

ГОДИШНИК НА УНИВЕРСИТЕТА ПО АРХИТЕКТУРА, СТРОИТЕЛСТВО И ГЕОДЕЗИЯ – СОФИЯ

Първа научно-приложна конференция с международно участие  
„СТОМАНОБЕТОННИ И ЗИДАНИ КОНСТРУКЦИИ – ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА“

22 – 23 октомври 2015

22 – 23 October 2015

First Scientific-Applied Conference with International Participation

“REINFORCED CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES – THEORY AND PRACTICE”

ANNUAL OF THE UNIVERSITY OF ARCHITECTURE, CIVIL ENGINEERING AND GEODESY – SOFIA

48 <sup>том</sup>  
vol.

2015

св.  
fasc. 12 – III

## АВАРИЙНО УКРЕПВАНЕ НА ХРАМ „СВ. СВ. КИРИЛ И МЕТОДИЙ“ В ГР. БУРГАС

Й. Милев<sup>1</sup>, Н. Милев<sup>2</sup>, Д. Филатова<sup>3</sup>,  
А. Тотева<sup>4</sup>, Г. Георгиев<sup>5</sup>, П. Дюлгеро̀в<sup>6</sup>

*Ключови думи:* дефекти, възстановяване, усилване, FRP, напъгане, Jet grouting, мониторинг

*Научна област:* възстановяване и усилване на съществуващи конструкции

### РЕЗЮМЕ

Направен е анализ на предприетите конструктивни мерки за възстановяване и усилване на повредената в резултат на големи неравномерни слягания зидана носеща конструкция на храм „Св. св. Кирил и Методий“, гр. Бургас. Обърнато е внимание на характера на проявените дефекти и на влиянието им върху поведението на конструкцията. В статията се разяснява последователността на мероприятията за възстановяване на различните типове повреди по конструктивните елементи и наборът от дейности за усилване и осигуряване на носещата конструкция както за вертикални товари, така и за сеизмични въздействия. Предвидена е система за подробен мониторинг, чрез която да бъдат следени различни параметри на работата на усилената конструкция.

<sup>1</sup> Йордан Милев, проф. д-р инж., кат. „Масивни конструкции“, УАСГ, бул. „Христо Смирненски“ 1, 1046 София, e-mail: j.milev@yoda-bg.com

<sup>2</sup> Николай Милев, инж. докторант, кат. „Геотехника“, УАСГ, бул. „Христо Смирненски“ 1, 1046 София, e-mail: n.milev@yoda-bg.com

<sup>3</sup> Диана Филатова, инж., „Йода“ ООД, София, ул. „Купените“ 10, e-mail: office@yoda-bg.com

<sup>4</sup> Анета Тотева, инж., „Йода“ ООД, София, ул. „Купените“ 10, e-mail: office@yoda-bg.com

<sup>5</sup> Георги Георгиев, инж., „Йода“ ООД, София, ул. „Купените“ 10, e-mail: office@yoda-bg.com

<sup>6</sup> Павел Дюлгеро̀в, инж., „Йода“ ООД, София, ул. „Купените“ 10, e-mail: office@yoda-bg.com

## 1. Въведение

Решението за изграждане на църквата е взето на 02.06.1895 г., а самото строителство е започнало на 15.08.1895 г. Архитектурният проект е дело на италианския архитект Рикардо Тоскани. Църквата е с площ 516 m<sup>2</sup> – дължина 32 m и ширина 21 m. Използвани са следните строителни материали: мрамор от Гърция и Турция; зелен айтоски андезит; специални български тухли; белгийско желязо и какаово дърво от Италия. Храмът е трикорабна кръстовидна базилика, ориентирана по оста изток-запад, с нартекс и апсида. Двете кули са разположени от двете страни на нартекса. Конструкцията е изградена от комбинация от тухлена и каменна зидария. Грите кораба са оформени от тухлени сводове, които лежат върху два реда от по пет колони. Църквата е една от перлите на българското културно наследство.

Строежът на подземен паркинг в непосредствена близост до църквата започва през 2011 г. Паркингът се състои от четири подземни нива с обща дълбочина 15 m под теренното ниво. Укрепяването на изкопа е извършено чрез взаимно врязани анкерирани пилоти. Въпреки мерките по укрепяване на изкопа, в края на 2011 г. укрепителната конструкция поддава и се премества след приключване на изкопните работи и причинява множество повреди по църквата. Взети са някои аварийни мерки, като е направено и пълно обследване (включващо архитектурна, конструктивна, геотехническа и геодезична част) на църквата в аварирало състояние. Проектът за спасение на църквата е разработен на база на това обследване.

## 2. Обследване на състоянието на църквата

### 2.1. Обследване на конструкцията

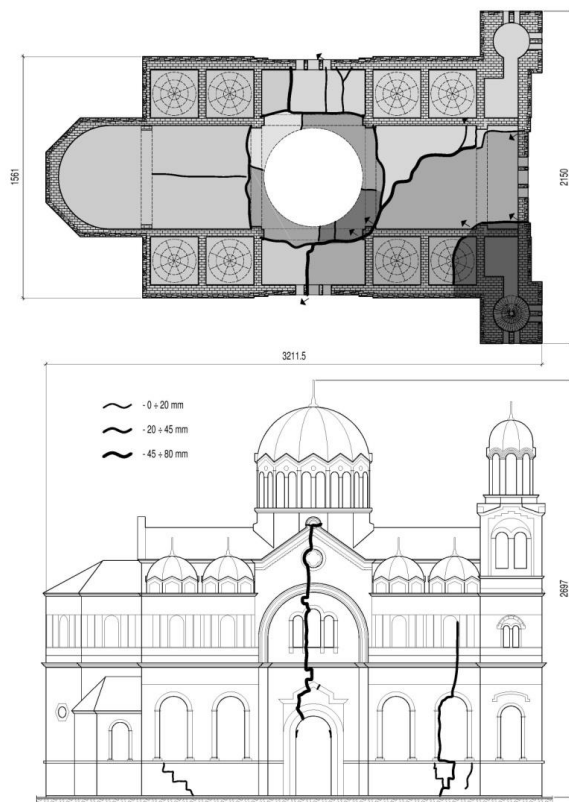
Цялото обследване е извършено съгласно Еврокод 8, част 3.

Изглед на църквата и недовършения паркинг са показани на фиг. 1. Преместването на укрепителната пилотна стена е предизвикало тежки повреди върху конструкцията на църквата вследствие на неравномерното ѝ слягане. Най-големите нанесени щети са регистрирани в частта на храма, която е в близост до изкопа.



Фиг. 1. Изглед на църквата

Разпределението на основните повреди в план и по фасадите е показано на фиг. 2.



Фиг. 2. Разпределение на повредите в план и по височина

Някои снимки на дефектите са показани на фиг. 3.



Фиг. 3. Повреди от вътрешната и външната страна на църквата

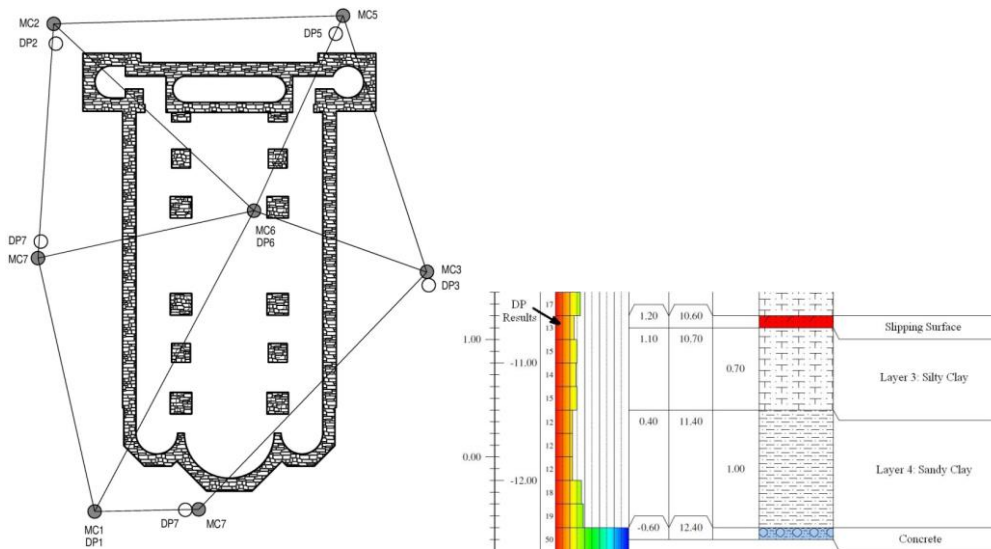
Тухлената и каменната зидария са изследвани полево и в лаборатория (фиг. 4) с цел да бъдат получени якостните им параметри. Всички геометрични размери на църквата са получени на база полеви измервания.



**Фиг. 4. Полево определяне на якостта на натиск на тухлената зидария и лабораторно определяне на адхезия на каменната зидария**

## 2.2. Геотехническо изследване

Направени и анализирани са седем сондажа с дълбочина 20 m. Проведени са динамични пенетрационни тестове до всеки сондаж. План на сондажите заедно с примерни резултати от геотехническото изследване са дадени на фиг. 5.



**Фиг. 5. Разположение на машинни сондажи и динамични пенетрационни тестове и резултати за MC5**

Едно от основните заключения на геотехническото изследване е, че е констатирана значителна промяна в нивото на подпочвените води заради отводнителните мерки, взети по време на изграждането на паркинга. Това е причината за промяната на почвените якостни параметри вследствие на водопонижението. Освен това е открита хлъзгавата повърхнина в сондаж MC5 (най-близък до изкопа) на дълбочина около 10 m (фиг. 5). Резултатите от геодезически измервания сочат, че горната част на укрепителната пилотна стена в непосредствена близост до църквата се е преместила с

200 mm по посока на изкопа. Това е причината за хоризонталното преместване на църквата към изкопа и нейното неравномерно слягане. Високите стойности на сляганията са вследствие и на влошените почвени параметри, породени от отводнителните дейности.

### 3. Концепция за усилване

#### 3.1. Общо описание

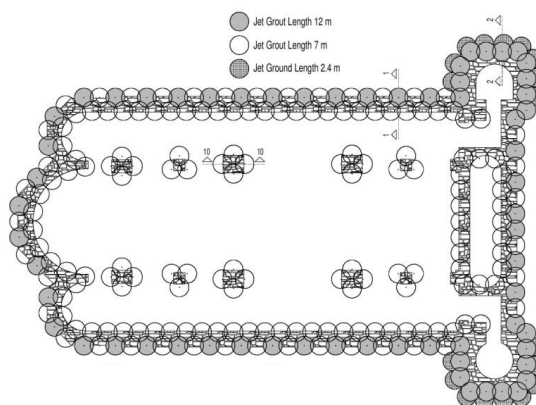
Представената в тази точка концепция за усилване е заложена в проекта за възстановяване за църквата. Всички примери от [2] за подобни усилвания са внимателно анализирани, преди да бъде избрана окончателната стратегия за възстановяване на храма. Главните възстановителни стъпки, включени в избраната концепция, са систематизирани по следния начин:

- усилване на земната основа и фундаментите;
- запълване на пукнатините с разтвор с компенсирано съсъхване;
- усилване на тухлените сводове и куполи чрез външно залепена полимерна армировка;
- усилване на всички арки чрез обтегачи;
- предварително налягане на стените на няколко нива.

Накратко е разгледана всяка от гореспоменатите стъпки за усилване.

#### 3.2. Усилване на земната основа и фундаментите

На фиг. 6 е показана концепцията за усилване на фундаментната конструкция на църквата и земната основа под нея чрез инжектиране на цимент и вода под налягане, като бъдат оформени почвено-циментови пилоти (jet grouting).



Фиг. 6. Усилване чрез почвено-циментови пилоти (jet grouting)

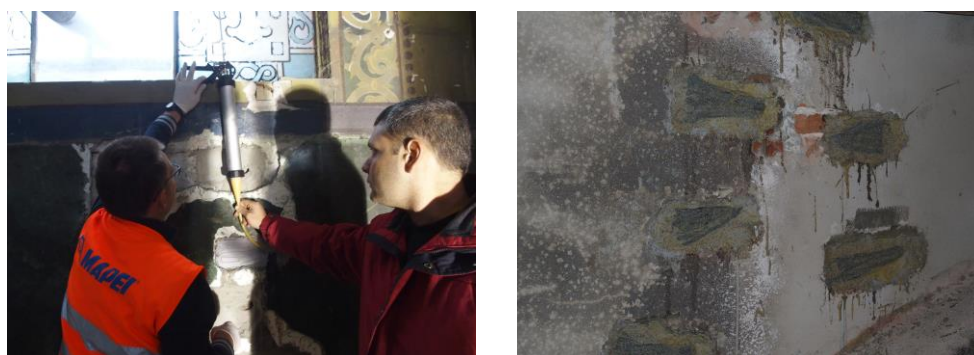
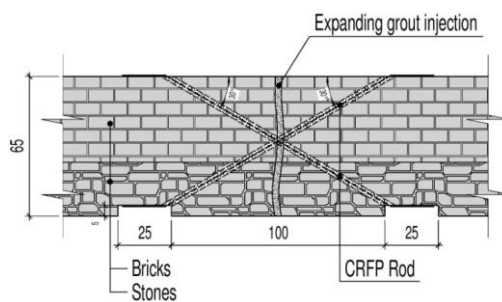
Този тип усилване е избран заради влошените почвени условия под фундаментите на църквата вследствие на аварията. Друга причина за избора е желанието на проектантите да се избегне както компрометиране на анкерите на укрепителното съоръжение, така и на съществуващите аварийни мерки, взети при усилването на земната основа веднага след инцидента.

### 3.3. Запълване на пукнатините

Целостта на църквата е възстановена чрез инжектиране на различни видове разтвори (фиг. 7) с компенсирано съсъхване в пукнатините на конструкцията на църквата. Типът на разтвора е избран в зависимост от размера и характера на пукнатините. Освен това са използвани въглеродни пръти и анкерни устройства за „зашиване“ на пукнатините (фиг. 8).



Фиг. 7. Запълване на пукнатини чрез разтвор с компенсирано съсъхване

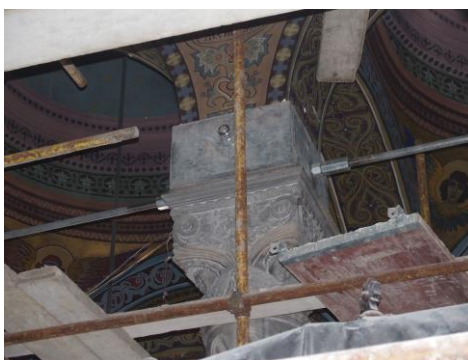


Фиг. 8. Запълване на пукнатините чрез разтвор с компенсирано съсъхване и „зашиване“ чрез въглеродни пръти

### 3.4. Усилване на тухлените сводове и куполи чрез въглеродни нишки

Използвана е външно залепена полимерна армировка за усилване на всички тухлени сводове и куполи. Всички изчисления са в съответствие с Еврокод 8, част 3 и [1].



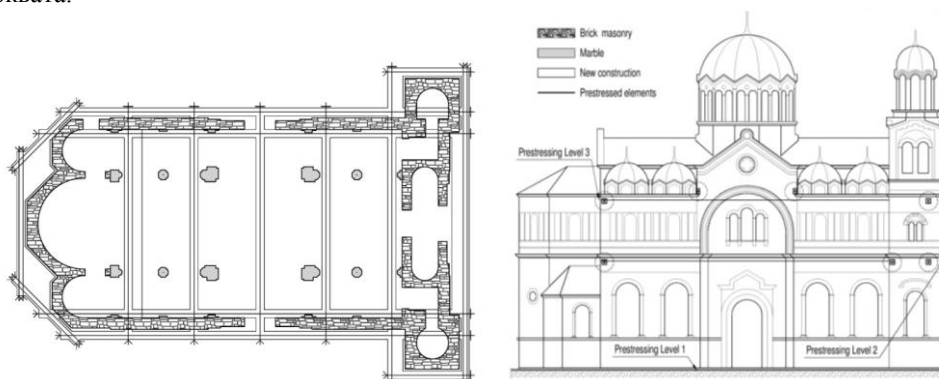


**Фиг. 11. Усилване на арките чрез обтегачи**

Вградени са обтегачи във всички арки (фиг. 11). Тази част от концепцията за усиление е една от най-важните. Основната цел на вградените обтегачи е глобалното стабилизиране на храма, за да бъде устойчив както при натоварване от вертикални товари, така и в условия на сеизмично въздействие.

### **3.6. Предварително налягане на тухлените стени на няколко нива**

Една от основните мерки, осигуряващи глобалната устойчивост на конструкцията, е предварителното налягане на тухлените стени. Предвидени са три затворени контура около цялата църква на три различни нива (фиг. 12). Също така е въведено допълнително междинно предварително налягане в двете главни направления на църквата.

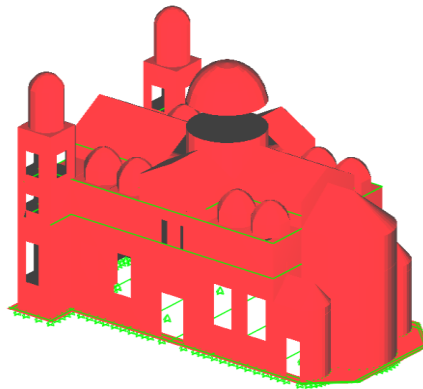


**Фиг. 12. Предварително налягане на тухлените стени в план и по височина**

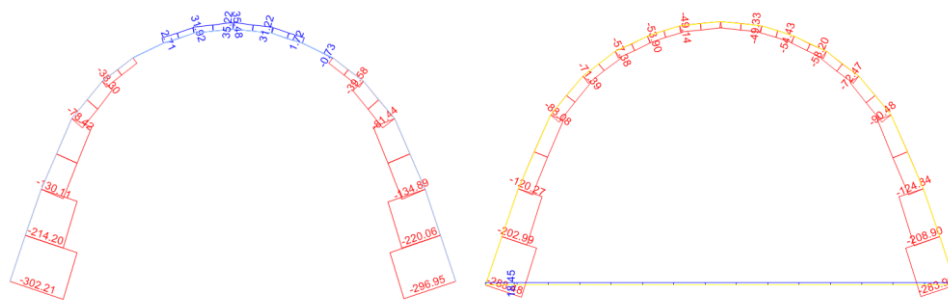
## **4. Проверка за целесъобразността на концепцията за усиление**

Концепцията за усиление е числено изследвана по метода на крайните елементи чрез прилагане на софтуера SAP2000. Различните проведени типове анализ са както следва:

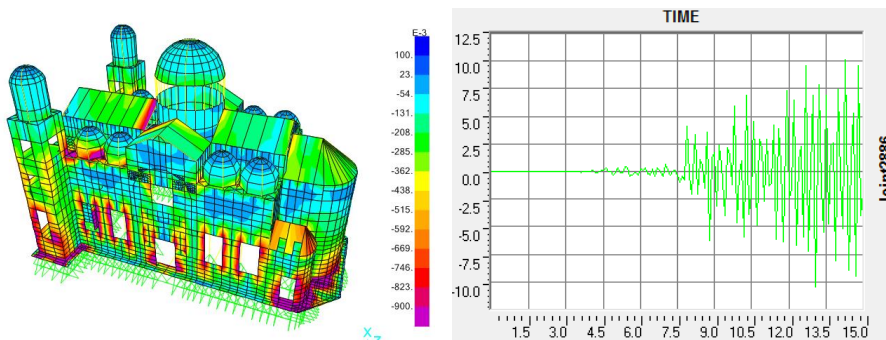
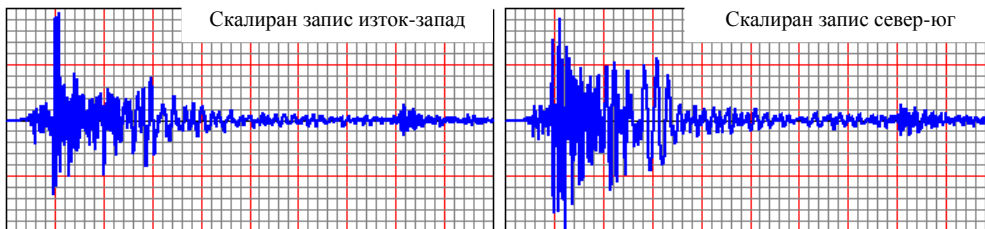
- линеен спектрален сеизмичен анализ;
- динамичен линеен анализ с акселерограми (time-history);
- статичен нелинеен анализ (pushover);
- динамичен нелинеен анализ с акселерограми (time-history).



Фиг. 13. Пространствен модел, включващ усилващите елементи, в програмата SAP2000

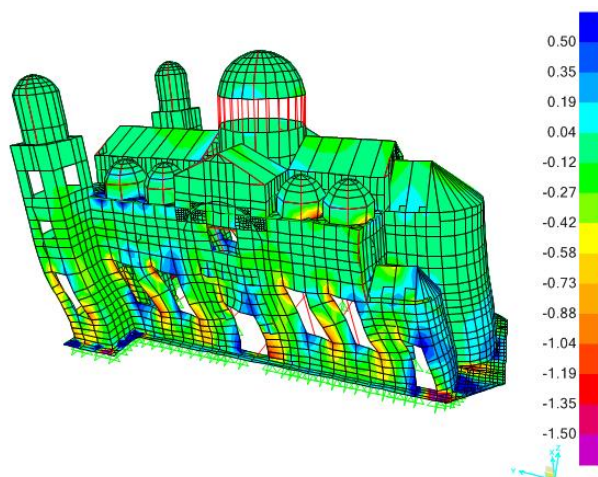


Фиг. 14. Промяна в поведението на арките при главния купол със и без обтегачи (осови сили)



Фиг. 15. Динамичен линеен анализ с акселерограми (time-history); акселерограма от земетресението в гр. Перник от 2012 г., напрежения, премествания

Гореспоменатите типове анализ са проведени за двата модела: преди и след усилване на конструкцията. Използвани са пластови layer крайни елементи от библиотеката на SAP2000 както за линейния, така и за нелинейния анализ. Тези елементи са използвани за моделиране на „чистата“ зидария и на зидария, усилена чрез карбонови нишки. Някои характерни резултати са показани от фиг. 13 до фиг. 16.



Фиг. 16. Обвивни envelope вертикални напрежения от последната стъпка на статичния нелинеен анализ (pushover)

## 5. Заключение

Въз основа на представеното обследване с практическа насоченост, могат да бъдат направени следните заключения:

- Църквата „Свети св. Кирил и Методий“, която е част от българското културно наследство, е повредена по време на изграждането на нов подземен паркинг в непосредствена близост, като това налага вземане на аварийни мерки тя да бъде усилена.
- Концепцията за усилване е разработена на база на извършеното обследване.
- Предложеният подход за усилване цели да разреши всички конструктивни проблеми на храма, свързани с натоварването от вертикални товари и сеизмично въздействие.
- Проверката на целесъобразността на избраната концепция за усилване чрез линейни и нелинейни числени изследвания по метода на крайните елементи показва значително подобрене на поведението на конструкцията, сравнено с това преди усилването ѝ, дори когато бъдат пренебрегнати повредите в нея.
- Всички изследвания поддържат твърдението, че предварителното налягане в комбинация с други методи за конструктивно възстановяване е добра опция за значително подобрене на глобалното сеизмично поведение на историческата сграда.

## ЖИТЕПАТҮПА

1. NRC – Guide for design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening of existing structures (CNR-DT 200/2004), Rome/Italy: CNR, 2004.

2. *Mazzolani, F.* Earthquake protection of historical buildings by reversible mixed techniques, FP6 Prochitech Project, Vol. 1÷6, Milano, Italy: Polmetrica S.A.S, 2012.

3. *Milev, Y., N. Milev.* Retrofit of Damaged Church St. St. Cyril and Methodius in Burgas, Prohitech Conference, Antalya, Turkey, 2014.

## EMERGENCY RETROFITTING OF ST. CYRIL AND METHODIUS CHURCH IN BURGAS

**J. Milev<sup>1</sup>, N. Milev<sup>2</sup>, D. Filatova<sup>3</sup>, A. Toteva<sup>4</sup>, G. Georgiev<sup>5</sup>, P. Dyulgerov<sup>6</sup>**

**Keywords:** *damages, retrofitting, strengthening, FRP, pre-stressing, Jet grouting, monitoring*

**Research area:** *retrofitting and strengthening of existing structures*

### ABSTRACT

The retrofitting and strengthening measures for rescuing the damaged masonry structure of St. Cyril and Methodius church in Burgas (Bulgaria) due to uneven settlements are analyzed. Special attention is paid to the background of the ascertained damages and their influence on the behavior of the structure. The sequence of the retrofitting measures for various types of damages on the structural elements and a number of activities for strengthening the structure in order to bear gravity and seismic loads are explained in the paper. A system for detailed monitoring which is capable of capturing the behavior of the strengthened structure is also provided.

---

<sup>1</sup> Jordan Milev, Prof. Dr. Eng., Dept. “Reinforced Concrete Structures”, UACEG, 1 H. Smirnenki Blvd., Sofia 1046, e-mail: j.milev@yoda-bg.com

<sup>2</sup> Nikolay Milev, Eng., PhD student, Dept. “Geotechnics”, UACEG, 1 H. Smirnenki Blvd., Sofia 1046, e-mail: n.milev@yoda-bg.com

<sup>3</sup> Diana Filatova, Eng., “Yoda” Ltd, 10 Kупenite St., Sofia, e-mail: office@yoda-bg.com

<sup>4</sup> Aneta Toteva, Eng., “Yoda” Ltd, 10 Kупenite St., Sofia, e-mail: office@yoda-bg.com

<sup>5</sup> Georgi Georgiev, Eng., “Yoda” Ltd, 10 Kупenite St., Sofia, e-mail: office@yoda-bg.com

<sup>6</sup> Pavel Dyulgerov, Eng., “Yoda” Ltd, 10 Kупenite St., Sofia, e-mail: office@yoda-bg.com

