-3,6
4	Суглинок -супiсок	2,6-2,95
5	Супiсок- piсок пилюватий	2,05-2,6
6	Пилюватий piсок - чистий piсок, мулистий piсок	1,31-2,05
7	Щiльний piсок – гравiюватий piсок	> 1,31
8	Сцементований piсок – переущiльнена глина	–
9	Сцементована глина	–

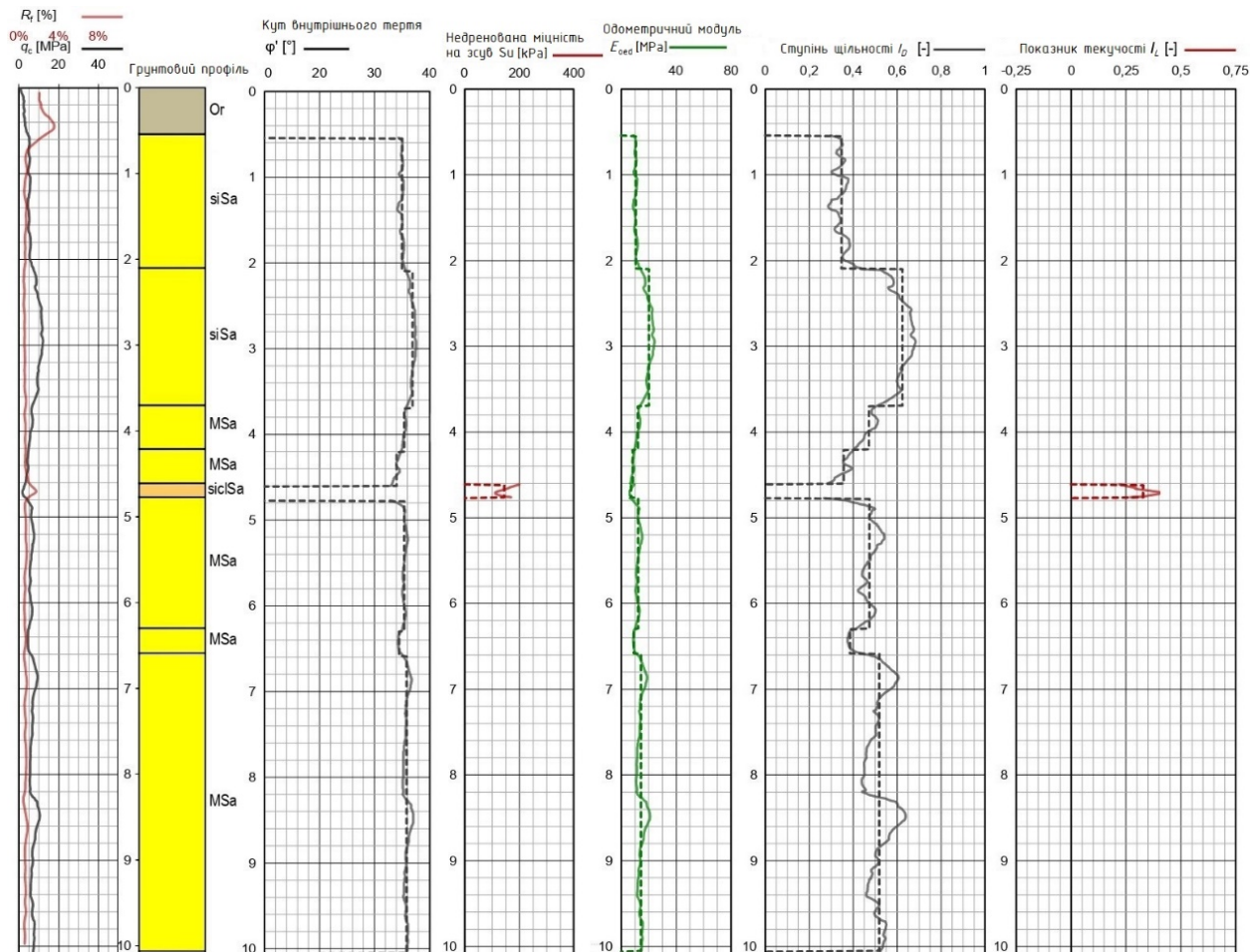


Рис.6. Графiки параметрiв, якi отриманi за допомогою iнтерпретацiї даних.
Fig.6. Graphs of CPTu data interpretations.

Важливо наголосити, що інтерпретація деформативних параметрів за цим методом є досить наближеною. Так для прикладу Робертсон і Кампанелла [8] запропонували кореляцію для оцінки значення кута внутрішнього тертя для пісків.

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{1}{2,68} \left[\lg \left(\frac{q_c}{\sigma'_{v0}} \right) + 0,29 \right] \quad (2)$$

де q_c – опір конусу; σ'_{v0} – природний тиск ґрунту;

Оцінка модуля деформації обґрунтовуються на кореляції між лобовим опором і одометричним модулем деформації у вигляді лінійної залежності.

$$M = \alpha_k \times q_c \quad (3)$$

У цій формулі коефіцієнт α_k може змінюватись в діапазоні від 5 до 8 і більше, що в сою чергу суттєво впливає на інтерпретовані параметри ґрунту.

Додаткові відомості про інтерпретацію даних за польовим випробуванням СРТu можна знайти в наукових дослідженнях [9]

Наступний, розглянутий в роботі польовий метод випробування ґрунтів це DMT (Marchetti's dilatometer testing) – випробування дилатометром Марчетті. Він був створений Сільвано Марчетті (1980) і є одним із найбільш універсальних інструментів для визначення деформативних характеристик ґрунту. Основна перевага цього польового дослідження є в прямому вимірюванні дилатометричного модуля тобто характеристики стисливості ґрунту. Іншими словами визначаємо модуль користуючись прямими вимірюваннями без використання інтерпретації.

Дилатометр складається з сталевого леза, виготовленого з високоміцної термічно обробленої нержавіючої сталі, шириною близько 1-2 см, товщиною 1,5 см з круглою сталевую гнучкою мембраною діаметром 60 мм опуклої форми на одній зі сторін.(рис. 7).

Вимірювання DMT проводять безпосе-

редньо на майданчику, що дозволяє уникнути відбору зразків ґрунту, їх подальшого транспортування та підготовки до лабораторних випробувань. Лезо дилатометра вдавлюється з постійним навантаженням кожні 20 см, після чого через штанги та кабель подається газ, що розширює мембрану на 1,1 мм. Вдавлювання здійснюється за допомогою стандартних СРТ штанг, через які проведено електро-пневматичний кабель, що з'єднує лезо дилатометра, що знаходиться в ґрунті, з блоком керування та газовим балоном, що знаходяться на поверхні.

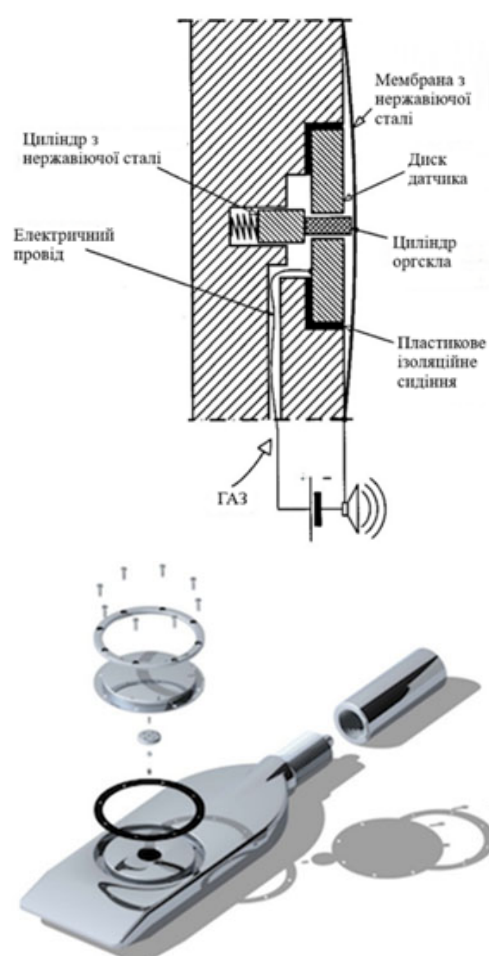


Рис.7. Конструкція дилатометра Марчетті.
Fig.7.Construction of the Marchetti dilatometer.

Під час випробування, коли лопатка досягає потрібної глибини, знімають два показники: тиск А (на початку розширення мембрани) і тиск В (для зміщення центру мембрани на 1,1 мм). Якщо потрібно, можуть також вимірювати третій показник – тиск С (тиск закриття вентиля), зменшуючи

тиск газу. Після цього лопатка вдавлюється на наступну глибину випробування (рис.8).

Кожен тест займає близько 1 хвилини. Обладнання комп'ютеризоване, запис значень ведеться автоматично. Варто зазначити, що дане обладнання дозволяє нагнітати в систему тиск газу до 8 МПа, що є цілком достатнім для випробувань практично всіх дисперсних ґрунтів [10].

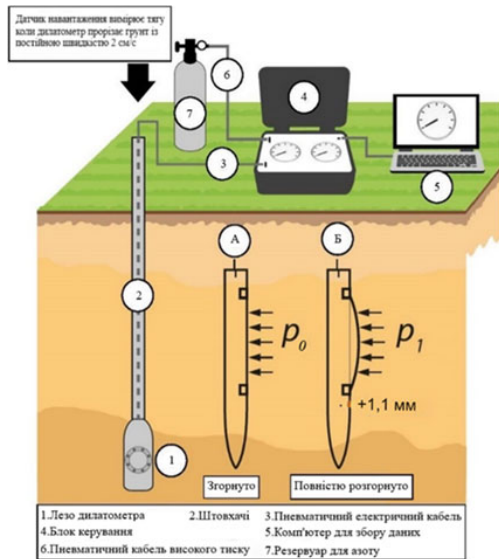


Рис.8. Процес виконання випробувань DMT.
Fig.8. The process of performing DMT.

Під час обробки результатів DMT на основі отриманих тисків P_0 та P_1 (рис. 9) обчислюються так звані проміжні параметри. Серед них:

- Індекс I_d - показник, на основі якого визначається тип ґрунту;
- K_D - дилатометричний індекс бічного тиску в ґрунті. Важливо зауважити, що цей параметр не слід плутати з коефіцієнтом бічного тиску спокою в ґрунті K_0 .
- E_D - дилатометричний модуль. Цей параметр обчислюється при розв'язанні задач теорії пружності і характеризує деформацію ґрунту в горизонтальному напрямку.

На основі проміжних параметрів обчислюються кінцеві (рис.10):

- а) вертикальний модуль деформації M_D , цей модуль деформації позиціонується розробниками як одометричний і обчислюється як дилатометричний модуль E_D , помножений на певний коефіцієнт R_M ;

- б) недренована міцність на зсув C_u ;
- с) коефіцієнт бокового тиску K_0 і розрахунковий рівень надмірної консолідації OCR;

для піщаних ґрунтів може бути розрахований кут внутрішнього тертя ϕ [10].

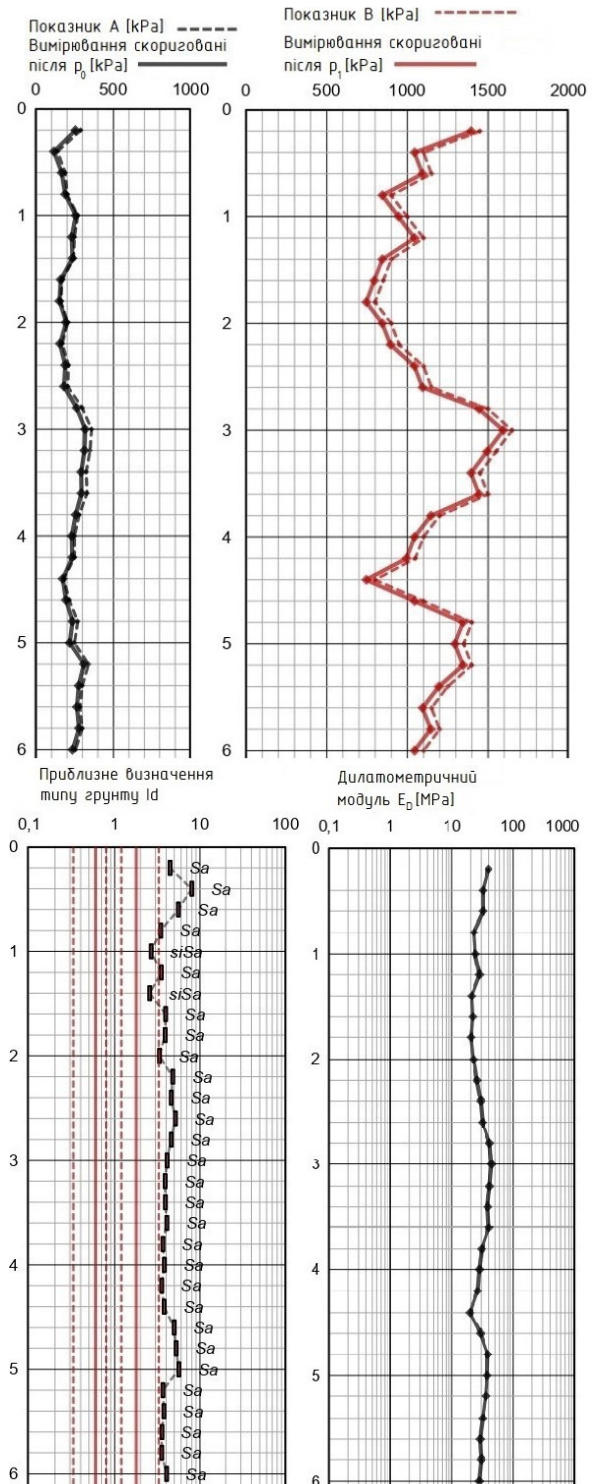


Рис.9. Отримані дані за допомогою випробувань DMT.
Fig.9. Data obtained using DMT tests.

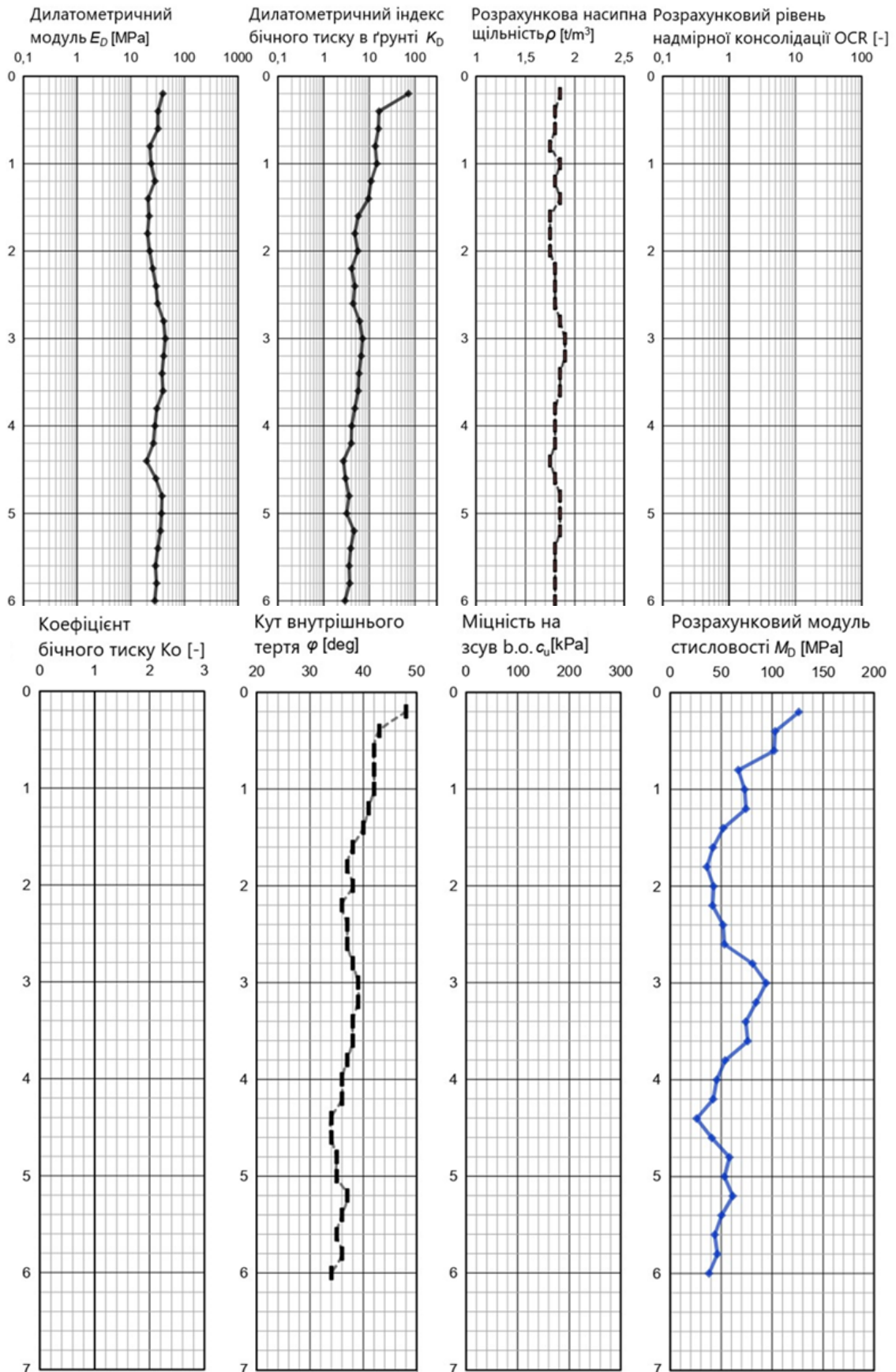


Рис.10. Графіки інтерпретованих даних по DMT.
 Fig.10. Graphs of interpreted data from DMT.

Часто замість проведення лабораторних вимірювань за допомогою приладів (наприклад, одометрів чи стабілометрів), що є дорогою процедурою, значення часто визначають на основі стандартів ДСТУ, які ґрунтуються на фізичних параметрах ґрунту. Тому доцільно провести порівняння між двома дослідженнями (СРТу, ДМТ) та табличними значеннями ДСТУ.

Для визначення параметрів за ДСТУ, таких як модуль деформації (E), кут внутрішнього тертя (ϕ) та питоме щільність (c), потрібно знати вид і стан ґрунту. Вид ґрунту визначається за класифікацією Єврокоду 7. Для визначення різновиду піщаного ґрунту потрібно знати коефіцієнт пористості (e). Хоча Єврокод не містить прямого показника коефіцієнта пористості, за допомогою індексу I_d (ступінь щільності) можна визначити різновид ґрунту та наближено визначити значення коефіцієнта пористості (рис.11).

Отримані дані за інтерпретацією СРТу та ДМТ та табличні значення за ДСТУ наведені в порівняльній таблиці (рис. 12)

За результатами порівнянь, отриманими згідно з (ДСТУ), виявлено переоцінку кута внутрішнього тертя від 3,94% до 20,85% у

порівнянні зі значеннями, інтерпретованими за допомогою СРТу, та від 1,43% до 26% у порівнянні зі значеннями, отриманими за допомогою ДМТ. Значення отримані за ДСТУ і ДМТ мають високу збіжність починаючи з глибини 2 м (рис.13).

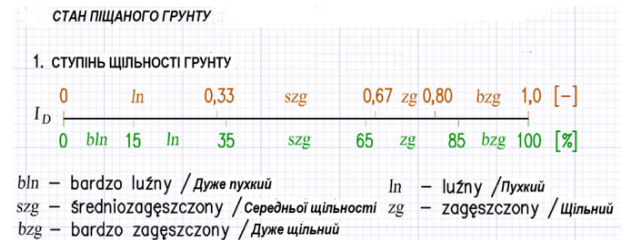


Рис.11. Графік для визначення стану ґрунту.
Fig.11. Chart for determining soil condition.

Порівняльний аналізи значень модуля деформації для піску середньої крупності на різних глибинах, показав, що параметри, отримані на основі (ДСТУ), в результаті занижують модуль деформації практично вдвічі порівняно з результатами, отриманими за допомогою СРТу. Також виявлено, що значення модуля деформації, отримані за допомогою ДМТ, є найменшими у порівнянні з СРТу та ДСТУ (рис.14).

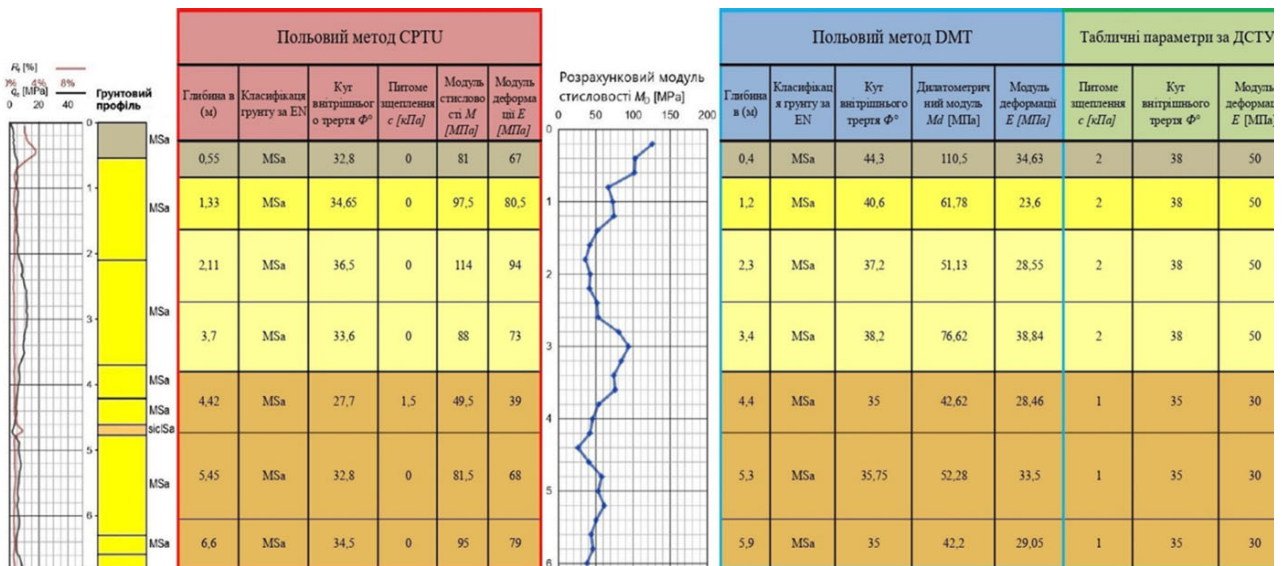


Рис.12. Порівняльна таблиця отриманих даних за різними методами досліджень.

Fig.12. Comparative table of data obtained by different research methods.

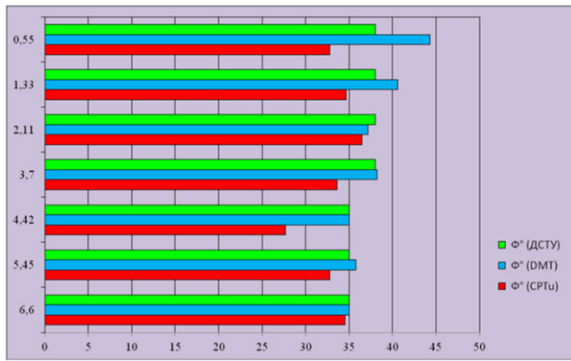


Рис.13. Порівняльна кута внутрішнього тертя.
Fig.13. Comparative friction angle.

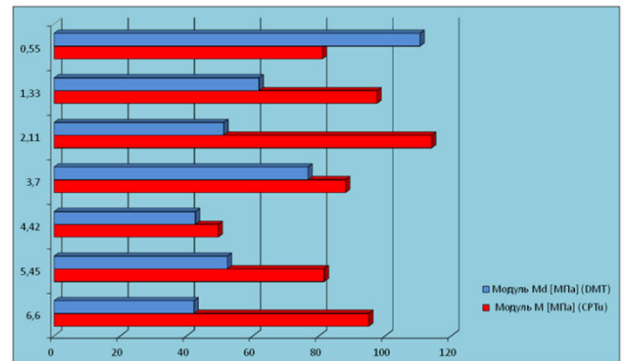


Рис.15. Порівняння модуля стисливості.
Fig.15. Comparison of compressibility modulus.

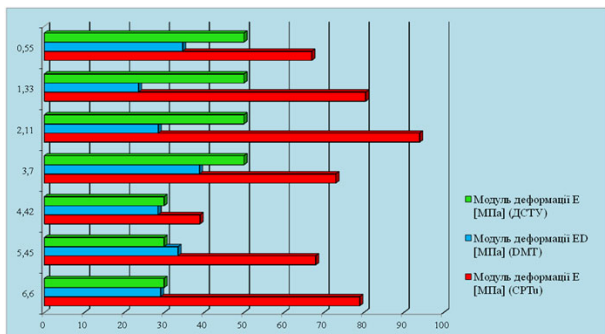


Рис.14. Порівняння модуля деформації.
Fig.14. Comparison of deformation modulus.

Модуль стисливості, отриманий за допомогою польового методу CPTu, в основному перевищує значення, отримані шляхом випробування DMT. Різниця між цими значеннями може становити до 56%. (рис.15).

Для більш детального порівняння отриманих результатів розроблено скінченоеlementну модель будинку на масиві ґрунту з похилим нашаруванням ґрунтів, використанні моделі з пружним і пружнопластичним середовищем (рис.16).

Фундаментна плита розташована на двох типах ґрунту, а саме пісок середньої крупності та середньої щільності та пісок крупний щільний.

При використанні пружного середовища задаємо такі параметри ґрунту як модуль деформації E та коефіцієнт Пуассона ν . Значення параметрів ґрунту наведені в табл. 2.

Після того, як задали параметри ґрунту, був виконаний розрахунок для визначення переміщень фундаментної плити і отримано, що найбільші переміщення виникають у ґрунтах з характеристиками, отриманими за DSTU (рис.17).

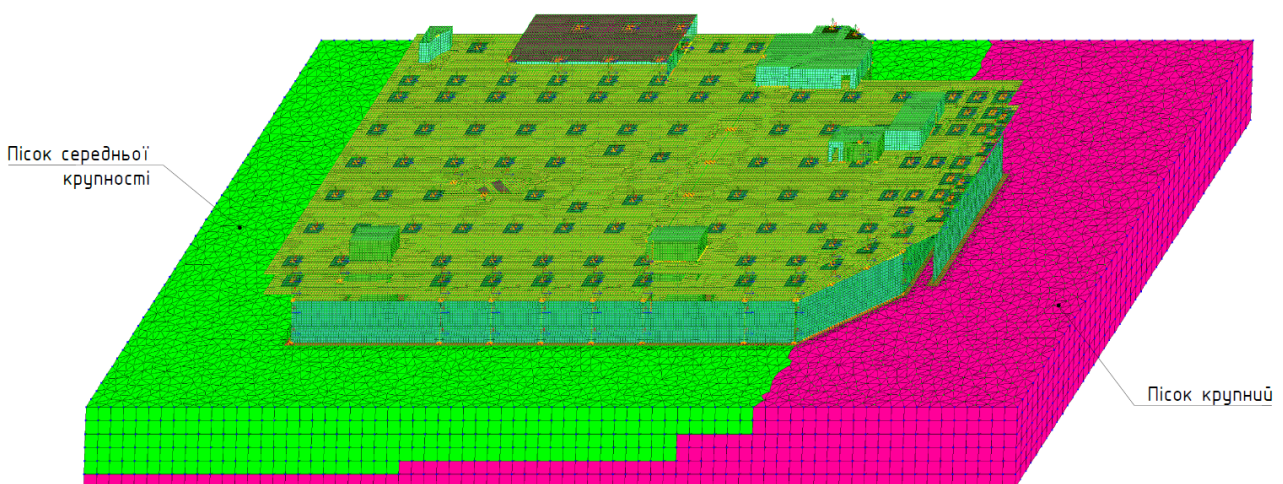


Рис.16. Скінчено-елементна модель будинку на масиві ґрунту з похилим нашаруванням ґрунтів.
Fig.16. Finite element model of a building on a soil massif with sloping layering of soils

Табл. 2. Параметри ґрунтів для трьох моделей при пружному середовищі.
Table 2. Soil parameters for three models in an elastic environment

Пісок середньої крупності			
Найменування моделі :	СРТу	DMT	ДСТУ
Модуль деформації E [т/м ²] :	6322,24	3091,78	3059,15
Коефіцієнт Пуассона ν :	0,3	0,3	0,3
Пісок крупний			
Найменування моделі :	СРТу	DMT	ДСТУ
Модуль деформації E [т/м ²] :	15805,6	5730,81	5098,58
Коефіцієнт Пуассона ν :	0,3	0,3	0,3

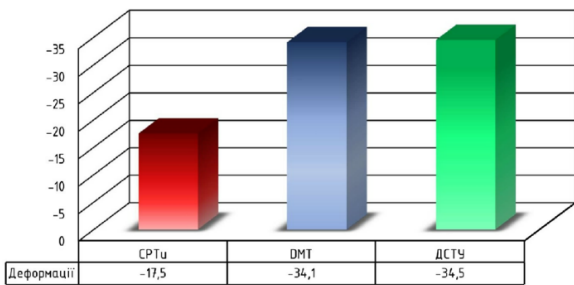


Рис.17. Діаграма порівняння максимальних осідань фундаментної плити за трьома моделями.

Fig.17. Comparison chart of maximum foundation displacements according to three models.

Також при порівнянні напружень за трьома розрахунковими моделями, виявлено, що найбільші значення виникають у розрахунковій моделі, за даними DMT. Максимальні значення за даними DMT перевищують напруження отриманих з використанням даних СРТу до 21 % та всього на 1% для даних за ДСТУ. Найбільші значення напружень у стисненій зоні фундаментної плити виникають у розрахунковій моделі, яка виконана за даними ДСТУ. Різниця значення між моделями з використанням даних ДСТУ та використанням даних СРТу може бути більше 2-х разів (рис.18).

При моделюванні пружно-пластичного середовища ґрунтового масиву використовуємо математичну модель Кулона-Мора. Характер деформування в даній моделі має лінійний характер, деформації в ґрунті прямопропорційно залежить від рівня напружень σ , і величина модуля ϵ сталою.

Данна модель включає два параметри міцності: c – питоме щеплення ґрунту, ϕ – кут внутрішнього тертя [11].

При використанні пружно-пластичного середовища окрім модуля деформації та коефіцієнт Пуассона задаємо параметр ϕ – кут внутрішнього тертя та параметр c – питоме щеплення ґрунту (табл.3).

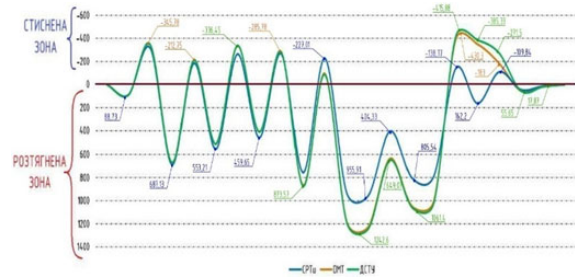


Рис.18. Діаграма порівняння максимальних напружень в фундаментній плиті.

Fig.18. Comparison diagram of foundation slab stresses according to three models.

Табл. 3. Параметри ґрунтів для трьох моделей при пружно-пластичному середовищі.
Table 3. Soil parameters for three models in an elastic-plastic model.

Пісок середньої крупності			
Найменування моделі :	СРТу	DMT	ДСТУ
Модуль деформації E [т/м ²] :	6322,24	3091,78	3059,15
Коефіцієнт Пуассона ν :	0,3	0,3	0,3
Кут внутрішнього тертя ϕ [°] :	32	35,3	35
Питоме щеплення c [т/м ²] :	0,1529	0,01019	0,1019
Пісок крупний			
Найменування моделі :	СРТу	DMT	ДСТУ
Модуль деформації E [т/м ²] :	15805,6	5730,81	5098,58
Коефіцієнт Пуассона ν :	0,3	0,3	0,3
Кут внутрішнього тертя ϕ [°] :	38	42,3	43
Питоме щеплення c [т/м ²] :	0,01019	0,01019	0,2039

Після того, як задали параметри ґрунту, був виконаний розрахунок для визначення переміщень фундаментної плити і отримані результати були порівняні з результатами розрахункової моделі з пружним середовищем (рис. 19).

Аналіз показав, що лінійна та нелінійна задачі демонструють майже однакові результати, оскільки рівень напружень відповідає лінійному діапазону залежності між напруженнями і деформаціями. Різниця у переміщеннях становить менше одного відсотка (рис. 20).

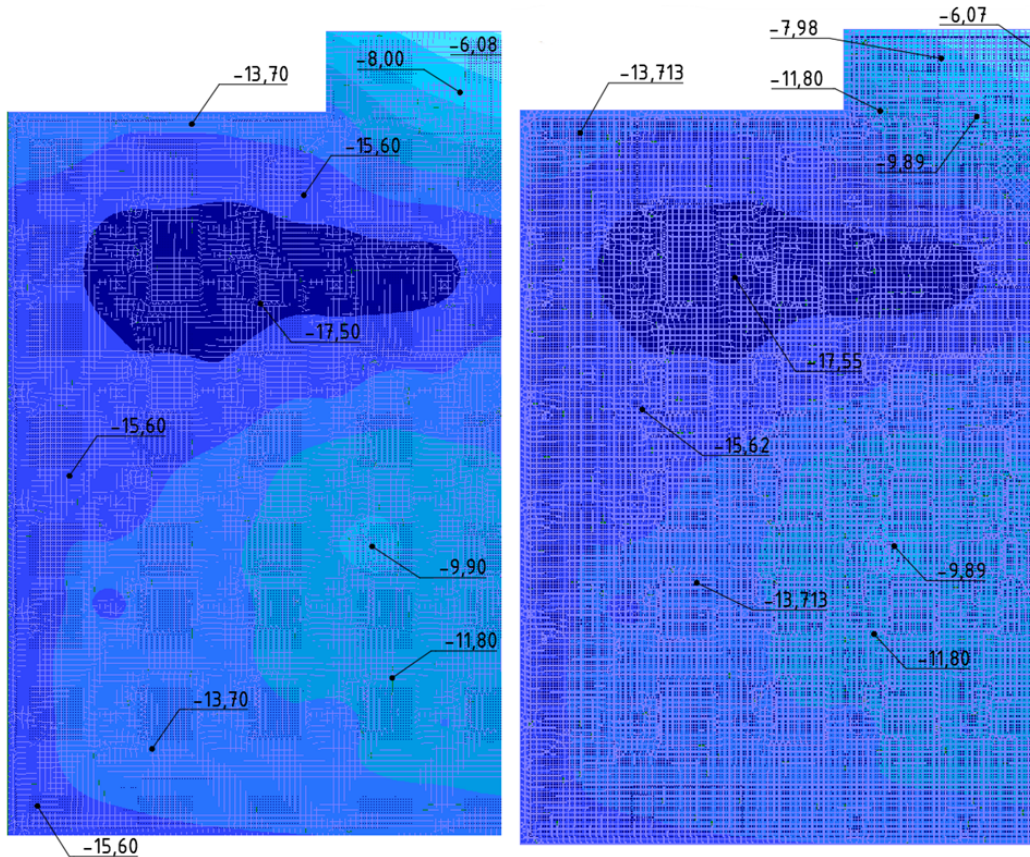


Рис.15. Ізополя переміщень по напрямку Z за даними отриманими за СРТу з використанням: а) у пружному середовищі; б) у пружно-пластичному
 Fig.15. Isofield of displacements in Z direction according to the data obtained by CPTu using: a) elastic model; b) elastic-plastic model

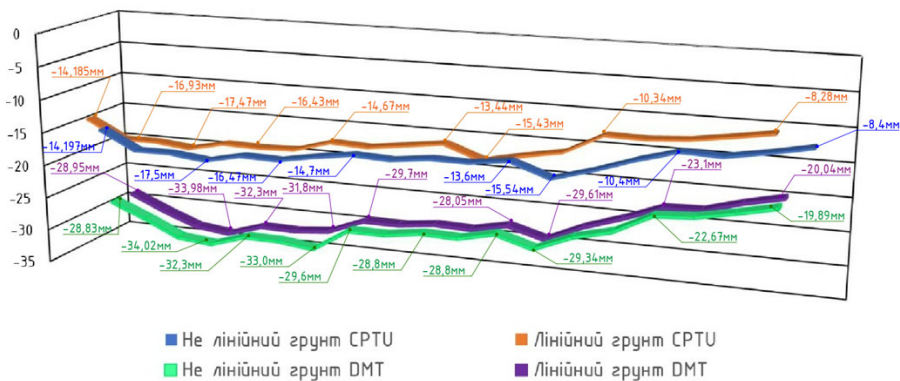


Рис.16. Графік порівняння осідань для лінійної та не лінійної моделі ґрунту на основі отриманих значень СРТу та DMT
 Fig.16. Comparison graph of linear and non-linear soil model based on the obtained values of CPTu and DMT.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Отримано, що дані за ДСТУ показують переоцінку кута внутрішнього тертя до 21% у порівнянні з результатами, отриманими за допомогою СРТу. Також виявлено, що зна-

чення, отримані за ДСТУ і DMT, мають високу збіжність, починаючи з глибини 2 метри і далі.

З'ясовано, що модуль деформації, визначений на основі табличних значень ДСТУ, практично вдвічі менший, ніж той, який

отриманий за допомогою СРТу. Крім того, виявлено, що значення модуля деформації, виміряні за допомогою DMT, є найменшими порівняно з результатами СРТу та ДСТУ.

Модуль стисливості, отриманий за допомогою польового методу СРТу, в основному перевищує значення, отримані шляхом випробування DMT. Різниця між цими значеннями може становити до 56%.

Аналіз осідань фундаментної плити за розрахунковими моделями показав, що найбільші переміщення виникають у ґрунах з характеристиками, отриманими за ДСТУ.

Спостерігається що значення осідань за даними DMT та ДСТУ подібні. Значення отримані на основі даних СРТу у два рази менші.

Найбільші значення напружень у розтягненій зоні фундаментної плити виникають у розрахунковій моделі, яка виконана за даними DMT. Максимальні значення за даними DMT перевищують напруження отриманих з використанням даних СРТу до 21 % та всього на 1% для даних за ДСТУ.

Найбільші значення стисненої зони фундаментної плити виникають у розрахунковій моделі, яка виконана за даними ДСТУ. Різниця значення між моделями з використанням даних ДСТУ та використанням даних СРТу може бути більше 2-х разів.

Порівняння деформацій фундаментної плити при використанні моделей з пружним і пружно-пластичним середовищем показало різницю в межах 1 %;

- stateczności skarp głębokich wykopów. / W. Szajna // *Zeszyty Naukowe. Inżynieria Środowiska – Zielona góra: UZ.* – 2010. – 139(19). – p. 93-104
4. Lunne T. Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice / T. Lunne, P.K. Robertson, J.J.M. Powell. – Blackie Academic/Chapman & Hall, E&FN Spon, 1997. – 312 c.
 5. Robertson, P.K. Void Ratio Redistribution in Undrained Triaxial Extension Tests on Ottawa Sand. / P.K. Robertson, A. Ayoubian // *Canadian Geotechnical Journal* – 1997. – Vol. 35(2). – p 351-359
 6. Lingwanda M.I. Comparison of geotechnical uncertainties linked to different soil characterization methods. / M.I. Lingwanda, A. Prätstings, S. Larsson, D. L. Nyaoro // *Geomechanics and Geoengineering* – 2017. – Vol. 12. – p 137-151.
 7. Robertson, P.K. Interpretation of the Cone Penetrometer Test, Part II: Clay. / P. K. Robertson, R.G. Campanella // *Canadian Geotechnical Journal* – 1983. – Vol. 20(4). – p. 734-745.
 8. Ameratunga J. Correlations of Soil and Rock Properties in Geotechnical Engineering / J. Ameratunga, N. Sivakugan, B.M. Das. – Springer New Delhi – 228 c. doi:10.1007/978-81-322-2629-1
 9. Labuz J.F. Mohr–Coulomb Failure Criterion. / J. F. Labuz, A Zang // *Rock Mechanics and Rock Engineering.* – 2012. – Vol. 45(6). – p 975–979 doi:10.1007/s00603-012-0281-7
 10. Основи та фундаменти споруд. Зміна № 1: ДБН В.2.1–10–2009. – [Чинний від 2011–07–01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 55с.

REFERENCES

ЛІТЕРАТУРА

1. Młynarek Z. The Use of CPTU and DMT Methods to Determine Soil Deformation Moduli - Perspectives and Limitations / Z. Młynarek T. Lunne, J. Wierzbicki // *Studia Geotechnica et Mechanica* - Zielona Gora: UZ. – 2023. – 45(s1). p. 1-29. doi:10.2478/sgem-2023-0021.
2. Marchetti S. The Flat Dilatometer Test (DMT) in Soil Investigations / S. Marchetti, P. Monaco, G. Totani, M. Calabrese. – University of L'-Aquila, Italy, 2001. – 41 c.
3. Szajna W. Wykorzystanie badań CPTu do wyznaczania parametrów gruntu w analizie

1. Młynarek Z., Lunne T., Wierzbicki J (2023). The Use of CPTU and DMT Methods to Determine Soil Deformation Moduli— Perspectives and Limitations. *Studia Geotechnica et Mechanica* 45(s1), 1-29. doi:10.2478/sgem-2023-0021.
2. Marchetti S., Monaco P., Totani G., Calabrese M. (2001) The Flat Dilatometer Test (DMT) in Soil Investigations. University of L'-Aquila, Italy, 41.
3. Szajna W. (2010). Wykorzystanie badań CPTu do wyznaczania parametrów gruntu w analizie stateczności skarp głębokich wykopów.[Application of CPT in determination of soil parameters in slope stability analysis of deep

- excavations] *Zeszyty Naukowe. Inżynieria Środowiska*, Zielona góra: UZ, 139(19), 93-104. (in Poland)
4. Lunne T., Robertson P.K., Powell J.J.M. (1997). Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice. *Blackie Academic, Chapman Hall*, London, 312.
 5. Robertson P.K., Ayoubian A. (1997) Void Ratio Redistribution in Undrained Triaxial Extension Tests on Ottawa Sand. *Canadian Geotechnical Journal*, 35(2), 351-359
 6. Lingwanda M.I., Prästings A., Larsson S., Nyaoro D. L. (2017) Comparison of geotechnical uncertainties linked to different soil characterization methods. *Geomechanics and Geoengineering*, 12, 137-151.
 7. Robertson, P.K., Campanella, R.G. (1983). Interpretation of the Cone Penetrometer Test, Part II: Clay. *Canadian Geotechnical Journal*, 20(4), 734-745.
 8. Ameratunga, J., Sivakugan, N., Das, B.M. (2016). Correlations of Soil and Rock Properties in Geotechnical Engineering. *Developments in Geotechnical Engineering*. New Delhi: Springer New Delhi, 228. doi:10.1007/978-81-322-2629-1
 9. Labuz, J.F., Zang, A. (2012). Mohr-Coulomb Failure Criterion. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 45(6), 975-979.
 10. Osnovy ta fundamenty sporud. Zmina 1: DBN V.2.1-10-2009. (2011). Kyiv: Minregionbud Ukrayiny, 55 (in Ukrainian).

the results are not influenced by the transportation and preparation of samples. Conducting tests directly in the soil massif allows for the acquisition of information about soil characteristics and their classification, providing data on soil stratification.

This publication reviews modern methods of in-situ soil investigations, specifically CPTu (Cone Penetration Test) and DMT (Dilatometer Test) [1, 2]. These methods are widely used in Europe, while in Ukraine, they are relatively new and are just beginning to gain popularity. Therefore, it is relevant to compare these methods with the tabulated values provided in Ukrainian reference guides.

The deformation and stress values were compared using three calculation models based on CPTu, DMT, and DSTU data. A comparative analysis of the foundation slab deformations was conducted using models with elastic and elastic-plastic model.

For this purpose, a foundation slab was designed, and a finite element model of the building was developed, examining the foundation on a soil massif with inclined stratification, using both elastic and elastic-plastic soil models.

Key words: In-situ tests, cone penetration test, dilatometer test, foundation slab, elastic and elastic-plastic model.

Interpretation of the data of modern methods of field soil research

Lyudmila BONDAREVA
Ivan ZIMENKO
Kostiantyn BONDAREV

Summary. This study examines modern in-situ testing methods for soils; it investigates the impact of interpreting these methods on the calculated strength and deformation parameters of soils and compares them with tabulated values according to the DSTU (Standard of Ukraine).

In today's world, there is an urgent need for accurate and prompt soil investigations, which are crucial for design and construction. Although laboratory methods are reliable, they often require significant time and resources. The advantage of in-situ methods lies in the fact that testing is performed directly in the soil mass, meaning that