УНИВЕРСИТЕТ
по архитектура, Строителство и геодезия
1046 София, бул. "Хр. Смирненски" №1
Регистрационен индекс и дата
730/15.09.2026



# СТАНОВИЩЕ

**от проф. д-р инж.Мария Иванова Маврова-Гиргинова**
член на научно жури съгласно заповед № 503/09.07.2026 г. на Ректора
на Университета по архитектура, строителство и геодезия
на дисертационния труд на **инж. Мартин Бойков Петков** на тема

## ДИСПЕРСНО АРМИРАНИ ТУНЕЛНИ ОБЛИЦОВКИ И ТЯХНОТО ПОВЕДЕНИЕ ПРИ СЕИЗМИЧНО ВЪЗДЕЙСТВИЕ

Дисертационният труд е разработен в катедра „Хидротехника и хидромелиорации" към Хидротехническия факултет на УАСГ под научното ръководство на доц. д-р инж. Виктор Ташев. В него е изследван актуален и значим научно-приложен проблем в областта на тунелното строителство, свързан с реалното поведение на системата „скален масив – крепежна конструкция – тунелна облицовка", включително с работата на конструкцията след напукване и при екстремни въздействия.

Особен интерес представлява приложението на дисперсно армиран пръскан бетон, чието основно предимство е способността му да запазва остатъчна носеща способност и по-дуктилно поведение след напукване. Тези свойства са особено значими при оценката на тунелни облицовки при сеизмични въздействия. В този контекст докторантът разглежда взаимосвързани въпроси, свързани с поведението и оразмеряването на дисперсно армирани тунелни облицовки, взаимодействието им със скалния масив и конструктивното им поведение при сеизмични въздействия. Достойнство на разработката е съчетаването на теоретични постановки с практически наблюдения и реални инженерни решения, включително чрез анализ на пробни участъци и реални тунелни обекти.

### СТРУКТУРА НА ДИСЕРТАЦИЯТА

Дисертационният труд е с общ обем 350 страници и включва Увод и 12 раздела, структурирани в последователна логическа рамка, съответстваща на целите и задачите на изследването. Представени са 199 фигури, 51 таблици и 295 уравнения и зависимости. Раздели 1 и 2 формират изследователската постановка и мотивация, Раздели 3–5 изграждат теоретичната и аналитичната основа, а Раздели 6–8 представят практическото приложение и изследването на поведението на дисперсно армираните тунелни облицовки при различни условия и въздействия. Заключителната част е посветена на обобщаването на резултатите, формулирането на изводите и приносите и очертаването на възможности за бъдещо развитие.

### АКТУАЛНОСТ, НАУЧНА ПОСТАНОВКА И МЕТОДОЛОГИЯ

Актуалността на темата се определя от все по-широкото приложение на дисперсно армирани тунелни облицовки от пръскан бетон при все още недостатъчно изяснени въпроси относно остатъчната якост, носещата способност при огъване, поведението след напукване и приложимостта на класическите нормативни подходи.

Научната постановка на изследването разглежда тунелната облицовка като част от сложна система, включваща взаимодействие между скалния масив, крепежната конструкция и облицовката. Обект на изследването са дисперсно армираните тунелни облицовки, а предметът е тяхното механично, конструктивно и експлоатационно поведение.

Основната цел на дисертанта е да изследва особеностите на работата на дисперсно армираните тунелни облицовки и да разработи надежден и практически приложим подход за тяхното оразмеряване и конструктивно приложение. За постигането ѝ са анализирани съществуващи теоретични и нормативни постановки, разработени са аналитични зависимости за остатъчната якост и носещата способност при огъване и е проверена приложимостта им чрез реални инженерни случаи, натурни наблюдения и мониторинг.

Важна част от научната постановка са работните хипотези относно допустимостта на пластичните стави при подходящо проектно осигуряване, ограниченията при самостоятелното използване на системата RMR и необходимостта от специализиран подход, отчитащ остатъчната якост и следпукнатинното поведение на дисперсно армирания бетон.

Методологията съчетава теоретичен анализ, статистическа обработка на експериментални данни, числени изследвания, натурни наблюдения и мониторинг. Съществено място заема обсервационният

метод съгласно БДС EN 1997, чрез който проектните решения се съпоставят с реалното поведение на конструкцията и при необходимост могат да бъдат адаптирани. Избраният комплексен подход съответства на характера на поставения проблем и създава необходимата основа за получаване на резултати с научна и практическа значимост.

## АНАЛИЗ НА СЪДЪРЖАНИЕТО НА ДИСЕРТАЦИЯТА

**РАЗДЕЛ 1: ВЪВЕДЕНИЕ.** Разделът представя постановката и обосновава необходимостта от специализиран подход за проектиране на тунелни облицовки предвид липсата на цялостна нормативна методика, включително при използване на дисперсно армиран пръскан бетон. Очертани са основните изследователски въпроси, свързани с анализа и оразмеряването на дисперсно армирани тунелни облицовки при отчитане на взаимодействието със скалния масив и различните въздействия.

**РАЗДЕЛ 2** представя систематизиран обзор и критичен анализ на научните и приложните разработки за проектирането и поведението на дисперсно армирани тунелни облицовки. Разгледани са пръсканият бетон с фибри, видовете тунелни облицовки и взаимодействието между облицовката и скалния масив, включително ефектът на засводяване и използването на носещата способност на масива. Анализирани са следпукнатинното поведение, остатъчната якост и дуктилността на армирания с фибри бетон, както и необходимостта от оразмеряване чрез зависимости „напрежение–деформация". Разгледано е и сеизмичното поведение на тунелите при намалена коравина и наличие на остатъчна якост. Установено е, че оразмеряването на дисперсно армирани облицовки по Еврокод все още не е напълно изяснено, което определя основните направления на изследването.

**РАЗДЕЛ 3: ТЕОРИИ ЗА ОРАЗМЕРЯВАНЕ** изгражда теоретичната и приложната основа за анализа и оразмеряването на дисперсно армирани тунелни облицовки от пръскан бетон. Разгледани са взаимодействието между облицовката и земния или скален масив, основните геотехнически, експлоатационни, извънредни и сеизмични въздействия, както и принципът за максимално използване на носещата способност на масива. Анализирани са особеностите и предимствата на пръскания бетон с дисперсна армировка, както и факторите, определящи избора на облицовка и технология на изпълнение. Като теоретична основа са разгледани теорията на Грифит и механиката на разрушението, обясняващи влиянието на микродефектите, концентрацията на напрежения и енергията на разрушение върху развитието на пукнатините. Подчертано е, че при дисперсно армирания бетон определящо значение имат развитието на пукнатините и запазването на носещата способност след напукване. При еластично поведение материалът може да се разглежда чрез теорията на композитите и класическата механика на материалите, а при напукване – чрез механиката на разрушението.

**РАЗДЕЛ 4: ЕМПИРИЧНИ УРАВНЕНИЯ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ОСТАТЪЧНАТА ЯКОСТ** разработва емпиричен подход за предварително определяне на остатъчната якост на опън при огъване на дисперсно армиран бетон съгласно БДС EN 14651, с цел подпомагане на проектирането при липса на достатъчно експериментални данни. Разгледан е методът за определяне на остатъчната якост чрез изпитване на огъване и зависимости „натоварване–деформация" и „натоварване–CMOD", както и механизмът на премостване на пукнатините от фибрите и приложението на метода „напрежение–деформация" при оразмеряване на напукано сечение. Създадена е база от 180 експериментални изпитвания със синтетични, стоманени и стъклени фибри, като последните са изключени поради недостатъчен брой данни. Чрез статистически анализ и множествена линейна регресия са оценени влиянията на основните параметри на композита и са изведени емпирични зависимости за синтетични и стоманени фибри. Получените уравнения позволяват предварителна оценка на остатъчната якост при различни степени на отваряне на пукнатината, определяне на необходимото количество фибри и оценка на съществуващи конструкции при липса на изпитвания по БДС EN 14651. В заключение са посочени ограниченията на метода и възможностите за бъдещо развитие чрез включване на водоциментното отношение, зависимости между показателите за остатъчна якост и корелации със способността за поемане на енергия по БДС EN 14488-5.

**РАЗДЕЛ 5** е насочен към разработване на инженерна зависимост за определяне на носещата способност на дисперсно армирано бетонно сечение при огъване в крайно гранично състояние (ULS), предназначена за проектиране на тунелни облицовки от пръскан бетон. Чрез параметричен анализ по Еврокод 2 са изследвани сечения с дебелина 50–500 mm, бетони C20/25–C50/60 и различни класове по остатъчна якост, като е формирана база от 2232 изчислителни стойности. Статистическият анализ и приложението на алгоритъма Random Forest показват, че дебелината на сечението е водещ фактор за носещата способност, следвана от остатъчната якост, докато влиянието на якостта на бетона е по-слабо. На тази основа е изведено уравнение (21) за определяне на носещата способност при огъване, отчитащо якостта на бетона, остатъчната якост и дебелината на сечението. Зависимостта е приложима за бетони

C20/25–C50/60 при определени условия за минимална дуктилност и представлява бърз практически инструмент за проверка на носещата способност или предварително определяне на необходимата дебелина на облицовката. Посочена е и възможността за бъдещо разширяване на модела с отчитане на надлъжни опънни сили.

**РАЗДЕЛ 6** представя практическото приложение на разработените методики чрез изпълнение и наблюдение на пробен участък от двутръбен железопътен тунел, преминаващ през сложен и трудно предвидим скален масив. Поради значителните деформации, появата на пукнатини и локални разрушения на първичната облицовка е приложен обсервационният метод, позволяващ адаптиране на проектното решение към реалното поведение на системата „скален масив – тунелна облицовка". Приета е първична облицовка от пръскан бетон C35/45 с дебелина 350 mm и синтетични фибри, допълнена с временен контрасвод, удължени анкери, изпреварващо укрепване и контролирана технологична последователност. Определени са гранични и алармени нива, въведен е геодезически мониторинг и е разработен план за реакция при отклонения от очакваното поведение. Обратният анализ показва развитие на значителни пластични зони и риск от взаимодействие между двете тунелни тръби, което обосновава необходимостта от допълнителни мерки за стабилизиране на масива.

Наблюденията за периода от 08.11.2024 г. до 20.05.2025 г. показват деформации в пробния участък от около 40–50 mm, които не достигат първото алармено ниво. Облицовката запазва своята носеща способност и експлоатационна годност, а деформациите се развиват постепенно и затихват за приблизително 30–90 дни. Това потвърждава необходимостта поведението на конструкцията да се оценява не само чрез абсолютните стойности на деформациите, но и чрез тяхното изменение във времето. Изследването показва също, че при сложни инженерно-геоложки условия RMR класификацията сама по себе си не е достатъчна и следва да се допълва с геоложка картировка, изпреварващи сондажи, обратен анализ и мониторинг. Получените резултати потвърждават ефективността на обсервационния метод като инструмент за адаптивно проектиране и контрол при сложни геоложки условия.

**РАЗДЕЛ 7** разглежда проектирането на дисперсно армирани тунелни облицовки в здрави скални масиви чрез два подхода –Еврокод и обсервационен метод. На базата на тунелен обект в Гьотеборг, Швеция, са анализирани инженерно-геоложките условия, механизмите на разрушение и взаимодействието между скалния масив, анкерирането и дисперсно армирания пръскан бетон. Извършени са аналитични и числени проверки за адхезия, огъване, срязване, продънване, гравитационно натоварване и устойчивост на скални клинове чрез UDEC и UnWedge. Резултатите обосновават проектно решение с дисперсно армиран пръскан бетон и системно анкериране, при което дебелината на облицовката е намалена повече от два пъти спрямо първоначалното решение, без стоманени армоферми и традиционна прътова армировка. Подчертано е, че численото моделиране трябва да се оценява критично и да се съпоставя с наблюдения и независими методи.
Разделът потвърждава, че при правилно съчетаване на анкери, пръскан бетон, контрол на деформациите и мониторинг дисперсно армираната облицовка може да осигури необходимата устойчивост и носеща способност. Ключово значение има идентифицирането на реалния механизъм на разрушение и адаптирането на конструктивното решение към конкретните геотехнически условия. Получените резултати показват възможностите за приложение на дисперсно армирани облицовки при различни геотехнически условия и необходимостта проектното решение да се съобразява с реалния механизъм на разрушение. Необходимостта от оценка на поведението при динамични въздействия определя следващия етап на изследването -- анализ на сеизмичното взаимодействие между тунелната облицовка и скалния масив.

**РАЗДЕЛ 8** изследва сеизмичното поведение на дисперсно армирани тунелни облицовки чрез аналитична и числена процедура, включваща моделиране по метода на крайните елементи, етапите на изкоп и изграждане на облицовките и псевдостатичен анализ при PGA = 2,3 m/s². Анализирани са развитието на пластични стави, граничните условия на масива, съвместната работа на първичната и вторичната облицовка и влиянието на еластичния модул на бетона. Резултатите показват, че след началното увеличаване на усилията при сеизмично въздействие, с образуването на пластични стави те намаляват и се стабилизират, без формиране на разрушителен механизъм или значително нарастване на преместванията. Дисперсно армираната облицовка демонстрира изразена дуктилност и способност за преразпределение на усилията. Най-съществено влияние оказва съвместната работа на първичната и вторичната облицовка, докато граничните условия на масива имат ограничено значение при дълбоко заложени тунели. Намаляването на еластичния модул води до по-ниски разрезни и контактни напрежения при минимално увеличение на преместванията.

Установено е, че при сеизмични въздействия потенциалните повреди по-често са свързани с локални слабости и нестабилни скални клинове, отколкото със загуба на носеща способност на облицовката. Това поставя под въпрос необходимостта от безусловно изискване за безставна затворена облицовка и обосновава проектен подход, съобразен с конкретните геоложки и конструктивни условия. Особено значение имат хидроизолационната система и степента на съвместна работа между първичната и вторичната облицовка. Разделът завършва изследователската част на дисертацията, като показва необходимостта от интегриран подход, съчетаващ аналитично оразмеряване, числено моделиране и оценка на реалните механизми на поведение.

**РАЗДЕЛ 10** обобщава основните резултати от проведеното изследване. Разработен е специализиран подход за оценка и оразмеряване на дисперсно армирани тунелни облицовки, отчитащ остатъчната якост и поведението на материала след напукване. Разработени и проверени са зависимости за определяне на остатъчната якост и носещата способност при огъване, а практическата приложимост на предложените постановки е оценена чрез реални инженерни случаи, числени анализи, натурни наблюдения и приложение на обсервационния метод. Изследването показва възможността за контролирано развитие на пластични деформации и преразпределение на усилията при подходящо проектно решение, включително при сеизмични въздействия.

## ПРИНОСИ НА ДИСЕРТАЦИЯТА

Формулираните в дисертационния труд претенции за приноси приемам за основателни и обосновани, като ги намирам за пряко произтичащи от проведените теоретични, аналитични, експериментални, числени и приложни изследвания. Те могат да бъдат систематизирани в следните основни направления:

Научни приноси

1. Разработен и теоретично обоснован е специализиран подход за оценка и оразмеряване на дисперсно армирани тунелни облицовки, отчитащ остатъчната якост на опън при огъване и следпукнатинното поведение на материала, като са изведени зависимости, свързващи експериментално установените характеристики с инженерния изчислителен модел.
2. Обоснована е способността на дисперсно армираните тунелни облицовки да запазват носеща способност след напукване чрез развитие на пластични зони и поемане на допълнителни деформации при статични и сеизмични въздействия.

Научно-приложни приноси

3. Доказана е приложимостта на разработените теоретични постановки в реални инженерни условия чрез прилагане на обсервационния метод, натурни наблюдения и мониторинг на деформациите при реален железопътен тунел с дисперсно армирана първична облицовка.
4. Потвърдена е ефективността на обсервационния подход за оценка и адаптиране на проектните решения в сложна геоложка среда, като чрез числен анализ е разширена оценката на поведението на дисперсно армираните облицовки при псевдостатично сеизмично въздействие.

Приносите пряко съответстват на целите и задачите на дисертационния труд. Могат да бъдат определени като реални и съществени приноси на автора.

## АВТОРЕФЕРАТ И БИБЛИОГРАФИЯ

Авторефератът е разработен в обем от 62 страници и представя систематизирано основните положения, цели и задачи, методологията, проведените изследвания, получените резултати и формулираните научни и научно-приложни приноси на дисертационния труд. Съдържанието му коректно отразява структурата и основните резултати на изследването, както и връзката между разработените теоретични и аналитични постановки и тяхното приложение в реални инженерни условия. Авторефератът изпълнява предназначението си като обобщено представяне на дисертационния труд. В дисертацията са използвани 97 броя литературни източници, 73% от които са чуждестранни научни публикации, а 27% - български, общоевропейски и национални нормативни документи, стандарти и препоръки.

## НАУКОМЕТРИЧНИ ДАННИ

Докторантът инж. Петков има множество научни публикации във връзка с направените изследвания. Достатъчни са две от представените публикации, за да изпълни минималните национални изисквания за придобиване на образователната и научна степен „доктор“ в професионално направление

5.7. „Архитектура, строителство и геодезия“. Потвърждавам съответствието на научната продукция на докторанта с изискванията за придобиване на докторска степен.

## ЗАБЕЛЕЖКИ И ПРЕПОРЪКИ

Към представения дисертационен труд могат да бъдат отправени някои забележки и препоръки, които не намаляват значимостта на получените научни и научно-приложни резултати. На места изложението е по-подробно от необходимото и се наблюдава повторение на отделни изводи, особено при обобщаването на резултатите и формулирането на приносите. В отделни случаи би могло по-ясно да се разграничат научните резултати, научните приноси и практическите препоръки. При числените анализи изводите следва да се разглеждат в рамките на конкретно приетите модели, геоложки условия, гранични условия и параметри, без да се обобщават извън обхвата на проведеното изследване. При сеизмичния анализ би могло допълнително да се дискутира влиянието на приетия псевдостатичен модел и параметрите, характеризиращи сеизмичното въздействие.

Посочените забележки не поставят под съмнение достоверността на проведеното изследване, а по-скоро очертават възможности за бъдещо развитие и разширяване на приложимостта на разработените постановки. Като цяло трудът е логически последователен, изследователската програма е изпълнена в необходимия обхват, а получените резултати дават основание за формулираните научни и научно-приложни приноси.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представеният дисертационен труд представлява завършено научно и научно-приложно изследване, посветено на актуален и практически значим проблем в областта на подземното строителство – поведението и проектирането на дисперсно армирани тунелни облицовки. Трудът се отличава с последователна изследователска постановка и успешно съчетаване на теоретични, аналитични, числени и натурни изследвания. Получените резултати, разработените зависимости и изчислителни постановки, както и тяхната проверка чрез реални инженерни примери и натурни наблюдения, имат научна и практическа значимост. Авторът демонстрира способност за самостоятелно научно изследване, критична оценка на съществуващи подходи и формулиране на практически приложими инженерни решения. Налице са необходимите предпоставки за последващо развитие на изследванията и на научната тематика. В обобщение считам, че дисертационният труд притежава необходимите научни и научно-приложни качества, представените резултати и приноси са достатъчни по обем и значимост, а материалите отговарят на изискванията на ЗРАСРБ за придобиване на образователната и научна степен „доктор“.

Предлагам на уважаемото жури да присъди на **инж. Мартин [redacted] Петков** ОНС Доктор в професионалното направление 5.7 „Архитектура, строителство и геодезия“, докторска програма „Хидротехническо строителство“.

14.09.2026г. Подпис: [redacted] (проф. д-р инж.Мария Маврова-Гиргинова)