

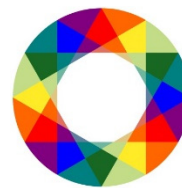
**ДГКМ**  
ДРУШТВО НА  
ГРАДЕЖНИТЕ  
КОНСТРУКТОРИ НА  
МАКЕДОНИЈА

Партизански одреди 24,  
П.Фах 560, 1001 Скопје  
Северна Македонија

**MASE**  
MACEDONIAN  
ASSOCIATION OF  
STRUCTURAL  
ENGINEERS

Partizanski odredi 24,  
P. Box 560, 1001 Skopje  
North Macedonia

**MT - 10**



mase@gf.ukim.edu.mk  
http://mase.gf.ukim.edu.mk

## САНАЦИЈА НА ШТЕТА ОД ЗЕМЈОТРЕС НА АРМИРАНО БЕТОНСКИ СКАЛИ

Владимир ДАМЈАНОВСКИ<sup>1</sup>, Денис ПОПОВСКИ<sup>2</sup>, Миле ПАРТИКОВ<sup>3</sup>

### АПСТРАКТ

Земјотресот е природна појава која е резултат на ненадејно ослободување на енергија во Земјената кора, кое предизвикува појава на сеизмички бранови. Во најопшт случај зборот земјотрес дефинира потрес, предизвикан било од природен феномен или од настан предизвикан од човекот кој генерира сеизмички бранови.

Земјотресот во Скопје од 2016 година, со магнитуда од 5.2 M<sub>w</sub> предизвика штета на армирано бетонските плочести скали во објект во Скопје. За таа цел стручен тим од Градежниот факултет во Скопје беше ангажиран да изврши увид и предложи мерки за санација на истите. Санационите мерки се состојат од поставување на два челични носачи под скалите, по целата должина, на меѓусебно растојание од 150cm. Со тоа од статички систем на армирано бетонска плоча, скалите се преточија во спрегнат пресек каде е овозможена заедничка работа на двата материјали. Анализата на конструкцијата како и самата санација е извршена во фази, со прецизни упатства и насоки, се со цел да се овозможи спрегање на двата материјали. Анализираниа е и можност на неспрегнат носач, каде се земени сите влијанија од корисното натоварување, анализирајќи ја носивоста и употребливоста, кои се задоволени.

Со самата санација и зајакнување, зголемена е носивоста на скалите за неколку пати. Покрај носивоста, подобрена е деформабилноста на истите како и задоволен е критериумот за амбиентални вибрации да бидат поголеми од 3Hz. Со други зборови, задоволени се условите на носивост, стабилност и употребливост на конструкцијата согласно важечките прописи.

**Клучни зборови:** Санација; Земјотрес; Спрегање; Испитување на конструкции

<sup>1</sup> Соработник, м-р, Градежен факултет, Универзитет „Св. Кирил и Методиј“, Скопје, Република Северна Македонија, [damjanovski@gf.ukim.edu.mk](mailto:damjanovski@gf.ukim.edu.mk)

<sup>2</sup> Доц. д-р, Градежен факултет, Универзитет “Св. Кирил и Методиј”, Скопје, Република Северна Македонија, [popovski@gf.ukim.edu.mk](mailto:popovski@gf.ukim.edu.mk)

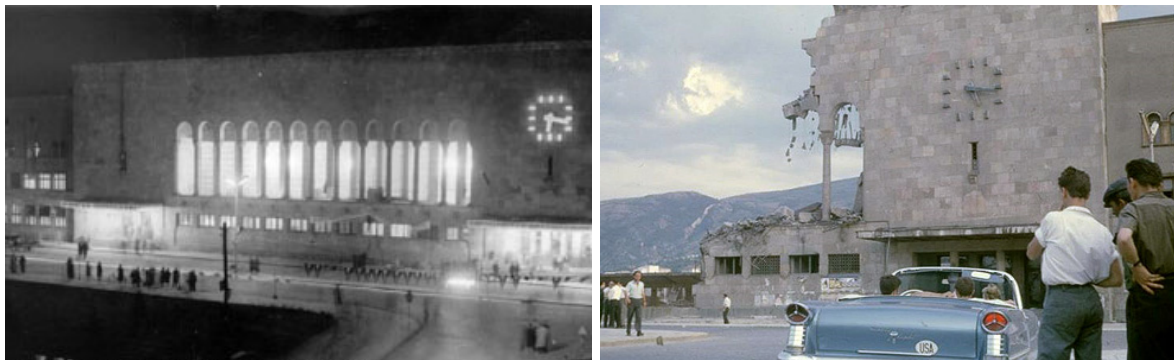
<sup>3</sup> Асистент, м-р, Градежен факултет, Универзитет „Св. Кирил и Методиј“, Скопје, Република Северна Македонија, [partikov@gf.ukim.edu.mk](mailto:partikov@gf.ukim.edu.mk)

## 1. ВОВЕД

Земјотресот како hazard е еден од најголемите „уништувачи“ на конструкции и градби од секаков тип во светот. Сеизмичките ефекти или штети, кои се најчесто предмет на интерес на градежните инженери се осцилациите на конструкциите како резултат на движењето на подлогата под темелите. Овие ефекти кои што преку тлото и темелите се пренесуваат на целиот конструктивен систем се земени во предвид во кодовите за асеизмичко проектирање.

Земјотресот е природна појава која е резултат на ненадејно ослободување на енергија во Земјената кора, кое предизвикува појава на сеизмички бранови. Во најопшт случај зборот земјотрес дефинира потрес, предизвикан било од природен феномен или од настан предизвикан од човекот кој генерира сеизмички бранови <sup>[1]</sup>.

Кога станува збор за земјотрес, треба да се напомене дека Македонија се протега на релативно „нестабилно“ тло и објектите се во голема мера изложени на дејството од земјотрес. Како еден од најголемите земјотреси кои се случиле на Балканот е токму земјотресот во Скопје од 1963 година. Земјотресот се случил на 26 јули 1963 година во 5:17 часот. Епицентарот бил во околината на Скопје, поточно близу Чучер Сандево, а неговата јачина била 9 степени по Меркалиевата скала т.е. 6.1 степен според Рихтеровата сеизмичка скала. Истиот траел 20тина секунди и се почувствувал на простор од околу 50.000 квадратни километри. Од потресот биле урнати 15.800 станови, а оштетени 28.000. Над 200.000 луѓе остана без покрив над глава. Под урнатините животот го загубиле 1.070 негови граѓани, биле повредени над 4.000 граѓани <sup>[2]</sup>.



Сл. 1. Резултат од земјотресот од 1963 година

Земјотресот од 1963 година претставува една голема „шлаганица“ за градежните инженери во тоа време. Од тогаш па наваму се обрнува се поголемо, некогаш и претерано, внимание на одговорот на конструкцијата од земјотрес. Но колку и да се зема во предвид ова влијание, секогаш постои некој објект каде што можеби е испуштен некој детал и при посериозни земјотреси, но не толку големи како оној од 1963 година, на објектите се забележуваат пукнатини, прснатини и помали и понесериозни деформации.



Сл. 2. Штети од земјотресот од 11 септември 2016 година

Еден таков земјотрес се случи токму во 2016 година. На 11 септември 2016 година Скопје беше погодено од низа на земјотреси со магнитуда од 2.1 до 5.2 Mww. Токму тој најсилниот, чиј

епицентар беше на неколку километри од центарот на Скопје, поточно во Гази Баба во непосредна близина на комплексот железара, на длабочина од околу 10 km и повторно ги освести граѓаните и градежните инженери дека активноста на тлото под главниот град не е завршена и да не се забораваат ефектите од тоа дејство. За разлика од оној од 1963 година, штетите од овој земјотрес беа локални, на одредени елементи од конструктивните системи. Ниту еден објект не доживеа колапс, а уште поважно од се е дека кај овој земјотрес немаше штети по здравјето и животот на луѓето.

Како последица на земјотресот од 2016 година, настрадаа скалите на објект при Универзитет „Св. Кирил и Методиј“ во Скопје. Штетата која се случи како последица од земјотресот беше доволно голема за да во најбрзо време се забрани проод на тој скалишен простор, кој е од голема важност за вертикалната комуникација во објектот, и се повикаат стручни лица кои ќе извршат проценка и санација на штетата.

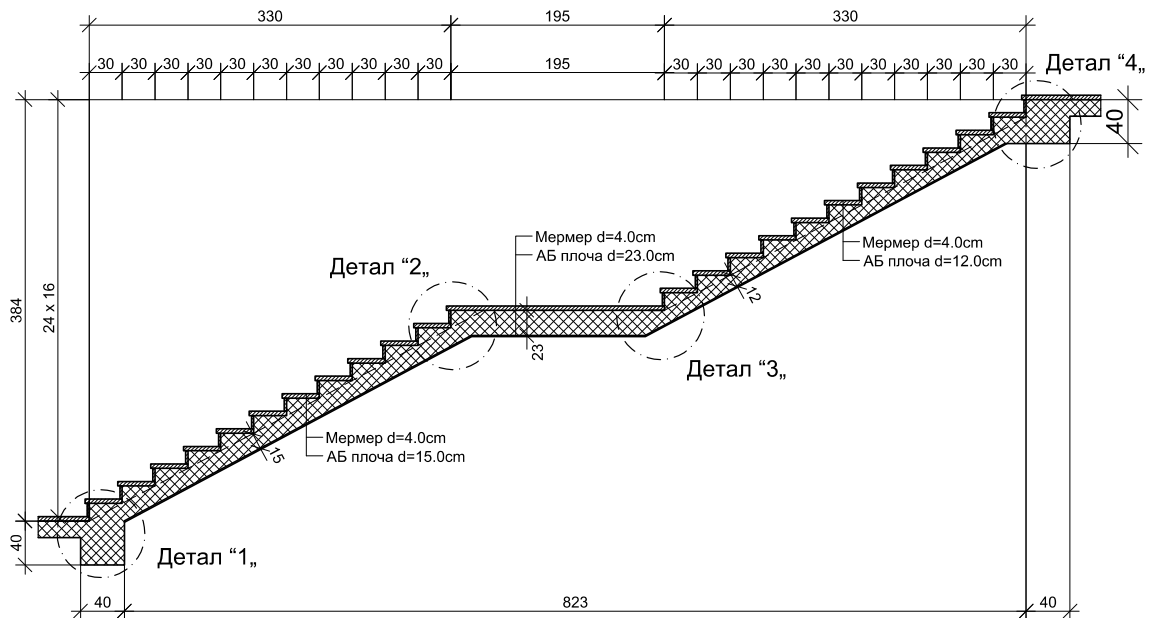
## 2. ШТЕТА ОД ЗЕМЈОТРЕСОТ

Последици од земјотресот од 11 септември 2016 година се појавија на скалите на факултет во Скопје. На слика 3 може да се забележат оштетувањата на конструктивниот систем за вертикална комуникација во објектот. Скалите претставуваат прекршена армирано бетонска плоча со дебелина на краци од 12cm и 15cm, и подест со дебелина од 23cm. Распонот на конструкцијата од скалите изнесува 8.6m, со ширина од 2.0m, споени до надворешниот ѕид од внатрешниот двор на факултетот од едната страна, и метална ограда од другата страна. Скалите претставуваат главна вертикална комуникација (од вкупно две) за поврзување на приземјето со првиот и вториот кат од објектот.

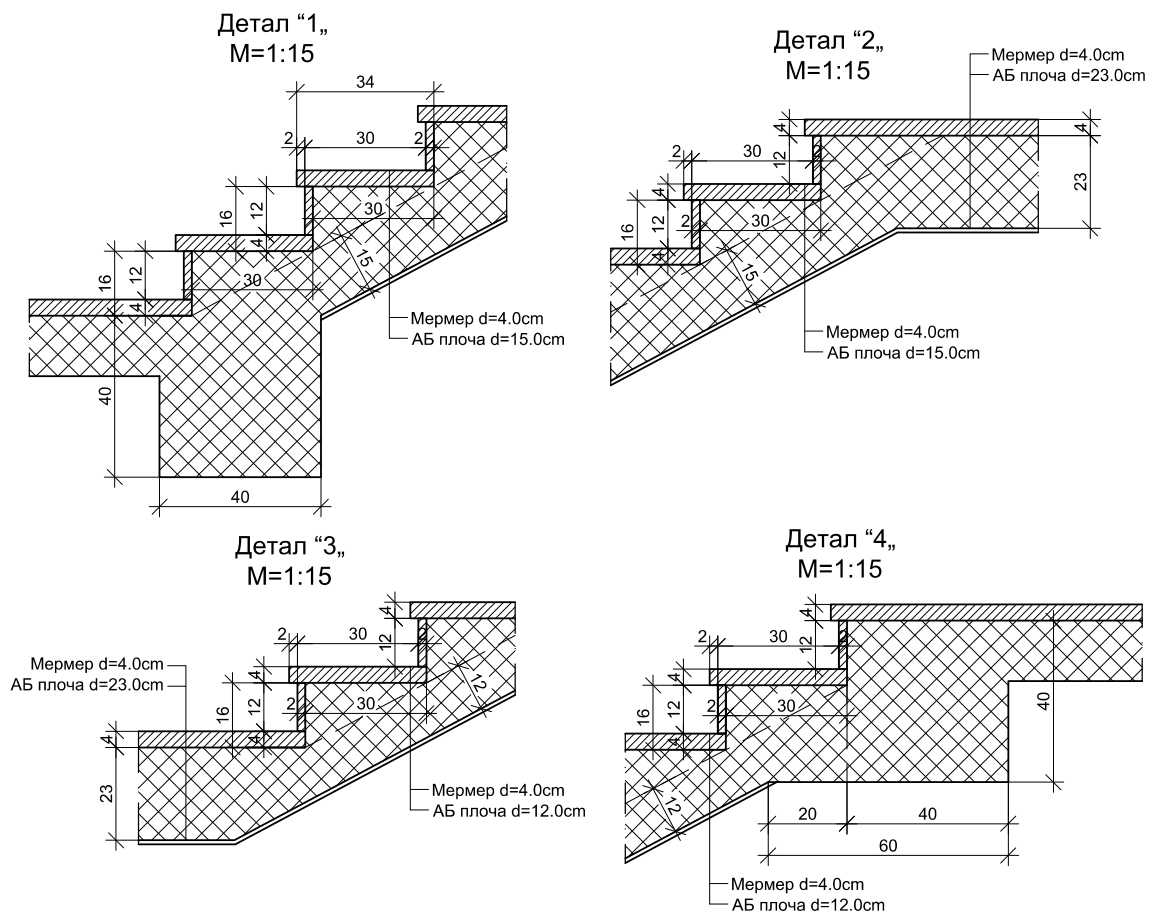


Сл. 3. Оштетувања на армирано бетонски скали од дејство на земјотрес

Од слика 3 јасно може да се забележи пукнатина на плочата, на прекршувањето од одмаралиштето и горниот крај од скалите. Станува збор за сериозно оштетување на носивата конструкција. Исто така може да се забележи и пукнатина на мермерните плочи од меѓукатната конструкција на првиот кат. Исто така, при движењето на скалите, приметени се вибрации, кои што не се во препорачаните граници и се прилично осетливи и незгодни за минувачите. Поради тоа скалите се ставени вон употреба, иако станува збор за главната вертикална комуникација со вториот кат.



Сл. 4. Попречен пресек на постоечка состојба



Сл. 5. Детали на постоечка состојба

За потребите на понатамошните анализи и зафати, извршено е премерување на конструктивниот систем околу скалите. Определени се димензиите на гредите и столбовите, дебелината на носивиот дел од скалите, како и извршени се мерења на сите елементи кои претставуваат основно натоварување. Поради затвореноста на конструктивните носиви елементи (греди и столбови) со внатрешна фасада од малтер, мермерни плочи и спуштен плафон, а со цел на недеструктивна операција на макроскопската оскултација, димензиите на гореспоменатите елементи се добиени со употреба на профометар преку местоположбата на главната арматура.

Скалниците се со просечна висина од 16cm и просечна ширина од 30cm, додека газиштата на скалите се мермерни плочи со дебелина од 4.0cm, со дополнителни вертикални мермерни плочки со дебелина од 2.0cm на висината од скалниците.

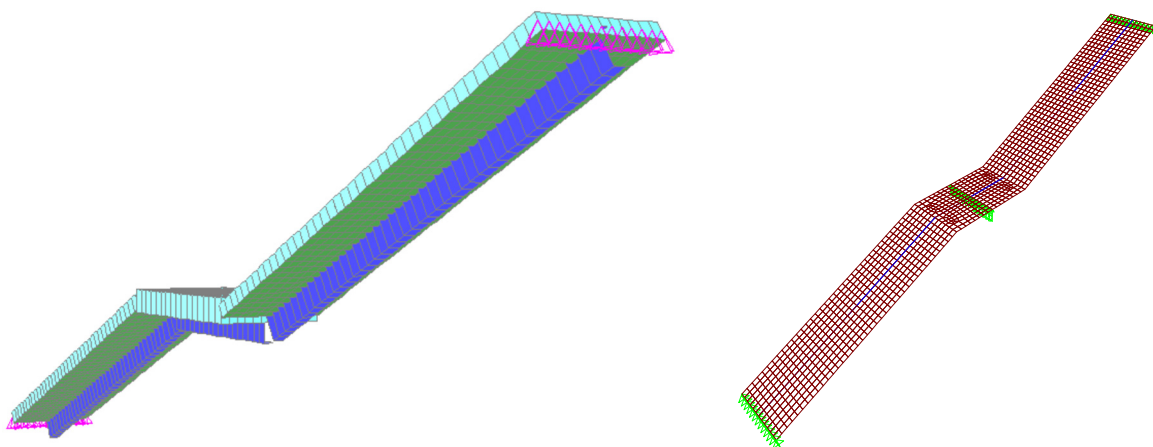
Оштетените скали се детално прегледани и измерени, проверен е распоредот на вградената арматура, прогнозирана е марката на бетон со употреба на склерометар (C20/25). Покрај оштетувањата, скалите сеуште имаат носив капацитет, што овозможува примена на санационо решение од полесен карактер.

### 3. САНАЦИОНО РЕШЕНИЕ

По извршената макроскопска оскултација и определување на сите носиви конструктивни елементи на скалите и во непосредна близина на истите извршена е анализа на конструкцијата и е избрано соодветно, економски оправдано и инженерски издржано решение за санација на скалите. Санационото решение се состои од поставување на две челични греди по должината на скалите, кои се потпираат на гредите пред и после скалите. Гредите се поставени на меѓусебно растојание од 150cm и се соодветно поврзани со армирано бетонската плоча за да се овозможи заедничка работа на двата материјали, со други зборови да се изврши спрегање на челикот и бетонот. Со тоа статичкиот систем од армирано бетонска плоча се претопува во два спрегнати носачи, кои што имаат многу поголем носив и деформациски капацитет од самата плоча.

#### 3.1. Анализа на конструкцијата

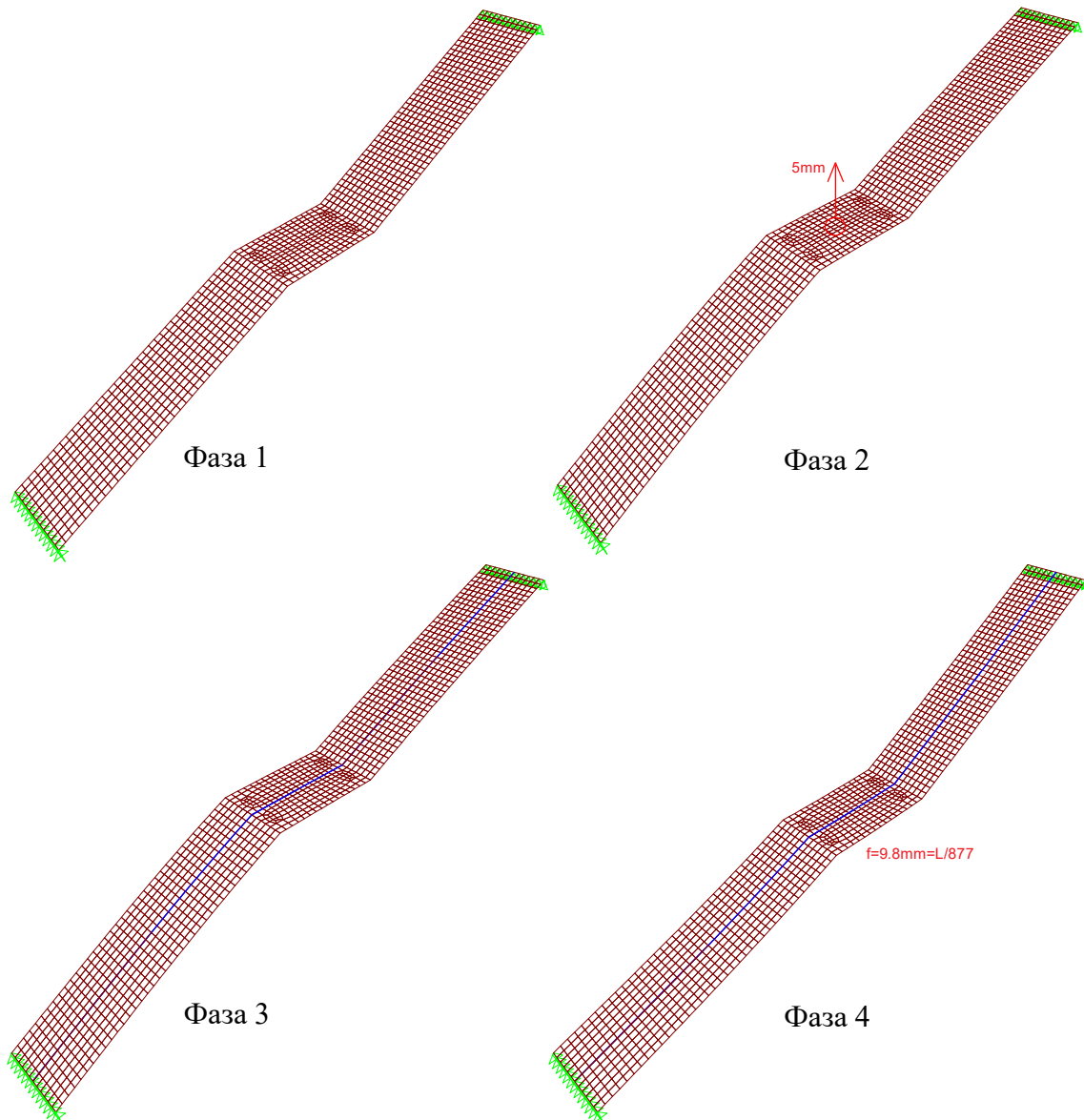
Анализата на конструктивните елементи е извршена преку нелинеарна анализа за тродимензионален модел со конечни елементи. Во моделот се нанесени постојаните товари кои скалите ги имаа и пред оштетувањето, товарот од конструкцијата за санација, челичните носачи. Нанесен е и товар од луѓе според важечките регулативи во Македонија. Дебелината на елементите е земена според реалните измерени димензии, квалитетот на бетонот е C20/25 додека квалитетот на челикот е S235JR.



Сл. 6. Приказ на математички модел

Анализата на носивоста е извршена со нанесување на товарите во фази. Првата фаза е чист бетонски пресек со постојани товари кои што веќе се нанесени на скалите во фаза на

експлоатација. Во втора фаза се врши подигање на конструкцијата, во средината на одмаралиштет, кое изнесува 5mm вертикално нагоре. Со подигањето на конструкцијата се овозможува понатамошно преднапрегање на конструкцијата а со тоа и спрегање на двата материјали. Во таква состојба, подигната за 5mm на одмаралиштето, нанесена е новата челична конструкција. Последната фаза е релаксирање на конструкцијата. Како што веќе е кажано, во оваа фаза, при спуштањето на конструкцијата, се врши спрегање на двата материјали т.е. челикот се активира и на постојаните товари, а не само на корисните што би било случај доколку се вгради челичната конструкција без „преднапрегање“ на бетонската.



Сл. 7. Фази на товарење на математички модел

По извршените анализи на елементите од попречниот пресек и извршената нелинеарна анализа во фази добиени се попречните пресеци на елементите. За носачи усвоени се UPN300 топовалани профили, додека врската со бетонската плоча е со хемиски анкери. Изведбата е предвидена во фази и тоа:

- Прва фаза е подигање на конструкцијата за 5mm, што одговара на сила од 10kN (1t). За подигање на скалите, предвидена е подконструкција која е прикажана на слика 8.
- Втора фаза е поставување на челичните носачи под бетонската плоча. Поставувањето се врши според прикажаното на слика 8. Првиот и последниот анкер на секој од краците се

предвидени како механички анкери. Улогата нивна е да ги држат носачите на потребната позиција за да може да се изврши вградување на останатите хемиски анкери.

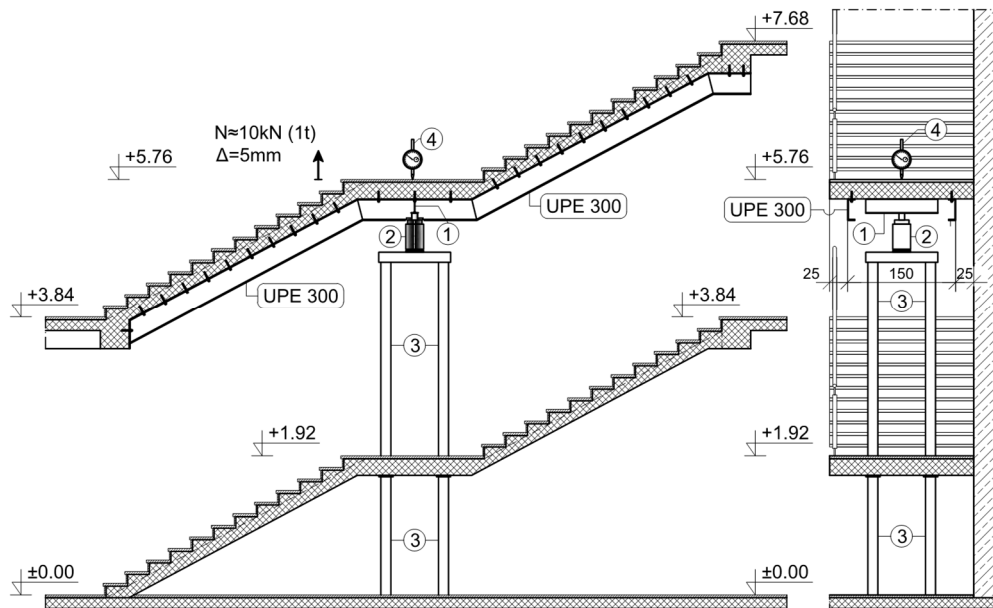
- По вградувањето на хемиските анкери и нивното стегање, се врши спуштање на конструкцијата во крајна положба.

Од сите извршени анализи добиена е крајна деформација од 9.8mm која одговара на  $L/877$  и е во дозволените граници според актуелните прописи за проектирање на конструкции.

Анализирана е и можност на неспрегнат носач, каде се земени сите влијанија од корисното натоварување, анализирајќи ја носивоста и употребливоста, кои се задоволени.

### 3.2. Санација на армирано бетонски скали

Санацијата, како што е веќе кажано, е предвидена со поставување на две челични греди UPE300 по должината на скалите, на меѓусебно растојание од 150cm. Поврзувањето со постојната армирано бетонска конструкција е со анкери кои се поставуваат преку појасот на челичниот профил, во бетонската плоча.



Сл. 8. Диспозиција на елементи за санација  
(1) траверза, (2) преса, (3) монтажне скеле, (4) уклономер

Изведбата е извршена согласно прикажаната скица и предадената проектна документација. За подигање на конструкцијата користена е 5t преса со манометарско отчитување на нанесената сила. Контрола на подигањето е извршено со механички компаратор (угибомер) со точност од 0.05mm.

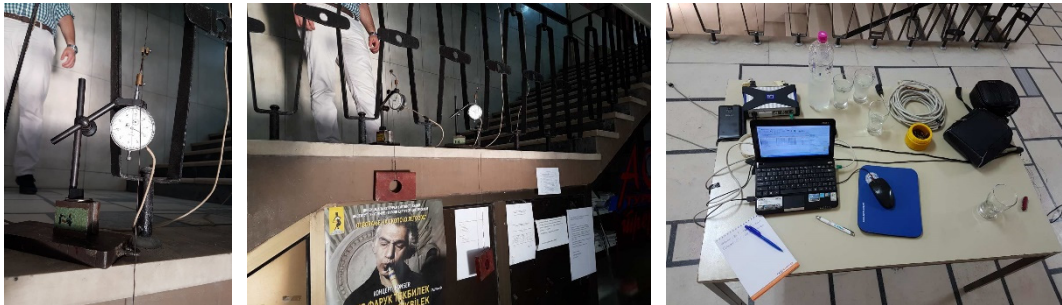


Сл. 9. Изведба на конструкција за санација и зајакнување

#### 4. ИСПИТУВАЊЕ НА КОНСТРУКЦИЈАТА

За потребите на определување на носивоста, стабилноста и употребливоста, извршени се испитни мерења на скалите. Испитувањето е извршено после монтажа на челичната конструкција, преку вградување на хемиските анкери и воведување на влијанијата во спрегнатиот пресек преку контролирани деформации, во согласност на Елаборатот за санацијата.

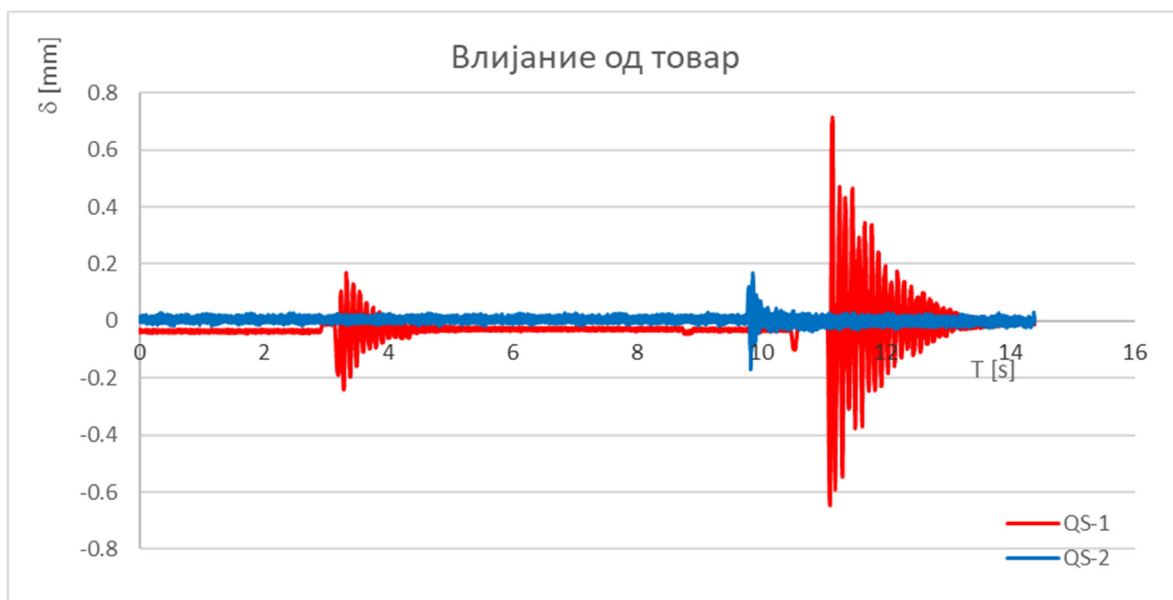
Испитувањето е извршено и за добивање на релевантни податоци на амбиентни вибрации, и дали истите се во препорачениот опсег. Резултатите се добиени со употреба на осумканално појачало НВМ Quantum, преку софтвер за аквизиција на податоците во текот на испитувањето. Точноста на мерниот инструментариум е  $\pm 1.5\%$ . Нанесувањето на динамичиот товар е со воведување на товарна сила и преку импулсивен удар. Пратено е однесувањето на скалите и поместувањата во текот на товарењето.



Сл. 10. Мерна опрема за испитување

На слика 10 е прикажана мерната опрема на која се приклучени електронски компаратори со мерен опсег од 25mm и точност од 0.05mm, стратешки поставени по должината на скалите. Поради специфичноста на статичкиот систем, товарот е нанесен на средина од распонот, со директно нанесување, како и со импулсивен удар од висина од 500mm.

##### 3.1. Резултати од испитувањето



Сл. 11. Резултати од испитувањето

На слика 11 компаративно се прикажани резултатите од товарењето и одговорот на конструкцијата. Дијаграмот QS-1 е за чиста АБ конструкција, со одговор на двата вида на товарење, при овој случај максималното поместување од импулсивниот товар изнесува 0.731mm, пригушување со траење од 2.366 секунди, каде што фреквенцијата на сопствените вертикални осцилации изнесуваат 0.42Hz, кој е во опсегот на недозволените вредности. Дијаграмот QS-2 е



за подобрена носивост на ново изведената спрегната конструкција, каде при исти услови на товарење добиени се максимални поместувања од 0.157mm, и пригушување со траење од 0.261 секунда, каде што фреквенцијата на сопствените вертикални осцилации изнесува 3.41Hz, кои ги задоволуваат пропишаните вредности. Директно нанесениот товар е во опсегот на точноста на мерење на мерниот инструментариум и воопшто не се приметени влијанијата, што значи дека конструкцијата има значително поголема крутост од настанатата состојба на носивост.

## 5. ЗАКЛУЧОК

Земјотресот како hazard е еден од најголемите причинители на штети на конструкции во светот. Во конкретниот случај, земјотресот во Скопје од 2016 година предизвика штета на скалите на објектот во Скопје. За таа цел стручен тим од Градежниот факултет беше ангажиран да изврши увид и преземе мерки за санација и зајакнување на главните скали во факултетот.

Од извршената анализа на ситуацијата на терен и извршените математички анализи, предвидено е санационо решение со челични носачи под скалите. Со самото санационо решение, зголемена е носивоста на скалите за неколку пати. Покрај носивоста подобрена е драстично и деформабилноста на истите. Со други зборови, со санацијата исполнети се критериумите за носивост, стабилност и употребливост на конструкцијата и истата е вратена во состојба на повторна употреба. Од испитувањето на конструкцијата, по завршувањето на санационите мерки, измерена е периода на осцилација 3.41Hz од подвижен, корисен товар, вредност која ги задоволува препораките.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Елена Думова Јованоска, Печатени предавања по предметот „Основи на асейзмичко проектирање“, Градежен факултет, Скопје, Република Северна Македонија
- [2] [https://mk.wikipedia.org/wiki/Скопски\\_земјотрес\\_1963](https://mk.wikipedia.org/wiki/Скопски_земјотрес_1963)
- [3] „Елаборат за санација на АБ скали“, Градежен факултет, Скопје, Република Северна Македонија, Март 2017 година
- [4] Петар Цветановски, Печатени предавања по предметот „Испитување на конструкции“, Градежен факултет, Скопје, Република Северна Македонија
- [5] Петар Цветановски, Печатени предавања по предметот „Челични конструкции“, Градежен факултет, Скопје, Република Северна Македонија
- [6] Атанас Филиповски (2000), „Основи на челични конструкции“, АД Печатница – Напредок, Тетово, Република Северна Македонија
- [7] Завршен извештај од извршен надзор на санација на АБ скали на Педагошки факултет, Градежен факултет, Скопје, Република Северна Македонија, Јули 2017 година
- [8] Петар Цветановски, Печатени предавања по предметот „Челични конструкции на згради“, Градежен факултет, Скопје, Република Северна Македонија