



Получена: 28.02.2017 г.

Приета: 10.05.2017 г.

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА РАМКИ С НЕЦЕНТРИЧНОВКЛЮЧЕНИ ДИАГОНАЛИ (ЕВФ) С НОВ ТИП ЗАМЕНЯЕМ СЕИЗМИЧЕН СВЪРЗВАЩ ЕЛЕМЕНТ

А. Ашиков<sup>1</sup>, Хр. Стефанов<sup>2</sup>, Б. Белев<sup>3</sup>

*Ключови думи:* земетръсно инженерство, дуктилно поведение, стоманени конструкции, експериментално изследване

### РЕЗЮМЕ

Стоманените рамки с нецентричновключени диагонали (Eccentrically Braced Frame – **ЕВФ**) са конструктивна система за сеизмично осигуряване на сгради, която използва концепцията за конструктивните бушони (т.е. която е проектирана да претърпи контролирани повреди по време на силно земетресение). За традиционните стоманени рамки с нецентричновключени диагонали (ЕВФ) се очаква да претърпят значителни повреди, развивайки значителни нееластични деформации в техните сеизмични свързващи елементи (линк-елементи). Ремонтът на тези елементи е скъп и може да наложи временно изваждане от експлоатация на цялата сграда. В настоящата статия е представено изследване на рамка от типа ЕВФ с иновативно конструктивно оформяне на сеизмичния свързващ елемент. Бяха проведени две експериментални изследвания на едноетажна рамка от типа ЕВФ с реални размери. При първия тест беше приложено монотонно натоварване на рамката, а при втория тест – циклично знакопроменливо натоварване. Опитните образци показаха добро дуктилно поведение и стабилни във времето дисипативни свойства. Подмяната на повредените сеизмични свързващи елементи беше извършена с лекота, което подсказва за добрата ремонтпригодност на предложеното конструктивно оформяне.

<sup>1</sup> Ангел Ашиков, докторант, кат. „Метални, дървени и пластмасови конструкции“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: angel.ashikov@gmail.com

<sup>2</sup> Христо Стефанов, студент, кат. „Метални, дървени и пластмасови конструкции“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: ia.stefanov@abv.bg

<sup>3</sup> Борислав Белев, проф. д-р инж., кат. „Метални, дървени и пластмасови конструкции“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: belev\_fce@uacg.bg

## 1. Въведение

Стоманените рамки с нецентрично включени диагонали (Eccentrically Braced Frames“), EBF) са относително нова конструктивна система за сеизмично осигуряване на сгради. Сградите, имащи носеща конструкция от типа EBF, са проектирани да понесат контролирани повреди по време на земетресение, използвайки концепцията за „конструктивния бушон“. Сеизмично устойчивите системи от типа EBF комбинират високата коравина в еластичния диапазон с отличната дуктилност и дисипативност в нееластичния диапазон на работа. Рамките от типа EBF могат да се разглеждат като „хибридна система“ на рамките с центрично включени диагонали и рамките с корави възли [1]. Дисипативният елемент (сеизмичен свързващ елемент или от английски език – „Seismic Link“) играе ролята на дуктилен конструктивен бушон, който, когато е добре проектиран и детайлиран, осигурява глобална дуктилност и дисипативен капацитет, сравними с тези на рамките с корави възли. Диагоналите на рамките от типа EBF осигуряват високата еластична коравина, характерна за рамките с центрично включени диагонали, и по този начин предписанията за междуетажните премествания на нормите могат да бъдат постигнати икономично [2].

## 2. Актуалност на проблема

При традиционните стоманени рамки от типа EBF сеизмичният свързващ елемент е продължение на колекторната греда и подпира етажна плоча, дори и да не е проектиран като комбиниран. Тази свързаност на сеизмичния свързващ елемент със съседната му колекторна греда или греди означава, че гредата трябва да бъде проектирана да пластифицира от срязване в зоната на сеизмичния свързващ елемент. Същевременно с това, частта от колекторната греда извън сеизмичния свързващ елемент трябва да има необходимата носимоспособност за поемане на завишените усилия от уякчаването на сеизмичния свързващ елемент [3]. За да се удовлетворят тези две условия, проектантите много често преоразмеряват сеизмичните свързващи елементи. Оттук следват и по-големи усилия, които трябва да се поемат от всички елементи на рамката и техните съединения, включително диагонали, колони, етажни плочи и фундаменти. Това неизбежно води до увеличаване на общата цена на конструкцията [4].

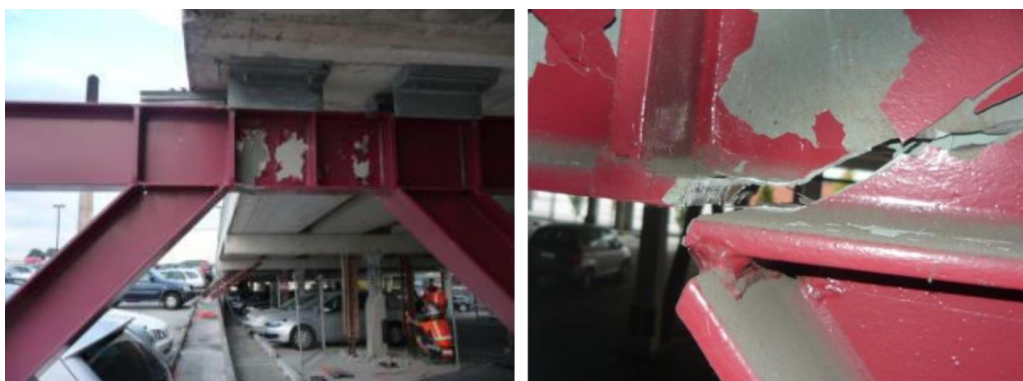
Като се вземат под внимание по-горе споменатите фактори е препоръчително да се оптимизира проектирането на рамките от типа EBF чрез разделяне на сеизмичните свързващи елементи от останалите конструктивни елементи. За да се случи това, трябва да бъдат използвани заменяеми сеизмични свързващи елементи (от английски език – „Replaceable Active Links“ RAL). Този тип сеизмични свързващи елементи позволяват независим контрол на носимоспособността, коравината и дуктилността на рамките от системата EBF.

Като доказателство на необходимостта за разработването и развитието на концепцията за заменяеми сеизмични свързващи елементи може да послужат наскорошните серии от земетресения в Крайстчърч, Нова Зеландия. В периода от 4 септември 2010 г. до 23 ноември 2011 г., Крайстчърч и околните му райони бяха разтърсени от шест силни и разрушителни земетресения. Сериите земетресения започнаха на 4 септември 2010 г. със земетресение с магнитуд 7,1 по скалата на Рихтер. Епицентърът беше на около 40 km от центъра на град Крайстчърч, а хипоцентърът беше с дълбочина около 20 km. След това земетресение бяха усетени повече от 18 афтершока с магнитуд над 5,0 по скалата на Рихтер, включително и това на 22 февруари 2011 г., което беше най-силният афтершок [5], [6].

От всички сгради със стоманени конструкции от системата EBF, които бяха обследвани в детайли след земетресенията, беше видно, че почти всички сеизмични свързващи елементи бяха деформирани в своя нееластичен диапазон, като някои от тях бяха повредени. Имаше и изолирани случаи на по-сериозно повредени сеизмични свързващи елементи, но причината за това би могла да бъде лошото детайлиране от страна на проектанта и/или лошото изпълнение от страна на строителя, водещи до компрометиране на пътя на силите [6]. Нямаше случаи на непредвидено лошо поведение нито на детайл, нито на конструктивен елемент. Пример за повреден сеизмичен свързващ елемент вследствие на нецентрирането на поясите на диагоналите и техните ребра в колекторната греда е показан на фиг. 2. Поради наличието на подобни повреди в някои сгради, получени от повтарящите се нееластични деформации и настъпването на местна загуба на устойчивост (вж. фиг. 1 и фиг. 2), трябваше да бъде решено кои сгради да бъдат ремонтирани и кои съборени.



**Фиг. 1.** Сеизмичен свързващ елемент на рамка от типа EBF в сградата на Pacific Tower след земетресението в Крайстчърч на 22-ри февруари 2011 (снимки на Charles Clifton) [6]



**Фиг. 2.** Сеизмичен свързващ елемент на рамка от типа EBF от конструкцията на обществения паркинг St Asaf и St Angtigua, Крайстчърч, 2011 (снимки на Charles Clifton) [6]

Въпреки че стоманените конструкции като цяло показаха неочаквано добро поведение, индустрията за стоманени конструкции в Нова Зеландия беше алармирана, че сеизмичното проектиране може да бъде подобро. Това може да бъде постигнато или

чрез намаляване на риска от настъпване на значителни повреди в главните елементи, или чрез конструиране на тези елементи, така че те да бъдат лесно и бързо ремонтирани [7].

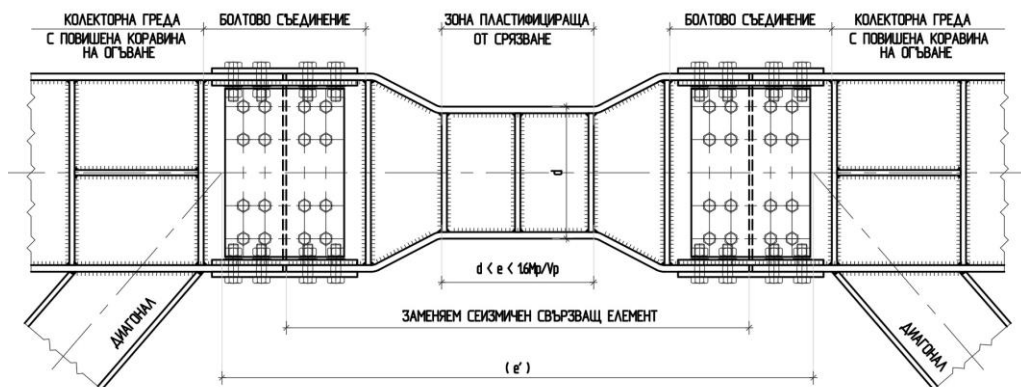
### **3. Цели и задачи на численото и експерименталното изследвания**

Основната цел на научния труд, представен в този доклад, е да се установи чрез числено моделиране и експериментално моделно изследване в мащаб 1:2 приложимостта на иновативния подход при проектирането на рамки от системата EBF със заменяеми сеизмични свързващи елементи и дали предложената модификация и конструиране на заменяемия сеизмичен свързващ елемент е в съответствие с предписанията на Еврокод [8], [9], както и на Новозеландските норми [10], [11], [12]. Оценка на поведението на заменяемите сеизмични свързващи елементи беше постигната чрез:

- 1) Разработване на изчислителен модел и прилагане на числено интегриране на нелинеен динамичен анализ във времето. Той беше извършен с цел да се:
  - определи глобалното поведение на конструкцията;
  - оцени коефициентите на уякчаване на сеизмичните свързващи елементи;
  - изчисли натоварването от осови сили, срязване и огъване както върху главните, така и върху останалите елементи на рамките от типа EBFs;
  - потвърди, че заменяемите сеизмични свързващи елементи могат да постигнат необходимия ротационен капацитет, предписан в нормите за сеизмично проектиране [9], [11], [12], [13];
  - потвърди възможността за демонтирането и подмяната на заменяемите сеизмични свързващи елементи дори и след като конструкцията е понесла остатъчни деформации.
- 2) Разработване на изчислителна процедура и конструктивни предписания за съединенията на заменяемите сеизмични свързващи елементи.
- 3) Симулиране на сеизмично натоварване на едноетажна рамка от системата EBF със заменяеми сеизмични свързващи елементи за определяне на поведението ѝ. Анализите по метода на крайните елементи бяха извършени с цел да се:
  - потвърди капацитетът на съединението сеизмичен свързващ елемент към колекторна греда при предаването на моментите и срязването в сеизмичните свързващи елементи;
  - потвърди, че сечението на колекторната греда извън зоната на заменяемия сеизмичен свързващ елемент работи в еластичен стадий или работи с минимално пластифициране в определени зони.
- 4) Експериментално моделно изследване в мащаб 1:2 на поведението на едноетажна рамка от системата EBF със заменяеми сеизмични свързващи елементи. Това изследване беше постигнато чрез два отделни тестови образца. Първият опитен образец беше изпитан чрез монотонно натоварване, докато вторият – чрез циклично, знакопроменливо натоварване. Основната цел на експерименталните моделни изпитвания, в мащаб 1:2, е да се докаже концепцията на иновативното предложение за конфигурация и детайлиране на заменяеми сеизмични свързващи елементи с болтова връзка.

#### 4. Описание на предложения заменяем сеизмичен свързващ елемент

Конфигурацията на заменяемия сеизмичен свързващ елемент, която е изследвана в настоящата научна разработка, използва заварено Н-образно сечение, съставено от широки и дебели пояси и относително тънко стебло. Сеизмичният свързващ елемент е свързан към колекторната греда чрез болтове и снаждащи плочи по горен и долен пояс, които предават огъващите моменти, а срязването от своя страна се предава чрез болтове в стеблото и стеблени снаждащи плочи. Съединението трябва да бъде в състояние да предаде и понесе максималните усилия, които могат да се получат при пълното пластифициране и последващо уякчаване на сеизмичния свързващ елемент.

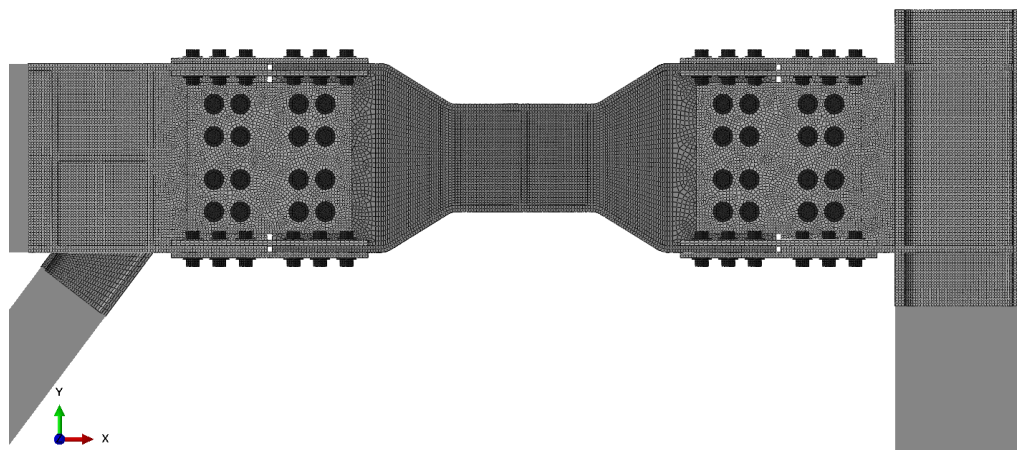


Фиг. 3. Схема на предложения заменяем сеизмичен свързващ елемент

Както може да се види на фиг. 3, височината на заменяемия сеизмичен свързващ елемент в зоната на пластифициране от срязване е по-малка от тази на колекторната греда. Целта е заменяемият сеизмичен свързващ елемент да не взаимодейства с етажната плоча, и по този начин да бъде лесно заменен при необходимост. Болтовете и снаждащите плочи по горния пояс трябва да бъдат проектирани така, че да не развиват каквито и да било нееластични деформации. Поясните и стеблените болтови съединения със снаждащи плочи като цяло се считат за по-евтини и по-лесни за изработка в сравнение със съединенията с фланцеви плочи.

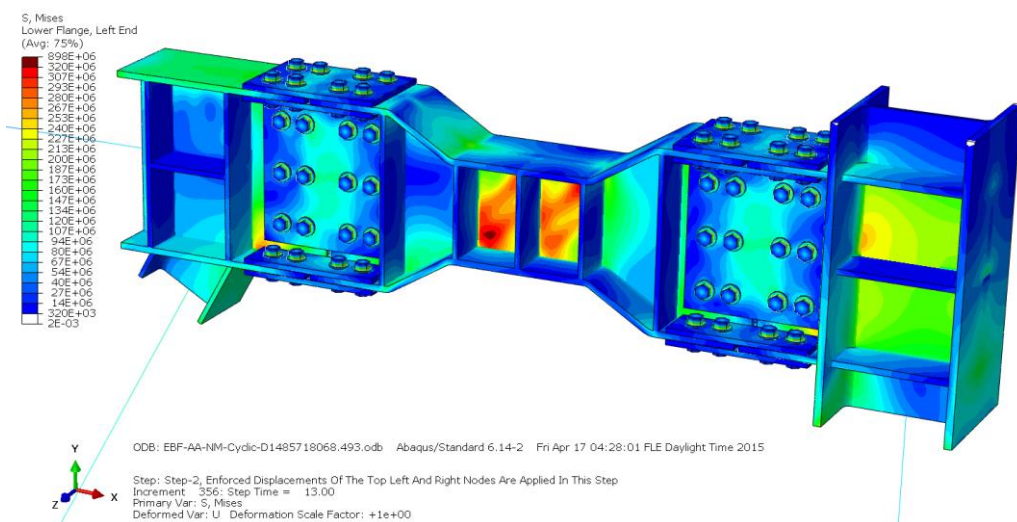
#### 5. Числено изследване на рамки с нецентрично включени диагонали (EBF) с нов тип заменяем сеизмичен свързващ елемент

Представените по-долу резултати от численото изследване на стоманени рамки от типа EBF с новия тип заменяем сеизмичен свързващ елемент показват, че предложената изчислителна процедура постига поставените цели, а именно да се ограничат нееластичните деформации извън зоната на стеблото от редуцираното сечение на сеизмичния свързващ елемент. По този начин останалата част от конструкцията работи основно в еластичен стадий по време на силни земетресения. На фиг. 4 е показан дискретизиран модел на регион от стоманената рамка от вида EBF.



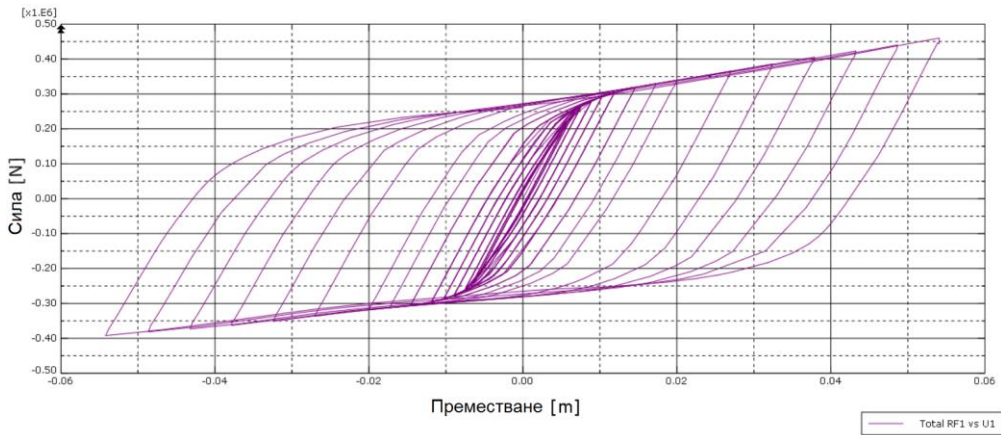
Фиг. 4. Дискретизиран модел на регион от стоманената рамка от вида EBF

Численото изследване беше проведено посредством софтуер по крайни елементи Abaqus [14]. Проведени бяха нелинейни квазистатични анализи [15]. На стоманената рамка бяха приложени принудени знакопроменливи циклични премествания, изчислени съгласно протокол за натоварване, предписан от [2], [13]. Приведените напрежения по von Mises за регион от изследваната стоманена рамка от типа EBF са дадени на фиг. 5. Както може да се види от фигурата, първият знак за развитие на напрежения, по-високи от 320 МПа, се наблюдава при 13-ти цикъл на натоварване.



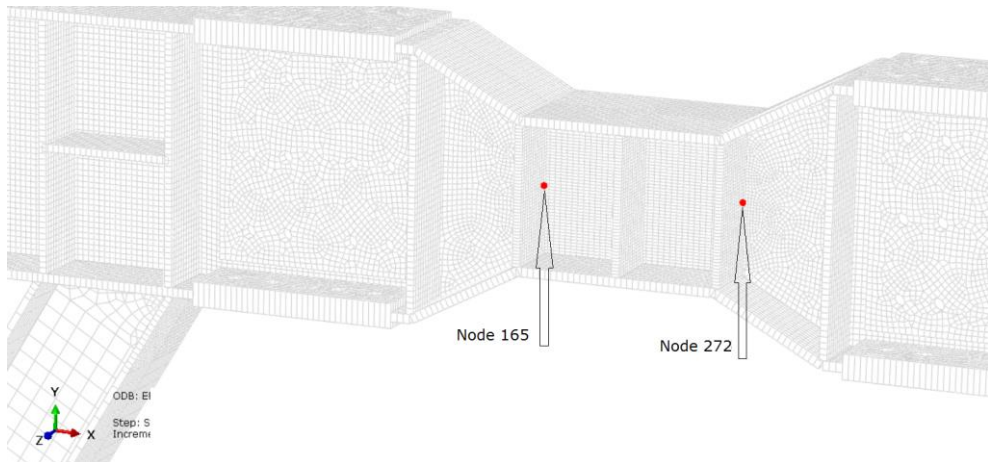
Фиг. 5. Приведени напрежения по von Mises (Pa) за 13-ти цикъл

На фиг. 6 са дадени хистерезисни примки на хоризонталните сили спрямо хоризонталните премествания на рамката. От вида на хистерезисните примки е видно, че поведението на рамката при циклично знакопроменливо въздействие е стабилно, с добра дисипативна способност на сеизмичния свързващ елемент.



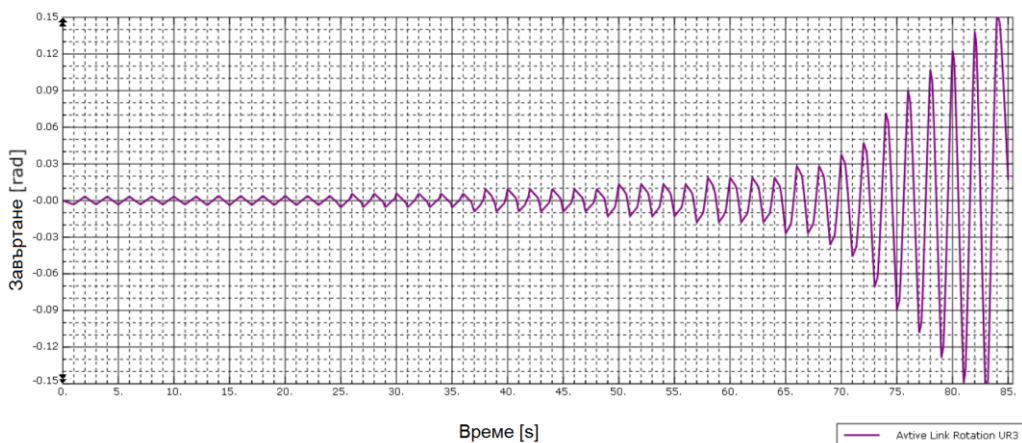
**Фиг. 6. Хистерезисни примки на хоризонталните сили спрямо хоризонталните премествания**

Завъртането на сеизмичния свързващ елемент е изчислено чрез преместванията на крайните възли в средата на височината му, вж. фиг. 7. Следователно завъртането ( $\nu_p$ ) на сеизмичния свързващ елемент е изчислено от триъгълника, формиран по време на цикличното, знакопроменливо натоварване  $\nu_p = \tan((v_{165}) - (v_{272}))/0,25$ , където  $v$  е вертикалната компонента на преместването на възела.



**Фиг. 7. Възли, използвани за изчисляването на завъртането на сеизмичния свързващ елемент, които са на разстояние 250 mm един от друг по направление X**

История на завъртането на сеизмичния свързващ елемент е показана на фиг. 8. Както може да се види, стойностите на завъртането на сеизмичния свързващ елемент при всеки отделен цикъл съвпада с предписаните такива в [2, 13]. От фиг. 8 е видно също така, че сеизмичният свързващ елемент постига и надвишава предписаното като минимално необходимо завъртане от 0,08 Rad, дадени в [9, 11, 12, 13]. Капацитетът на пластични ротации на заменяемия сеизмичен свързващ елемент достига  $\nu_p = 0,134$  Rad при 79-ти цикъл на натоварване.



Фиг. 8. История на завъртането на сеизмичния свързващ елемент

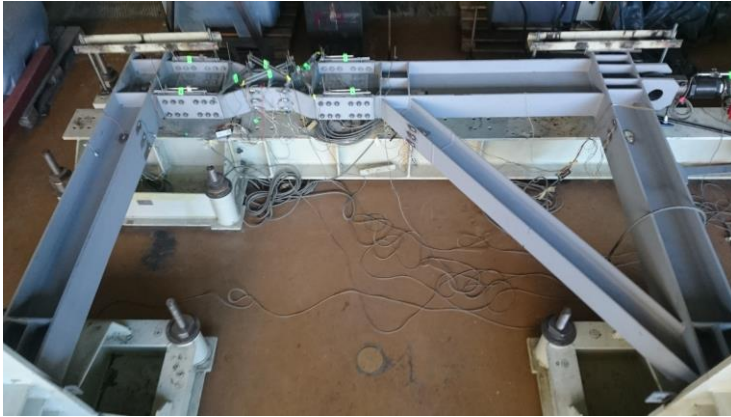
## 6. Експериментално изследване на опитните образци

Експерименталното изследване имаше за цел определяне на деформираното напрегнато състояние на рамки от системата EBF със заменяеми сеизмични свързващи елементи, което е предвидено като глава в дисертационния труд на първия автор на настоящия доклад. Опитните образци, които бяха изпитани, са стоманени заменяеми сеизмични свързващи елементи на рамка с нецентрично включени диагонали. За намаляване на крайната цена на проекта беше предвидено да се използва една Д-образна EBF-рамка, съставена от две колони, диагонал, гредя (ригел) и по един сеизмичен свързващ елемент за всеки отделен тест. Размерите на опитните образци и експериментални постановки бяха съобразени с условията на Учебната и научноизследователска лаборатория на УАСГ. Бяха проведени две отделни експериментални изпитвания – едно с монотонно натоварване и едно с циклично знакопроменливо натоварване.

**Основната цел на проекта беше да се докаже функционирането и ефективността на иновативната модификация на заменяеми сеизмични свързващи елементи в рамки от типа EBF.** Цел и задача на двата теста (при монотонно, както и циклично знакопроменливо натоварване) беше също така да се докажат резултатите от нелинейните числени изследвания. В тази връзка беше:

- изследвано глобалното поведение на рамката при монотонно и циклично натоварване;
- определено максималното етажно преместване, както и остатъчното след разтоварването ѝ;
- потвърдено, че само сеизмичният свързващ елемент претърпява пластични деформации, докато останалите конструктивни елементи (колони, диагонал и ригел) работят в еластичен стадий;
- получен набор от хистерезисни криви за сеизмичните свързващи елементи;
- определена наличната дуктиленост на линк-елемента при новото конструктивно решение;
- определена степента на увеличаване на усилията в недисипативните елементи, важна за капацитивното им оразмеряване.

На фиг. 9 е показана експерименталната постановка на рамка от типа EBF, конструирана със заменяем сеизмичен свързващ елемент.



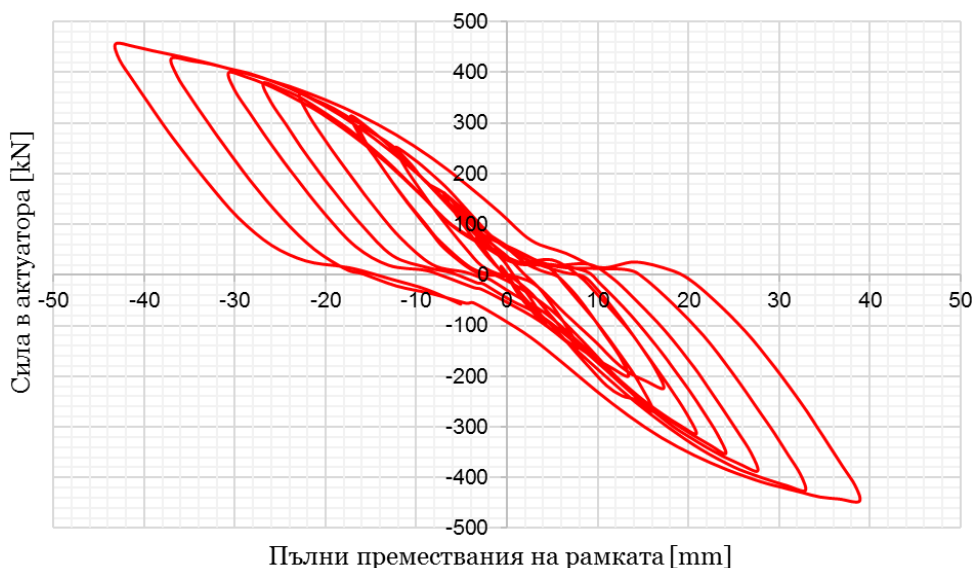
**Фиг. 9.** Експериментална постановка на EBF със заменяеми сеизмичен свързващ елемент

Беше проведено изпитване на стоманени пробни тела (вж. фиг. 10), с които бяха установени якостно-механичните характеристики на вложените стомани.



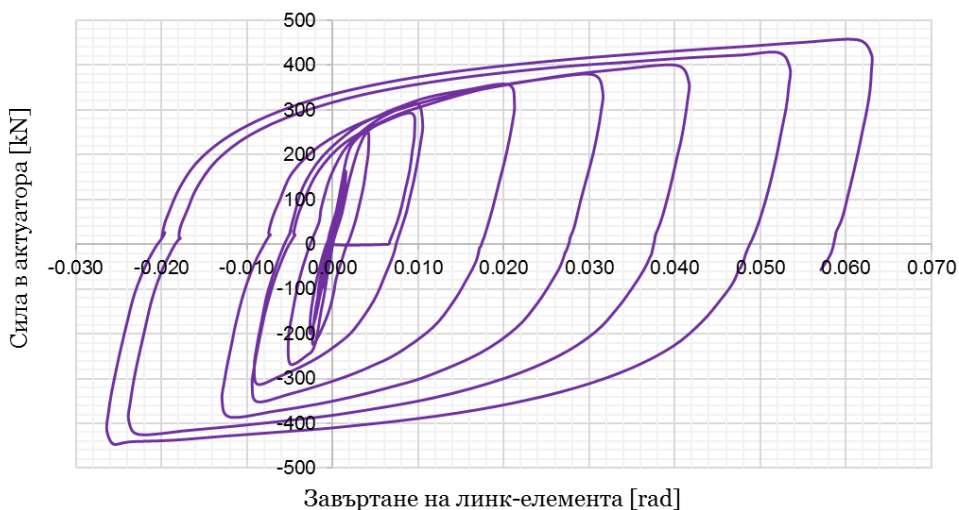
**Фиг. 10.** Пробни тела за установяване на якостно-механичните характеристики на вложените материали

На фиг. 11 са показани хистерезисните примки на зависимостите сила-преместване, които могат да се определят като „прищипани“.



**Фиг. 11. Хистерезисни примки: Натоварване – пълни премествания на рамката**

На фиг. 12 може да се види, че сеизмичният свързващ елемент претърпява завъртания от около 0,063 Rad и то само вследствие на завъртането на стеления му панел от срязващи сили. Анализът на резултатите показва, че завъртанята вследствие огъващите моменти са приблизително равни на тези от срязващите сили. Оттук може да се заключи, че пълният капацитет на завъртане на сеизмичния свързващ елемент е около и над 0,10 Rad. Тази стойност е по-голяма от предписаната в нормите [9, 11, 12, 13] за проектиране на рамки от типа EBF, а именно 0,08 Rad.



**Фиг. 12. Хистерезисни примки: Сила в актуатора спрямо завъртане на стеления панел на сеизмичния свързващ елемент в следствие на срязващите сили**

## 7. Основни изводи и препоръки

Въз основа на резултатите, получени в настоящото изследване, могат да бъдат формулирани следните по-важни изводи и препоръки:

- при новото конструктивно решение капацитетът на пластични ротации на заменяемия сеизмичен свързващ елемент достига до  $\nu_p = 0,134 \text{ Rad}$ , т.е. е по-висок от предписаните в нормите  $\nu_p = 0,08 \text{ Rad}$ ;
- коефициентът на уякчаване в следствие на пластифициране от срязване е 1,50, както е докладвано в [16] от първия автор на настоящия доклад;
- при капацитивно проектиране на болтовото съединение, същото има нужната носимоспособност за поемане на завишените усилия вследствие на пластифициране от срязване на сеизмичния свързващ елемент;
- при достигане на ротационен капацитет  $\nu_p = 0,0941 \text{ Rad} > \nu_p = 0,08 \text{ Rad}$ , докладван в [16] от първия автор на настоящия доклад, максималните хоризонтални премествания на рамката са  $\pm 36,34 \text{ mm}$ , т.е. 1%, от етажната височина, което удовлетворява критерия на [9] за ограничаване на повредите.

Предимствата на разработената иновативна модификация на заменяеми сеизмични свързващи елементи припокриват тези, докладвани в [17] и са както следва:

- Дава възможност на проектантите да оразмерят сеизмичния свързващ елемент с желаното напречно сечение, различни класове стомана, ако е необходимо.
- Дава възможност за независим контрол на коравината на рамката и необходимата носимоспособност, от което се получава по-ефективна (икономична) конструкция.
- Дава възможност за бърза инспекция и лесна подмяна на пластифициралите и повредени сеизмични свързващи елементи, след силно земетресение. Оттам намаляване на времето за връщане на сградата в експлоатация.
- Дава възможност на производителя да извърши всички заваръчни работи в завода, а монтирането на монтажните марки на строителната площадка е с използване на болтови съединения. По този начин се повишава качеството на изготвяне на конструкцията и намалява времето за строително-монтажни работи.

## 8. Заключение

Опитните образци бяха натоварени (и в двете експериментални изпитвания) до реализиране на деформации, предписани в [2, 13]. Предложената модификация на заменяем сеизмичен свързващ елемент показва стабилно хистерезисно поведение, от което е достатъчно да се заключи за надеждността на системата. Тези експериментални изследвания ще дадат увереност на други изследователи да насочат усилията си в изследване на същата или подобна система в по-мощни експериментални програми.

Продължаването на изследванията, свързани с поведението на рамки от системата EBF със заменяеми сеизмични свързващи елементи може да бъде свързано с изследването на сеизмични свързващи елементи, чиито пояси и стемло са от различен клас стомана, ребрата са с различна конфигурация и т.н.

Получените резултати биха могли да се използват при създаване на ръководства за проектиране на рамки от типа EBF със заменяеми сеизмични свързващи елементи.

## Благодарности

Авторите на настоящата статия изказват от името на целия научен колектив благодарност на ЦНИП при УАСГ за предоставеното финансиране по договор Д-92/2016 и добрата съвместна работа при изпълнението на проекта.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Popov, E. P.* Recent research on eccentrically braced frames. *Engineering Structures*. Vol. 5, p. 3-9, 1983.
2. *Richards, P. W. and Uang, C. M.* Testing protocol for short links in eccentrically braced frames. *Journal of Structural Engineering, ASCE*, Vol. 132, No. 8, p. 1183-119, 2006.
3. *Popov, E. P. and Engelhardt, M. D.* Seismic Eccentrically Braced Frames. *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 10, p. 321-354, 1988.
4. *Clifton, G. C.* Seismic Design of Eccentrically Braced Frames. HERA Publication 4001:2013, Manukau City, New Zealand, 2013.
5. *Clifton, G. C. and Gardiner, S.* Performance, Damage Assessment and Repair of a Multistorey Eccentrically Braced Framed Building Following the Christchurch Earthquake Series. *Steel Innovations 2013*. SCNZ. Christchurch, New Zealand, Steel Construction New Zealand, 2013.
6. *Clifton, G. C., Bruneau, M., MacRae, Gr., Leon, R. and Fussell, A.* Steel Building Damage from the Christchurch Earthquake Series of 2010/2011 SESOC, 2011.
7. *Clifton, G. C., Cowie, K. and Fussell, A. J.* Eccentrically Braced Frames with Removable Links – Design Methodology. *Steel Advisor EQK1006*, Steel Construction New Zealand, Manukau City, 2012.
8. БДС EN 1993-1-1 ЕВРОКОД 3. Проектиране на стоманени конструкции. Част 1-1: Общи правила и правила за сгради и правила за сгради.
9. БДС EN 1998-1 ЕВРОКОД 8. Проектиране на конструкциите за сеизмични въздействия. Част 1: Общи правила, сеизмични въздействия и правила за сгради.
10. NZS 1170.5:2004. Loading Standard, Volume 1 Code of Practice; Standards New Zealand, Wellington, New Zealand.
11. NZS 3404: Part 1:1997. Steel Structures Standard; Standards New Zealand, Wellington, New Zealand.
12. NZS 3404: Part 2:1997. Commentary to the Steel Structures Standard; Standards New Zealand, Wellington, New Zealand.

13. AISC. Seismic Provisions for Structural Steel Buildings. ANSI/AISC 341-05, American Institute of Steel Construction, Inc., Chicago, IL, USA, 2010.
14. Abaqus. User's Manual Version 6.14, Hibbitt, Karlsson and Storensen, Inc., Providence, Rhode Island, USA, 2013.
15. Mago, N. M. Finite Element Analysis of Eccentrically Braced Frames with Removable Link HERA Report R4-145, Heavy Engineering Research Association, Manukau City, 2013.
16. Ashikov, A., Clifton, G. C., Belev, B. Finite element analysis of eccentrically braced frames with a new type of bolted replaceable active link. NZSEE Conference 2016, Christchurch, New Zealand, 2016.
17. Mansour, N. Development of the Design of Eccentrically Braced Frames with Replaceable Shear Links. PhD Thesis, Department of Civil Engineering, University of Toronto, 2010.

## **EXPERIMENTAL STUDY ON ECCENTRICALLY BRACED FRAMES WITH A NEW TYPE OF BOLTED REPLACEABLE ACTIVE LINK**

**A. Ashikov<sup>1</sup>, Hr. Stefanov<sup>2</sup>, B. Belev<sup>3</sup>**

*Keywords:* earthquake engineering, ductile behaviour, steel structures, experimental testing

### **ABSTRACT**

A steel eccentrically braced frame (EBF) is a structural system for providing seismic resistance of buildings. It employs the structural fuse concept in a ductile building design (i.e. it is designed to undergo controlled damage in a severe earthquake). The conventional EBFs are expected to sustain significant damage during a design level earthquake through repeated inelastic deformations of their active links. A repair of these braced frames designed and built to conventional procedures is costly and time-consuming, thus impacting the economy of the post-earthquake recovery. This paper presents a development of EBFs with innovative seismic link detailing. It employs the replaceable active link concept by the bolted flange and web splicing concept to connect the active link to the collector beam or column. Two full-scale tests of a single storey EBF structure were carried out. The first specimen was monotonically loaded while the second one was subjected to a cyclic loading. The aim of these tests was to prove the concept of the innovative seismic link detailing. The links exhibited a very good ductile behaviour, developing stable hysteretic loops, and most significantly, easy on-site replacement of the damaged active link was demonstrated.

---

<sup>1</sup> Angel Ashikov, Eng. PhD student, Dept. "Steel, Timber and Plastic Structures", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: angel.ashikov@gmail.com

<sup>2</sup> Hristo Stefanov, Student, Dept. "Steel, Timber and Plastic Structures", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: ia.stefanov@abv.bg

<sup>3</sup> Borislav Belev, Prof. Dr. Eng., Dept. "Steel, Timber and Plastic Structures", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: belev\_fce@uacg.bg