УНИВЕРСИТЕТ
по Архитектура, Строителство и Геодезия
1046 София, бул. "Хр. Смирненски" №1
Регистрационен индекс и дата
420/03.06.2026

РЕЦЕНЗИЯ

от доц. д-р инж. Николай Милев

член на научно жури съгласно Заповед №380 от 21.05.2026 г.
на Ректора на Университета по архитектура, строителство и геодезия (УАСГ),
доц. д-р инж. Гичка Кутова-Каменова, относно дисертационния труд на
инж. Кристина [redacted] Илиева на тема

ИЗСЛЕДВАНЕ ПОВЕДЕНИЕТО НА СТРОИТЕЛНИ ПОЧВИ ОТ БЪЛГАРИЯ ПРИ МАЛКИ И СРЕДНИ ДЕФОРМАЦИИ

за присъждане на образователната и научна степен „доктор“ в професионално направление 5.7 „Архитектура, строителство и геодезия“, докторска програма „Земна основа, фундиране и подземно строителство“

Дисертационният труд е разработен в катедра „Геотехника“ към Факултета по транспортно строителство (ФТС) на Университета по архитектура, строителство и геодезия (УАСГ), гр. София, с научен ръководител доц. д-р инж. Николай Керенчев.

Докторантът е зачислен в редовна форма на обучение със Заповед №129/28.02.2023 г. на Ректора на УАСГ и е отчислен с право на защита със Заповед №142/23.02.2026 г. на Ректора на УАСГ.

В качеството си на член на научното жури и преподавател в катедра „Геотехника“ към УАСГ имам преки впечатления от професионалното развитие на докторанта инж. Кристина [redacted] Илиева. Тя е активна в дейността на катедрата, работила е като лаборант в геотехническата лаборатория на УАСГ, участва в учебния процес и проявява последователен интерес към експерименталната и приложната геотехника. Имали сме възможност да участваме заедно и в научни форуми, където тя е демонстрирала ангажираност, трудолюбие и стремеж към развитие в областта на земната механика и фундирането. Тези мои преки наблюдения кореспондират добре с характера на представения дисертационен труд, който съдържа значителен обем лабораторна, аналитична и числена работа.

СТРУКТУРА НА ДИСЕРТАЦИЯТА

Дисертационният труд е с обем 153 страници основен текст, от които 12 страници списък на литературни източници. Трудът съдържа 7 глави, 123 фигури и 33 таблици. Към него е добавена отделна допълнителна част с обем 45 страници, включваща 6 приложения, сред които графичен материал, числени данни, Python код за BOBYQA оптимизатор и снимков материал. Библиографията включва общо 210 литературни източника, от които 27 на

български език. Авторефератът е с обем 47 страници и представя в необходимата степен основното съдържание, целите, методологията, резултатите и претенциите за приноси.

Структурата на дисертационния труд е логична и последователна. Първата глава е посветена на въведение, литературен обзор и постановка на задачата. Втора глава разглежда усъвършенстван компресионен (оедометричен) опит. Трета глава представя експерименталните изследвания с модифицираната постановка и методите за обработка на данните. Четвърта глава съдържа триосови изпитвания с „бендер“ (огъвни) елементи. Пета глава е посветена на сравнение и анализ на резултатите. В шеста глава е направен анализ на чувствителността на ключови параметри и практическото им приложение чрез числено моделиране. В седма глава са представени обобщение и претенции за научни и научно-приложни приноси.

АНАЛИЗ НА СЪДЪРЖАНИЕТО НА ДИСЕРТАЦИЯТА

Глава 1 има обзорен и постановъчен характер. В нея са разгледани развитието на земната механика, теорията на еластичността и нейното приложение с описание на обемните и девиаторните компоненти на напреженията и деформациите. Представено е развитието на материалните модели, с акцент върху модели с двойно уякчаване и модели, отчитащи коравина при малки деформации. Разгледани са лабораторни, полеви и алтернативни методи за определяне на G_0, V_s и криви на деградация, включително „бендер“ (огъвни) елементи, резонантна колона, „cross-hole“, „down-hole“, SCPT, SDMT, MASW/SASW и емпирични зависимости.

Положително следва да се оцени стремежът на докторанта да постави изследването си в контекста на съвременната геотехническа практика и необходимостта от експериментално определяне на ключови параметри за съвременни конститутивни модели. Обзорът е широк и показва разбиране за това, че коравината на почвите при малки деформации е важен параметър за реалистично числено моделиране. Същевременно е очертана практическата трудност за българската инженерна среда – ограничен достъп до специализирана лабораторна апаратура за директно определяне на тези параметри. На тази основа е мотивирано търсенето на алтернативен, по-достъпен лабораторен подход.

Глава 2 е една от основните части на дисертацията. В нея е разгледана теоретичната основа на модифицирания компресионен (оедометричен) опит. Докторантът разглежда възможността за извеждане на модул на срязване от клон на разтоварване при оедометрично изпитване. Представени са предварителни проверки на приложимостта, математически анализ на резултатите, предварителни експериментални опити и модификация на стандартната опитна постановка.

Съществено достойнство на тази глава е, че не се ограничава само до теоретична идея, а включва реална работа по апаратурна модификация и калибриране. Разгледани са влиянието на температурата върху датчиците, електрическият шум, еластичните деформации на апаратната система, триенето между отделните елементи и систематичното отклонение. Това показва внимателен подход към експерименталната работа и осъзнаване на факта, че при измерване на много малки деформации, дори второстепенни, на пръв поглед, фактори могат да окажат съществено влияние върху резултатите.

Особено важен е анализът на електрическия шум и минималната надеждно измерена деформация. Докторантът е направил двустъпкова стратегия за установяване влиянието на шума, определил е подходящи параметри за запис и осредняване и е отчел, че в областта на много малките деформации съществува риск от припокриване на реална деформация на пробата и апаратурен шум. Това е съществен практически въпрос и неговото разглеждане е силна страна на дисертацията.

Глава 3 представя експерименталните изследвания с модифицираната оедометрична постановка. Разгледани са физичните свойства на избраните почвени материали, методологията на изпитване, извеждането на сурови резултати, филтрирането на данните и два подхода за обработка – физико-математичен модел и физико-теоретичен модел.

Изследвани са маришки пясък, строителен пясък и хвостови проби. Представени са зърнометрични криви, физични свойства и резултати от модифицираните оедометрични опити. Физико-математичният модел използва обработка на експерименталните данни, филтри и интерполация, докато физико-теоретичният модел използва теоретична редукционна зависимост и оптимизация. Положително следва да се оцени, че докторантът не се ограничава до един алгоритъм за обработка, а сравнява два различни подхода, като обсъжда техните предимства и недостатъци.

В същото време именно тази глава показва и част от методологичните предизвикателства на труда. Получените резултати зависят от избора на филтри, осредняване, тежестни функции, интерполация и избрана теоретична форма на кривата на деградация. Това е нормално за експериментални данни при малки деформации, но изисква ясно дефиниране на границите на приложимост и чувствителността на резултатите към избраните процедури.

Глава 4 е посветена на експериментални изследвания с триосов апарат, който е снабден с „бендер“ (огъвни) елементи. Това е важна част от дисертацията, защото осигурява сравнителна база за модифицираната оедометрична постановка. Описана е опитната постановка, методологията на изпитване, водонасищането, консолидацията, определянето на V_s чрез „бендер“ (огъвни) елементи и изчисляването на G_0. Представени са резултати за маришки пясък, строителен пясък и хвост при различни референтни напрежения.

Тази глава има съществено значение, защото определянето на G_0 чрез огъвни елементи е световно признат лабораторен подход за измерване на коравината при малки деформации. Положително е, че докторантът е провел тези изследвания в специализирана лаборатория в Полша, което придава допълнителна тежест на сравнителната част. Използването на локални датчици за измерване на осови деформации при триосово срязване позволява допълнителен анализ на криви на деградация при „по-големите“ деформации.

В същото време следва да се отчете, че така получените криви, при недренирано монотонно срязване, не са напълно еквивалентни на класическите криви на деградация, получени чрез резонантна колона, усукващо или контролирано триосово циклично срязване. Освен това при част от изпитванията е използвана „Multi-Stage“ процедура, при която пробата преминава през предварително срязване, разтоварване и реконсолидация. Тази процедура е практически разбираема, но трябва внимателно да се интерпретира при оценка на коравината при малки деформации.

Глава 5 съдържа сравнение и анализ на резултатите. Сравнени са началните модули на срязване, получени чрез модифицираната оедометрична постановка, с резултатите от огъвни елементи и с емпирични зависимости от литературата. Представени са и сравнения на кривите на деградация, както между експерименталните данни, така и спрямо теоретични зависимости.

Тази глава е ключова за оценка на научната тежест на предложения метод. Сравнението показва, че за част от изпитваните почви резултатите дават добро съвпадение, особено при пясъка. В същото време не може да се твърди, че е постигната еднозначна и пълна валидация на модифицирания оедометричен метод. Налице са разлики между физико-математичния и физико-теоретичния модел, както и различна степен на съответствие при различните почвени материали. Особено при хвостовите проби разликите са по-съществени и това следва да бъде отчетено при формулиране на изводите.

Глава 6 разглежда чувствителността на ключови параметри и практическото им приложение чрез числено моделиране. Изследвани са плоскостен фундамент в 3D пространство, ососиметричен модел на пилотна конструкция и 2D модел на шпунтова стена с един ред анкери. Разгледано е влиянието на гъстотата на мрежата, както и влиянието на параметрите G_0 и $\gamma_{0.7}$ върху изчислените деформации и усилия.

Тази глава е полезна от практическа гледна точка, защото показва значението на параметрите, касаещи малки деформации, за инженерното моделиране. Тя демонстрира, че показателите, които са предмет на изследване в дисертацията, не са само лабораторен интерес, а влияят пряко върху прогнозата за премествания и усилия при реални геотехнически задачи. В същото време следва да се подчертае, че числените модели показват чувствителност към параметрите, но сами по себе си не представляват експериментална валидация на модифицирания оедометричен метод.

Глава 7 съдържа обобщение и претенции за научни и научно-приложни приноси. Обобщени са основните резултати от литературния обзор, модифицираната оедометрична постановка, лабораторните изследвания, сравнението с „бендер“ (огъвни) елементи и числените анализи. Формулирани са приноси, свързани с анализ на методите за определяне на коравина при малки деформации, разработване на модифицирана опитна постановка, обработка на данни, получаване на параметри за български почви и оценка на чувствителността на числени модели.

АВТОРЕФЕРАТ И ПУБЛИКАЦИИ

Авторефератът е с обем 47 страници и представя в резюмиран вид основните части на дисертационния труд. В него са отразени актуалността на темата, целите и задачите, методологията, експерименталната програма, сравнението на резултатите, числените анализи, обобщенията и претенциите за приноси. Съдържанието на автореферата съответства на дисертацията.

По темата на дисертацията са представени 3 научни публикации. Една от тях е публикувана в сборника на 28th European Young Geotechnical Engineers Conference – EYGEC 2024, а две са публикувани в сборника с доклади от XXV международна научна конференция ВСУ’ 2025. Тематиката на публикациите съответства на основните направления на дисертационния труд – анализ на методите за определяне на G_0, разработване на модифицирана оедометрична постановка и индиректна оценка на начален и „среден“ модул на срязване въз основа на оедометрично изпитване.

НАУЧНИ И НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

Приемам, че дисертационният труд съдържа научно-приложни приноси, свързани с развитието на експериментална методика и оценка на параметри за малки и средни деформации. Като по-съществени могат да се открояят:

- Систематизиране и анализ на лабораторни, полеви и емпирични методи за определяне на G_0, V_s и криви на деградация, и оценка на тяхната приложимост в българската геотехническа практика;
- Разработване и апробация на модифицирана оедометрична постановка за измерване на малки вертикални деформации при разтоварване и оценка на възможността за индиректно получаване на параметри, свързани с коравината на почвите;
- Провеждане на експериментална програма върху маришки пясък, строителен пясък и хвостови проби, включваща физични характеристики, модифицирани оедометрични опити и монотонни триосови изпитвания с „бендер“ (огъвни) елементи;

- Сравнение на индиректно получени параметри от модифицираната оедометрична постановка с резултати от „бендер“ (огъвни) елементи и с литературни зависимости;
- Оценка на влиянието на G_0 и $\gamma_{0.7}$ върху числени модели на фундаментни и укрепителни конструкции.

Считам, че приносите следва да се разглеждат основно като научно-приложни. По отношение на формулировките, свързани с определяне на G_0 чрез модифицирана оедометрична постановка, препоръчвам да се използва по-прецизна терминология (например: „индиректна оценка“, „апробация на подход“ или „емпиричен оедометричен метод“), а не да се създава впечатление за напълно директно и окончателно валидирано измерване, еквивалентно на класическите лабораторни динамични методи.

КРИТИЧНИ БЕЛЕЖКИ И ПРЕПОРЪКИ

Към дисертацията имам следните критични бележки и препоръки, които не обезценяват извършената работа, а очертават ограниченията на предложения подход и възможностите за неговото бъдещо развитие.

1. Основната методологична особеност е, че модифицираният оедометричен опит не измерва директно срязващ модул. В него се измерва вертикална деформация при едномерно ограничено натоварване и разтоварване. Модулът на срязване се получава индиректно, чрез преобразуване на оедометричен модул с използване на еластични зависимости и приет коефициент на Поасон. Поради това резултатите следва да се интерпретират като индиректна оценка на коравина, а не като директно измерено G/G_0.
2. При оедометричния опит вертикалното напрежение е известно, но хоризонталното напрежение не се измерва. Нулевата радиална деформация е кинематично условие, но не дава пряко стойността на хоризонталното напрежение. Следователно K_0, p' и q не са напълно експериментално известни, а се приемат или оценяват. Това е важно при интерпретацията на получените криви.
3. Получените криви са зависими от пътя на натоварване и разтоварване. Пробата първо се товари до определено референтно напрежение, при което, особено при пясъци и хвостови материали, може да настъпи пренареждане на зърната, промяна на структурата и уплътняване. Впоследствие, от клона на разтоварване, се извежда коравината на материала. Поради това получените резултати следва да се разглеждат като коравина на предварително натоварена и оедометрично консолидирана проба, а не като напълно независим и неповлиян материален параметър (т.е. в първоначалното, натурално, състояние).

4. Приетият коефициент на Поасон ν=0.3 е съществено допускане в процедурата за преобразуване от E_{oed} към G. Тази стойност може да бъде приемлива като инженерно предположение, но почвите нямат константен коефициент на Поасон. Той зависи от водонасищане, дренажни условия, плътност, напрегнато състояние, история на натоварване и деформационен диапазон. Препоръчително е в бъдещи изследвания да бъде представена чувствителност на G_0 и $\gamma_{0.7}$ към различни стойности на ν.
5. Електрическият шум и апаратурната чувствителност са от същия порядък, от който са и много малките деформации, в които се търси началната коравина на почвата. Докторантът е направил полезен анализ на този проблем, но именно той показва необходимостта от ясно дефиниране на минимален надежден праг на деформация и критерий за шум.
6. Процедурите за филтриране, осредняване, използване на тежестни функции и оптимизация са практически разбираеми, но оказват влияние върху крайните стойности на G_0, $\gamma_{0.7}$ и формата на кривата на деградация. Препоръчвам в бъдещи разработки да се направи по-подробен анализ на чувствителността на резултатите към избора на филтри, тежестна функция и теоретична форма на кривата.
7. Сравнението с „бендер“ (огъвни) елементи е правилна и необходима стъпка, но не доказва напълно валидността на целия подход. „Бендер“ (огъвните) елементи дават добра база за сравнение на G_0, но не валидират сами по себе си цялата крива на деградация. Освен това степента на съответствие е различна за различните почвени материали, като при хвостовите проби се наблюдават по-съществени отклонения.
8. „Multi-Stage“ триосовите изпитвания представляват разбираем практически компромис, но при интерпретация на коравината при малки деформации трябва да се отчете, че след предварително срязване, разтоварване и реконсолидация пробата вече не е в първоначалното си „оригинално“ (т.е. естествено и натурално) състояние. Измереният впоследствие G_0 чрез „бендер“ (огъвни) елементи е малък по амплитуда на деформациите, но е получен върху предварително срязана и структурно модифицирана проба.
9. Кривите на деградация от триосови опити, при недренирано монотонно срязване, следва да се интерпретират предпазливо. Те предоставят ценна информация за коравината и деформационното поведение, но не са напълно еквивалентни на „класическите“ криви на деградация, получени чрез резонантна колона, усукващо срязване или контролирано циклично триосово срязване.

10. Числените модели в Глава 6 убедително показват значимостта на G_0 и $\gamma_{0.7}$ при инженерни задачи, но представляват анализ на чувствителността, а не самостоятелна валидация на лабораторния метод. Това следва ясно да се разграничава при формулиране на практическите изводи.

Посочените бележки имат за цел да прецизират границите на приложимост на предложения метод. Те не намаляват стойността на извършената експериментална работа, а показват, че модифицираната оедометрична постановка в настоящия етап е най-коректно да се разглежда като обещаващ индиректен и емпиричен подход за оценка на коравина при малки към средни деформации, който изисква допълнителна валидация спрямо директни методи, като „бендер“ (огъвни) елементи, резонантна колона, усукващо срязване, циклично триосово срязване или полеви измервания на V_s.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представеният дисертационен труд е посветен на актуален и практически значим проблем в съвременното геотехническо инженерство. Докторантът е извършил значителен обем литературна, лабораторна, аналитична и числена работа. Разработена и апробирана е модифицирана оедометрична постановка, проведени са експериментални изследвания върху няколко вида почви, извършено е сравнение с триосови изпитвания с „бендер“ (огъвни) елементи и е направена оценка на влиянието на ключови параметри върху числени геотехнически модели.

Считам, че дисертационният труд има ясно изразен научно-приложен характер. Най-съществената му стойност е в опита за развитие на по-достъпен лабораторен подход за оценка на параметри, необходими при моделиране на почвеното поведение при малки и средни деформации. Въпреки посочените критични бележки, трудът представлява самостоятелно изследване с достатъчен обем, актуалност и принос към приложната геотехника.

С оглед на направения анализ и оценка считам, че дисертационният труд и представените материали отговарят на изискванията на ЗРАСРБ и правилника за неговото прилагане за придобиване на образователната и научна степен „доктор“.

Давам положителна оценка и предлагам на научното жури да присъди на инж. Кристина [redacted] Илиева образователната и научна степен „доктор“ в професионално направление 5.7 „Архитектура, строителство и геодезия“, докторска програма „Земна основа, фундиране и подземно строителство“.

03.06.2026 г.

Подпис [redacted] .....

/ доц. д-р инж. Николай Милев /