XIV Международна научна конференция
„Проектиране и строителство на сгради и съоръжения“, 10-12 септември 2026 г, Варна
XIV International Scientific Conference
„Civil Engineering Design and Construction“, Sept. 10 - 12, 2026, Varna, Bulgaria
ISSN 2683-071X (online) ISSN 2738-7879 (CD)

ЕДИНЕН МЕХАНИЧЕН МОДЕЛ НА ПОВЕДЕНИЕТО НА ИСТОРИЧЕСКИТЕ ЗИДАНИ КОНСТРУКЦИИ

Нели Тризлова[1]

UNIFIED MECHANICAL MODEL OF THE BEHAVIOUR OF HISTORIC MASONRY STRUCTURES

Neli Trizlova

Abstract:

*This paper proposes a **Unified Mechanical Model (UMM)** for interpreting the mechanical behaviour of historical masonry structures. The model integrates arches, vaults, domes, buttresses and transitional elements through a common sequence of mechanical processes, including load path modification, internal force redistribution, development of local mechanical reactions, and attainment of an adapted equilibrium or the formation of a structural mechanism. It is demonstrated that, despite their geometric and structural differences, these systems follow the same fundamental mechanical principle. The proposed model provides a conceptual framework for the engineering analysis, diagnosis and interpretation of the mechanical behaviour of historical masonry structures.*

Keywords:

historical masonry structures; Unified Mechanical Model; mechanical behaviour; load path; force redistribution; mechanical adaptation; structural mechanism.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Историческите зидани конструкции представляват значителна част от световното архитектурно и културно наследство. Арките, сводовете, куполите, контрафорсите и различните преходни конструктивни елементи са изграждани в продължение на векове и продължават да функционират като носещи системи в множество паметници на културата. Независимо от доказаната си дълготрайност, тези конструкции са подложени на непрекъснато въздействие от експлоатационни натоварвания, земетръсни въздействия, деформации на основите, стареене на материалите и различни антропогенни намеси, които могат съществено да изменят тяхното механично поведение.

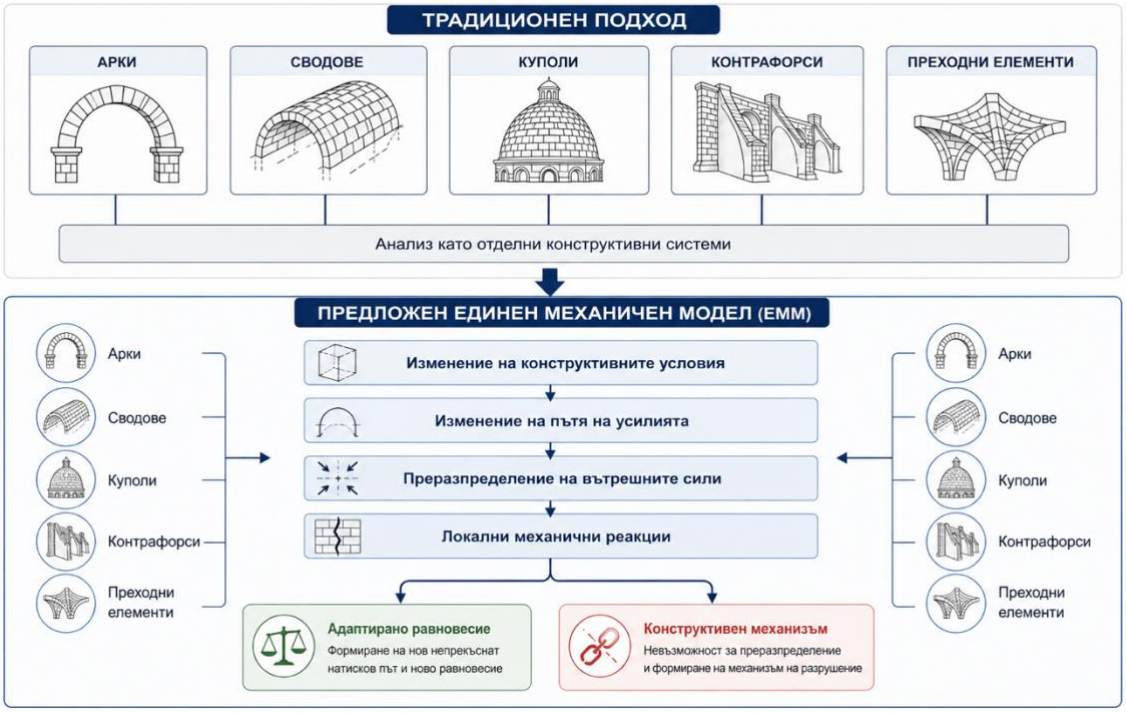
Механичният анализ на историческите зидани конструкции традиционно се извършва според конструктивния тип. В научната литература арките, сводовете, куполите, контрафорсите и преходните елементи обикновено се разглеждат като самостоятелни конструктивни системи със специфични механизми на работа и характерни форми на повреждане [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8]. Макар този подход да е необходим за детайлния

[1] Нели Тризлова, д-р/доцент, Строителство на сгради и съоръжения, Архитектурен факултет, Варненски свободен университет „Черноризец Храбър“, к.к. „Чайка“, 9007 Варна, България, neli.trizlova@vfu.bg;
Neli Trizlova, PhD/Assoc. Prof., Department of Construction of Buildings and Structures, Faculty of Architecture, Varna Free University "Chernorizets Hrabar", Chayka Resort, 9007 Varna, Bulgaria, neli.trizlova@vfu.bg.

конструктивен анализ, той затруднява извеждането на общите закономерности, които определят механичното поведение на историческите зидани конструкции като единен клас носещи системи.

Независимо от различията в геометрията и конструктивното изпълнение, всички исторически зидани конструкции функционират чрез предаване на усилията предимно на натиск [1], [2]. При изменение на натоварването, геометрията или граничните условия те преминават през сходна последователност от механични процеси, включваща изменение на пътя на усилията, преразпределение на вътрешните сили, развитие на локални механични реакции и достигане на ново състояние на равновесие или формиране на конструктивен механизъм. Именно тази обща механична закономерност създава предпоставки за разработването на единен модел, приложим към различните видове исторически зидани конструкции. Моделният подход намира приложение в различни направления на архитектурното и инженерното проектиране като средство за систематизиране на взаимосвързани фактори и формулиране на цялостни проектни решения [12].

Целта на настоящото изследване е да предложи Единен механичен модел (ЕММ), който описва механичното поведение на историческите зидани конструкции чрез обща последователност от взаимосвързани механични процеси, независимо от конкретния конструктивен тип. Моделът има концептуален характер и е предназначен да осигури обща механична рамка за инженерен анализ, интерпретация на конструктивното поведение и оценка на възникващите механични реакции.



Фигура 1. Концептуална схема на Единния механичен модел (ЕММ) в сравнение с традиционния подход за анализ на историческите зидани конструкции.

Фигура 1 илюстрира основната концепция на изследването, като показва прехода от традиционния анализ на отделни конструктивни системи към Единен механичен модел, приложим за всички видове исторически зидани конструкции.

Научната новост на изследването се състои в разработването на Единен механичен модел, който обединява механичното поведение на различни видове исторически зидани конструкции чрез обща последователност от механични процеси. За разлика от традиционните подходи, при които отделните конструктивни системи се анализират самостоятелно, предложеният модел предлага обща концептуална рамка за инженерна интерпретация на тяхното поведение.

Концепцията на предложения Единен механичен модел е представена на фиг. 1. Статията е структурирана в пет основни раздела, в които последователно са разгледани концепцията на модела, неговата механична последователност, приложението му при различните видове исторически зидани конструкции и инженерното му значение.

2. Единен механичен модел (ЕММ)

Историческите зидани конструкции – арки, сводове, куполи, контрафорси и преходни елементи – се различават по своята геометрия, конструктивна схема и функционално предназначение, но функционират въз основа на един и същ фундаментален механичен принцип. Носимоспособността им се осигурява чрез непрекъснато предаване на натисковите усилия по определен път на усилията, който зависи от геометрията на конструкцията, натоварването и граничните условия.

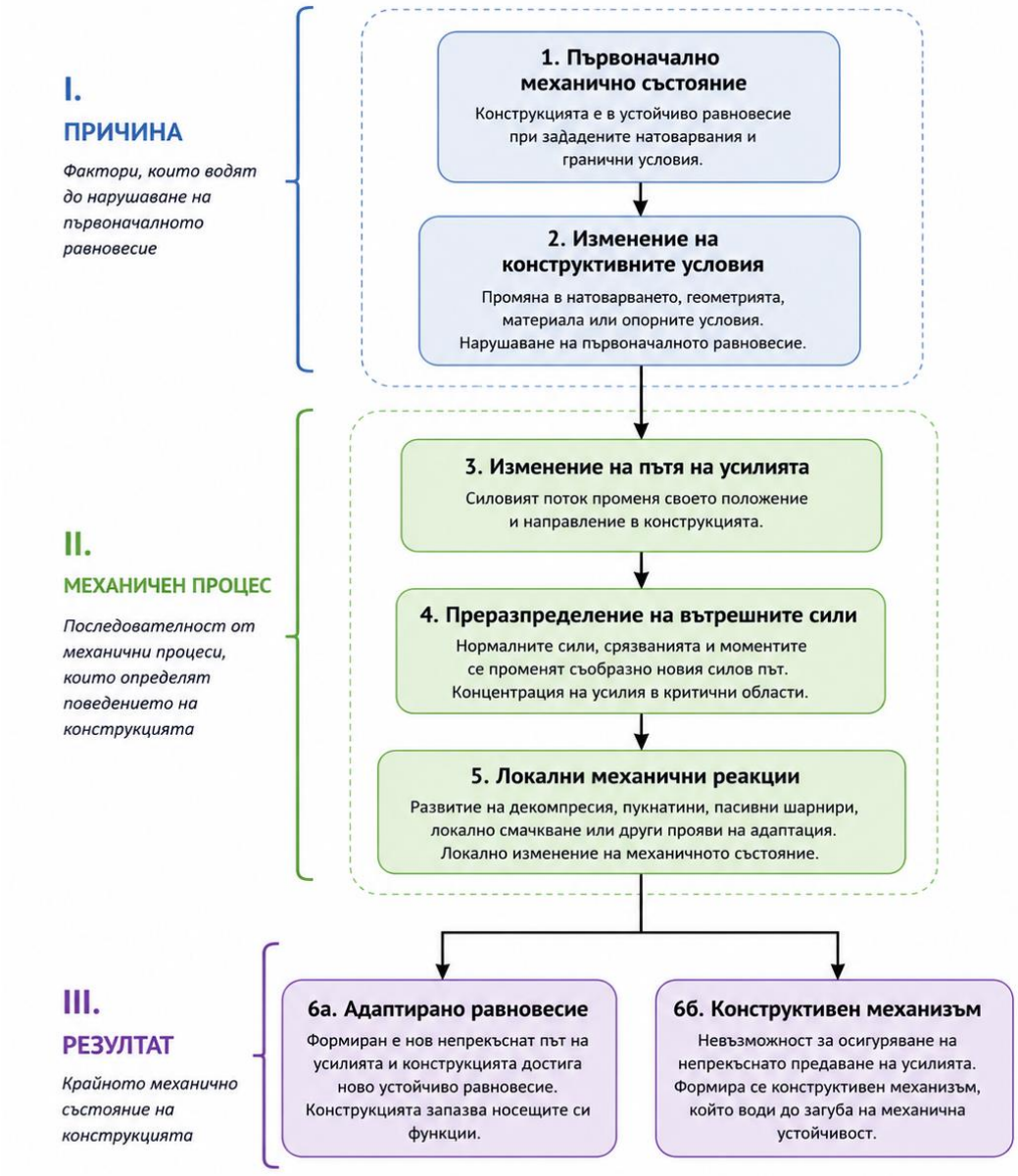
Традиционно отделните видове исторически зидани конструкции се разглеждат самостоятелно, като се анализират характерните за тях механизми на работа и разрушение. Макар този подход да е необходим за детайлния конструктивен анализ, той затруднява формулирането на общите механични закономерности, които определят поведението на всички исторически зидани конструкции. Независимо от конструктивните различия, изменението на механичните условия предизвиква сходна последователност от процеси, която определя тяхното последващо поведение.

В настоящото изследване се предлага Единен механичен модел (ЕММ), който обединява тази последователност в обща концептуална схема. Моделът не описва отделна конструктивна система, а универсалния механичен процес, който протича при нарушаване на първоначалното равновесие на историческите зидани конструкции. По този начин ЕММ осигурява единна инженерна интерпретация на тяхното механично поведение независимо от конструктивния тип.

Основната постановка на модела е, че устойчивостта на историческата зидана конструкция е свързана с възможността за непрекъснато предаване на усилията към опорите. При изменение на конструктивните условия първоначалният път на усилията може да се промени, като последващото поведение зависи от възможността за формиране на нов устойчив път. Механичната последователност на този процес е разгледана подробно в следващия раздел.

Концептуалната последователност на Единния механичен модел е представена на фиг. 2, а основните му етапи и тяхното механично съдържание са систематизирани в таблица 1.

Предложеният модел представя последователността на основните механични процеси, които определят поведението на историческите зидани конструкции при изменение на конструктивните условия.



Фигура 2. Единен механичен модел (ЕММ) на поведението на историческите зидани конструкции.

Предложеният Единен механичен модел не замества съществуващите аналитични и числени методи за изследване на историческите зидани конструкции. Неговото предназначение е да осигури обща механична рамка за интерпретация на тяхното поведение, като обединява различните конструктивни системи чрез единна последователност от механични процеси. По този начин моделът може да бъде използван като концептуална основа при инженерния анализ, диагностиката, оценката на конструктивното състояние и избора на подходящи мерки за консервация и укрепване.

В настоящото изследване под **път на усилията** се разбира непрекъснатата последователност от конструктивни елементи и зони, през които вътрешните сили се

предават от мястото на приложение на натоварването до опорите. Изменението на този път представлява основният механичен процес, който определя последващото поведение на историческите зидани конструкции.

Таблица 1. Основни етапи на Единния механичен модел (ЕММ)

Етап на ЕММ	Механично съдържание	Основен резултат
Първоначално механично състояние	Конструкцията се намира в устойчиво равновесие при зададените натоварвания и гранични условия.	Стабилен път на усилията
Изменение на конструктивните условия	Промяна в натоварването, геометрията, материала или опорните условия.	Нарушаване на първоначалното равновесие
Изменение на пътя на усилията	Силовият поток променя своето положение и направление в конструкцията.	Ново разпределение на усилията
Преразпределение на вътрешните сили	Нормалните сили, срязванията и моментите се променят съобразно новия силов път.	Концентрация на усилия в критични области
Локални механични реакции	Развитие на декомпресия, пукнатини, пасивни шарнири, локално смачкване или други прояви на адаптация.	Локално изменение на механичното състояние
Краен механичен резултат	Формиране на нов непрекъснат път на усилията или загуба на носещата схема.	**Адаптирано равновесие** или **конструктивен механизъм**

3. Механична последователност на Единния механичен модел

Единният механичен модел разглежда поведението на историческите зидани конструкции като последователен процес на механична адаптация към изменените конструктивни условия. Независимо от конструктивния тип развитието на този процес следва една и съща логическа последователност, представена на фиг. 2.

Механичното развитие започва с нарушаване на първоначалното равновесие вследствие на изменение на натоварването, геометрията, материалните характеристики или граничните условия. Тези изменения променят установения път на усилията и нарушават първоначалното разпределение на вътрешните сили.

В отговор на тази промяна конструкцията преминава към преразпределение на вътрешните усилия. Натисковите сили се насочват по нови траектории, като в отделни зони възникват концентрации на напрежения или области с намалена степен на натиск. Този етап представлява преход между първоначалното и новото механично състояние на конструкцията.

Преразпределението на усилията води до развитие на локални механични реакции, които представляват естествен отговор на конструкцията към изменените условия. В

зависимост от конструктивната система те могат да се проявят като декомпресия, пукнатини, пасивни шарнири, локално смачкване на зидарията или други характерни изменения. Тези прояви не представляват самостоятелни механизми на разрушение, а са външен израз на процеса на механична адаптация към новото силово състояние.

Крайният резултат зависи от възможността за формиране на нов непрекъснат път на усилията. Когато такъв път бъде осигурен, конструкцията достига адаптирано равновесие и продължава да изпълнява носещите си функции. При невъзможност за възстановяване на непрекъснатото предаване на усилията се формира конструктивен механизъм, който бележи загуба на механична устойчивост.

Следователно Единният механичен модел разглежда поведението на историческите зидани конструкции като универсална последователност от взаимосвързани механични процеси, независимо от конкретната конструктивна форма. Това позволява различните конструктивни системи да бъдат анализирани чрез общ инженерно-механичен подход и създава основа за тяхната единна интерпретация.

4. Приложение на Единния механичен модел при историческите зидани конструкции

Предложеният Единен механичен модел (ЕММ) е приложим към различните видове исторически зидани конструкции независимо от тяхната геометрия, конструктивна схема и пространствена организация. Общото между тези конструкции не е тяхната форма, а механичният принцип на работа – предаването на усилията чрез непрекъснат път на усилията. При изменение на натоварването, геометрията или граничните условия всички конструкции преминават през една и съща последователност от механични процеси, описана от ЕММ: нарушаване на първоначалното равновесие, изменение на пътя на усилията, преразпределение на вътрешните сили, развитие на локални механични реакции и достигане на адаптирано равновесие или формиране на конструктивен механизъм.

Различията между отделните конструктивни системи не се изразяват в механичната последователност на процесите, а в начина, по който се проявяват отделните механични реакции. При арките те са свързани предимно с изменението на линията на натиск и образуването на пасивни шарнири. При сводовете и куполите процесите имат пространствен характер и се проявяват чрез преразпределение на меридионалните, околовръстните или пространствените усилия. При контрафорсите измененията произтичат от нарушеното взаимодействие между укрепващия елемент и основната конструкция, а при преходните елементи – от нарушаването на пространственото предаване на усилията между различните конструктивни форми. Независимо от тези особености, всички случаи могат да бъдат интерпретирани чрез един и същ механичен модел.

Основните проявления на Единния механичен модел при различните видове исторически зидани конструкции са обобщени в таблица 2.

Представеният анализ показва, че независимо от конструктивните различия между отделните видове исторически зидани конструкции, тяхното механично поведение може да бъде описано чрез една и съща последователност от взаимосвързани механични процеси. Това потвърждава приложимостта на Единния механичен модел като обща концептуална рамка за инженерен анализ, диагностика и интерпретация на механичното поведение на историческите зидани конструкции.

Таблица 2. Проявления на Единния механичен модел при различните видове исторически зидани конструкции

Конструктивна система	**Изменение на конструктивните условия**	**Основни механични реакции**	**Краен механичен резултат**
Зидани арки	Промяна на натоварването, геометрията или опорните условия; изменение на линията на натиск	Декомпресия, пасивни шарнири, локални пукнатини	Адаптирано равновесие или конструктивен механизъм
Зидани сводове	Пространствено изменение на пътя на усилията вследствие на изменения в опорите или натоварването	Пространствено преразпределение на усилията, пукнатини, локална декомпресия	Адаптирано равновесие или конструктивен механизъм
Куполи	Нарушаване на пространственото предаване на усилията	Преразпределение на меридионални и околовръстни усилия, пукнатини, концентрации на напрежения	Адаптирано равновесие или конструктивен механизъм
Контрафорси	Нарушено взаимодействие между контрафорса и основната конструкция	Локално преразпределение на усилията, развитие на пукнатини и деформации	Адаптирано равновесие или конструктивен механизъм
Преходни елементи (пандантиви, барабани, тромпи)	Нарушаване на пространствения път на усилията между различните конструктивни форми	Локални механични реакции, пукнатини, концентрации на напрежения	Адаптирано равновесие или конструктивен механизъм

5. Значение и приложимост на Единния механичен модел

Предложеният Единен механичен модел има концептуален характер и е предназначен да осигури обща механична рамка за интерпретация на поведението на историческите зидани конструкции. За разлика от традиционния подход, при който арките, сводовете, куполите, контрафорсите и преходните елементи се разглеждат като самостоятелни конструктивни системи, ЕММ интерпретира тяхното поведение чрез единна последователност от механични процеси. Това позволява различните конструктивни форми да бъдат анализирани въз основа на общи механични принципи, без да се пренебрегват техните специфични особености.

Предложеният модел не замества съществуващите аналитични, числени и експериментални методи за изследване на историческите зидани конструкции. Неговото предназначение е да ги допълва, като осигурява единна концептуална интерпретация на процесите, които определят механичното поведение на конструкцията при изменение на

натоварването, геометрията или граничните условия. По този начин ЕММ може да служи като обща механична основа при анализа и интерпретацията на резултатите, получени чрез различни изследователски подходи.

Практическата приложимост на модела се изразява във възможността той да подпомага инженерната диагностика, оценката на конструктивното състояние и избора на подходящи стратегии за консервация и укрепване [10], [11]. Проследяването на изменението на пътя на усилията и на последователността на механичните реакции позволява по-надеждно идентифициране на критичните зони в конструкцията и по-обоснована оценка на вероятното развитие на нейното механично поведение.

Предложеният Единен механичен модел създава обща концептуална основа за анализ на различните видове исторически зидани конструкции и осигурява възможност за тяхната единна инженерна интерпретация. По този начин той намира приложение както в научните изследвания, така и в практиката при обследването, оценката, консервацията и укрепването на обектите на архитектурно-строителното културно наследство.

6. Заключение

В настоящото изследване е разработен Единен механичен модел (ЕММ) за интерпретация на механичното поведение на историческите зидани конструкции. Предложеният модел обединява поведението на различни конструктивни системи чрез обща последователност от механични процеси, включваща нарушаване на първоначалното равновесие, изменение на пътя на усилията, преразпределение на вътрешните сили, развитие на локални механични реакции и достигане на ново механично състояние.

Извършеният анализ позволява да бъдат формулирани следните основни резултати:

1.Предложен е Единен механичен модел, който описва механичното поведение на историческите зидани конструкции чрез обща последователност от взаимосвързани механични процеси.

2.Показано е, че изменението на пътя на усилията представлява основният механичен процес, който определя последващото преразпределение на вътрешните сили и развитието на локални механични реакции независимо от конструктивния тип.

3. Установено е, че различните локални механични прояви – декомпресия, пукнатини, пасивни шарнири и локално смачкване – могат да бъдат разглеждани като проявления на единен процес на механична адаптация, чийто краен резултат е достигане на адаптирано равновесие или, при невъзможност за формиране на нов непрекъснат път на усилията, възникване на конструктивен механизъм.

4.Демонстрирана е приложимостта на предложения модел при арки, сводове, куполи, контрафорси и преходни елементи, което потвърждава неговата универсалност като концептуална рамка за инженерен анализ на исторически зидани конструкции.

Предложеният модел не замества съществуващите аналитични и числени методи за изследване, а ги допълва чрез обща механична интерпретация на поведението на историческите зидани конструкции. Той може да бъде използван като концептуална основа

при инженерната диагностика, оценката на конструктивното състояние и разработването на стратегии за консервация и укрепване.

ЛИТЕРАТУРА

1.Drucker D. C., Prager W., Greenberg H. J. Extended Limit Design Theorems for Continuous Media. Quarterly of Applied Mathematics, Vol. 9, No. 4, 1952, pp. 381–389.

2.Heyman J. The Stone Skeleton. International Journal of Solids and Structures, Vol. 2, No. 2, 1966, pp. 249–279.

3.Heyman J. The Masonry Arch. Ellis Horwood, Chichester, 1982.

4.Huerta S. Arcos, Bóvedas y Cúpulas: Geometría y Equilibrio en el Cálculo Tradicional de Estructuras de Fábrica. Instituto Juan de Herrera, Madrid, 2004.

5.Lourenço P. B. Computations on Historic Masonry Structures. Progress in Structural Engineering and Materials, Vol. 4, No. 3, 2002, pp. 301–319.

6.Roca P., Cervera M., Gariup G., Pelà L. Structural Analysis of Masonry Historical Constructions: Classical and Advanced Approaches. Archives of Computational Methods in Engineering, Vol. 17, No. 3, 2010, pp. 299–325.

7.Angelillo M. (Ed.). Mechanics of Masonry Structures. CISM International Centre for Mechanical Sciences, Vol. 551. Springer, Vienna, 2014.

8.Como M. Statics of Historic Masonry Constructions. Springer International Publishing, Cham, 2017.

9.Binda L., Saisi A., Tiraboschi C. Investigation Procedures for the Diagnosis of Historic Masonries. Construction and Building Materials, Vol. 14, No. 4, 2000, pp. 199–233.

10.ICOMOS. Principles for the Analysis, Conservation and Structural Restoration of Architectural Heritage. Proceedings of the 14th General Assembly and Scientific Symposium, Victoria Falls, Zimbabwe, 2003.

11.EN 17440:2020. Conservation of Cultural Heritage – Guidelines for Condition Survey and Reporting of Built Cultural Heritage. European Committee for Standardization (CEN), Brussels, 2020.

12. Ениманев И., Михалева Д. Проекто-схеми за устойчиво строителство на жилищни и обществени сгради. Proceedings of International Scientific Conference on Architecture and Civil Engineering – ArCivE 2021, 29 май 2021 г., Варна, България, Vol. 3-2021, ISSN 2535-0781.