

Получена: 15.09.2017 г.

Приета: 30.11.2017 г.

ИЗСЛЕДВАНЕ НА РАМКОВ ВЪЗЕЛ НА АЛУМИНИЕВА ПОРТАЛНА РАМКА СЪС СТОМАНЕНА ВЛОЖКА

И. Хаджиянева¹, Ч. Пенелов², Б. Белев³

Ключови думи: алуминиеви конструкции, рамкови възли, стоманени вложки, нелинеен анализ

РЕЗЮМЕ

Изследвано е поведението на алуминиева портална рамка, усилена със стоманени вложки в зоните на възлите. Проучено е влиянието на конфигурацията на рамковия възел върху коравината на рамката, нейната носимоспособност и разпределението на разрезните усилия при използване на различни подходи за отчитане на взаимодействието между алуминиевите елементи и стоманените вложки в числения модел. Въз основа на проведените нелинейни анализи са направени изводи относно работата на представените вариантни решения.

1. Въведение

Алуминиевите конструкции се прилагат в строителството основно за изпълнение на фасадни конструкции и леки конструкции на преместваеми обекти като шатри, халета и навеси. Проектантите на алуминиеви конструкции се сблъскват с проблеми като по-голямата деформативност на алуминиевите конструкции спрямо стоманените, (вследствие на по-ниския модул на линейни деформации), многообразието от алуминиеви сплави, и не на последно място, неблагоприятното влияние на термичната обработка (в това число и на заваряването) върху якостните характеристики на алуминиевите сплави.

¹ Ирена Хаджиянева, гл. ас. д-р инж., кат. „Метални, дървени и пластмасови конструкции“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: irena.hadzhianyaneva@gmail.com

² Чавдар Пенелов, гл. ас. д-р инж., кат. „Метални, дървени и пластмасови конструкции“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: penelov_fce@uacg.bg

³ 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

За преодоляването на тези проблеми се прилагат съответно мерки като: избор на подходяща конструктивна система, съчетан с евентуално усилване на алуминиевите профили; избор на сплав с подходящи характеристики, както и използване на болтови съединения вместо заварени. За едноотворни складове и шатри обичайно се използват пълностенни рамки от кутиени алуминиеви профили със ставна връзка на колоните към фундаментите. Въпреки широкия спектър от напречни сечения и фирмени системи, конструктивните решения, които се прилагат при рамките от този тип, са ограничени. Едно от тях е усилването на рамковите възли с алуминиеви или стоманени вложки. Вложката представлява кутиен профил с напречно сечение, подобно на сечението на основния алуминиев елемент, но с подходящи размери за позиционирането ѝ в обрамчващия кутиен профил. Обрамчващият профил и вложката работят съвместно благодарение на плътния контакт и съединенията между тях. На базата на литературно проучване бе установено, че информацията за този тип решения е недостатъчна и не дава представа за сложното взаимодействие между елементите. В рамките на настоящото изследване е разгледано воденето на корав рамков възел със стоманена вложка, в който тя е свързана с алуминиеви части посредством болтови съединения. Отчетено е влиянието на конструирането на възела и моделирането му върху коравината на рамката като цяло и върху разпределението на разрезните усилия. За целта конструкцията е оразмерена съгласно системата Конструктивни Еврокодове и националните приложения към тях.

2. Описание на конструкцията

Разгледана е представителна сграда – едноотворно едноетажно хале с двускатен покрив, размери в план 15×30 m и с височина на стените 5 m. Стенното ограждане и покривното покритие се изграждат от мембрана от ненапрегнато PVC фолио, прикрепена към покривни столици и стенни водачи. Халето е преместваем обект с проектен експлоатационен срок 25 г. Подходяща носеща конструкция за този тип сгради в напречно направление е едноотворната портална рамка с отвор 15 m и височина на колоните 5 m, приложена през прието композиционно междуосие. Пространственото укрепяване на рамките се осъществява чрез вертикални и хоризонтални връзки, развити съответно между колоните и покривните ригели. Тъй като става въпрос за типово преместваемо съоръжение, са приети натоварвания, които да покриват в достатъчна степен територията на страната. Натоварванията от собствено тегло, полезен товар, сняг и вятър са определени, съгласно изискванията на съответните части на Еврокод 1991, а характеристиките на сеизмичните въздействия – съгласно [1]. В допълнение са спазени изискванията на [2], при които се дава възможност за сгради с височина до 10 m натоварването от вятър да се определя по опростена процедура.

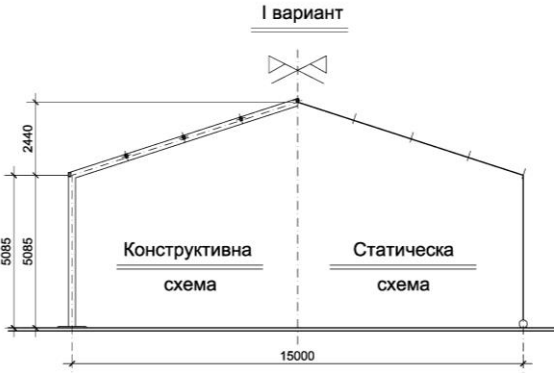
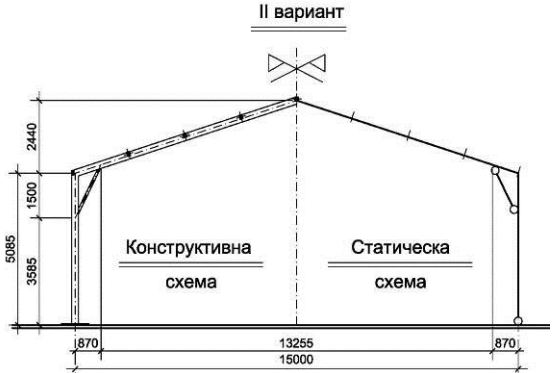
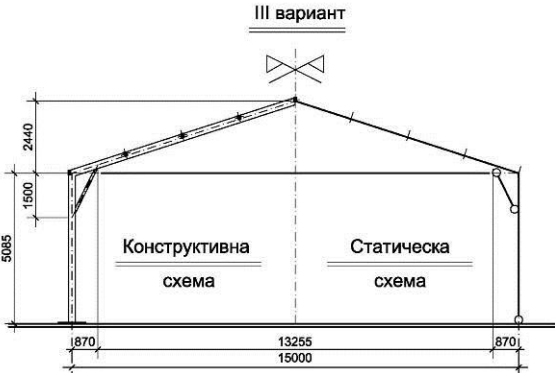
Оразмеряването е направено въз основа на [3], [4], [5]. Приети са алуминиеви профили със затворени правоъгълни напречни сечения, и подходящ контур за хващане на PVC фолиото.

3. Варианти и особености на приетата рамкова конструкция

Алуминиевите конструкции са по-скъпи от стоманените, но се предпочитат, когато са водещи фактори като естетиката, високата корозионна устойчивост и малкото собствено тегло. Значително по-ниският им модул на еластични деформации ($E = 70\,000\text{ MPa}$) спрямо стоманените ($E = 210\,000\text{ MPa}$) извежда на преден план проблема с високата

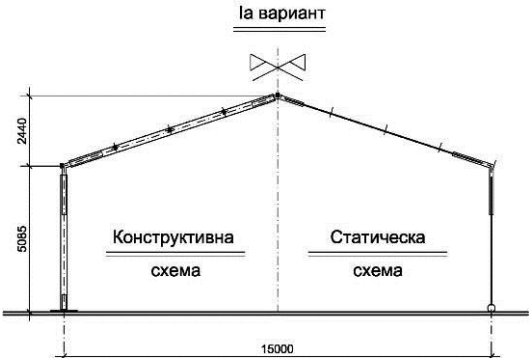
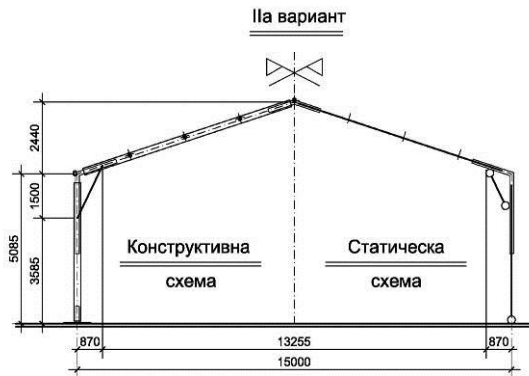
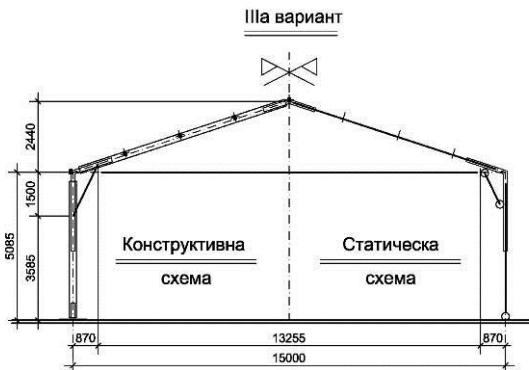
деформативност на алуминиевите строителни конструкции и съответно мерките за редуцирането ѝ, при използване на икономични напречни сечения. В тази връзка развитието на конструктивната идея е показано в табл. 1 и табл. 2.

Таблица 1. Варианти на портални рамки, изпълнени от алуминиеви профили

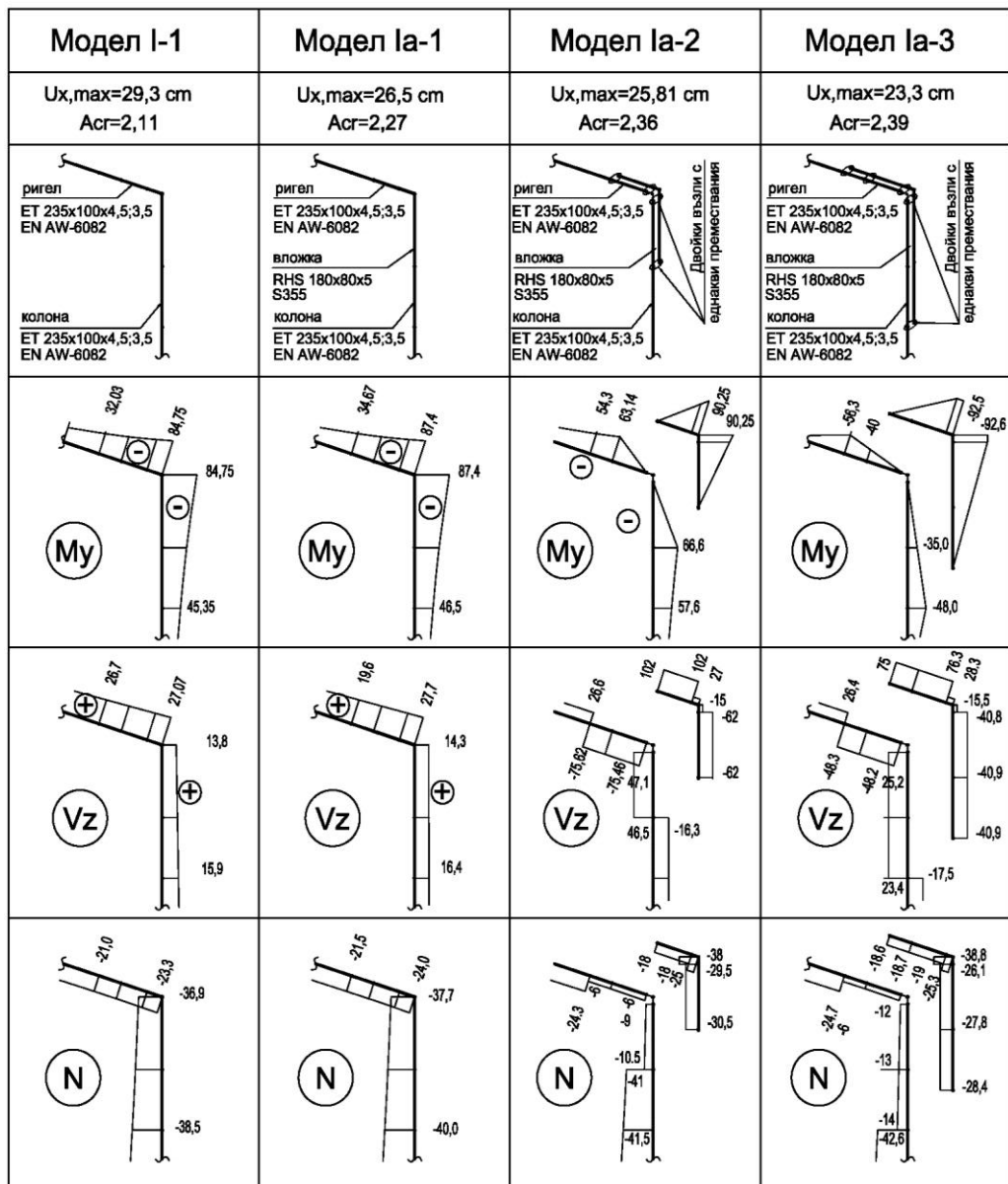
Варианти на конструктивни и статически схеми на изследваната портална рамка с директна връзка между ригелите и колоните	Предимства	Недостатъци
<p style="text-align: center;"><u>I вариант</u></p> 	<p>„Чиста“ рамкова конструкция без допълнителни елементи.</p>	<p>Осигуряването на коравина за хоризонтални и вертикални въздействия води до увеличаване на напречните сечения. „Тежки“ съединения в рамковите възли.</p>
<p style="text-align: center;"><u>II вариант</u></p> 	<p>Завишена спрямо I вариант коравина за хоризонтални въздействия. Намаляване на огъващите моменти в зоната на рамковите възли.</p>	<p>Увеличаване на напречните сечения за осигуряване на коравина за вертикални въздействия.</p>
<p style="text-align: center;"><u>III вариант</u></p> 	<p>Редукция на напречните сечения спрямо I и II вариант, поради повишаване на коравината на конструкцията за хоризонтални и вертикални въздействия. Вж. фиг. 3.</p>	<p>Усложняване на конструкцията поради въвеждането на допълнителни елементи като хоризонтален обтегач и подкоси.</p>

Разгледани се основно две концепции за реализиране на вариантите от табл. 1: само с алуминиеви профили и директна връзка между ригелите и колоните, и хибридни рамки, при които връзката между алуминиевите елементи във възлите се осъществява чрез заварени стоманени вложки (табл. 2).

Таблица 2. Варианти на портални рамки, изпълнени от алуминиеви профили и стоманени вложки

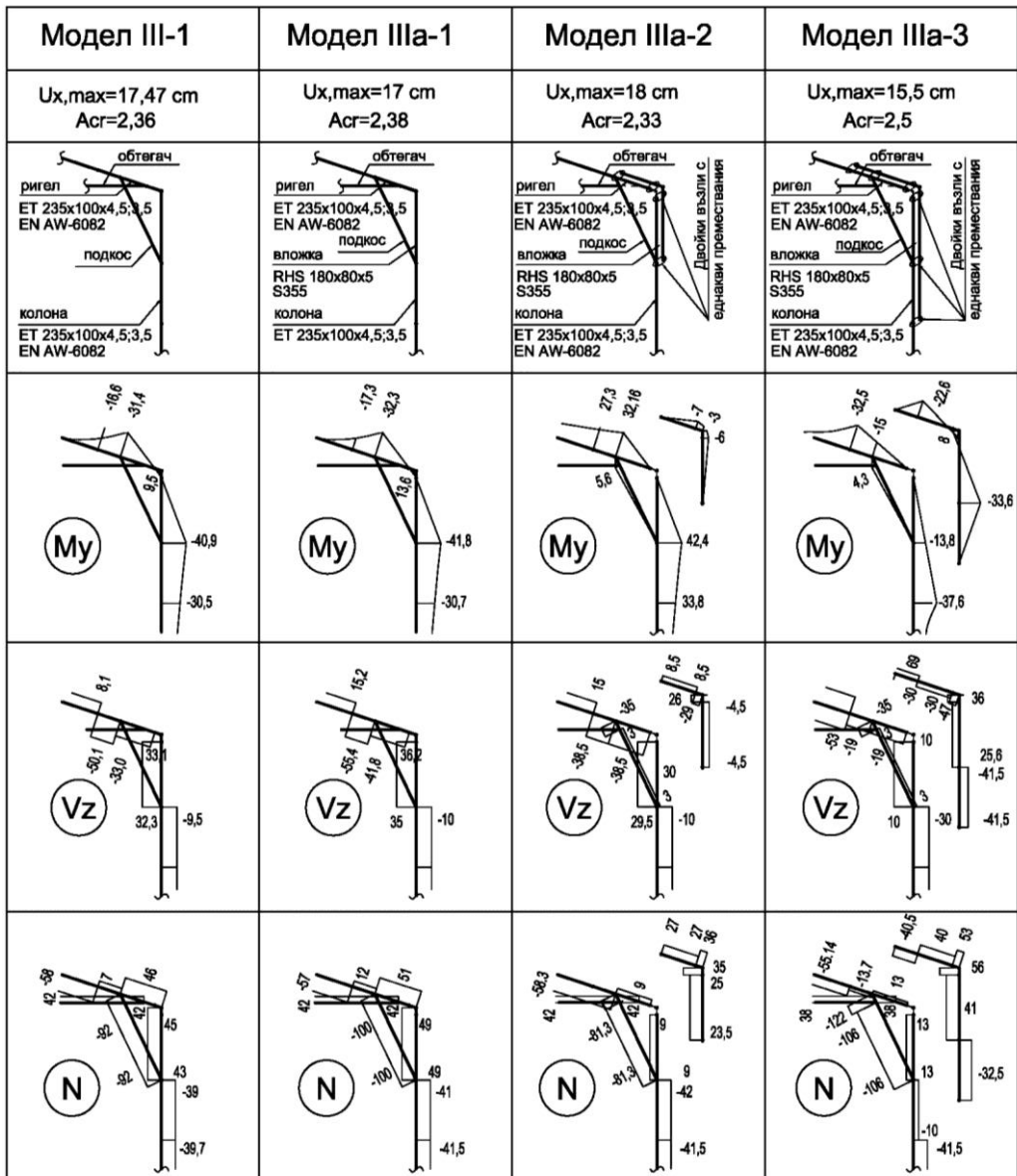
Варианти на конструктивни и статически схеми на изследваната портална рамка	Предимства	Недостатъци
<p style="text-align: center;"><u>Ia вариант</u></p> 	<p>Редукция на напречните сечения поради завишената носимоспособност в зоните с най-големи усилия. Възможна е вариация в сечението на вложките.</p>	<p>Важат, но в по-малка степен и описаните в табл. 2. Допълнителни съединения в зони с големи усилия. Необходимо е подходящо конструиране на съединенията.</p>
<p style="text-align: center;"><u>IIa вариант</u></p> 	<p>Към предимствата на Вариант Ia се добавя и фактът, че опирането на подкоса става в зоната на вложката, където коравината е по-голяма.</p>	<p>Като Вариант Ia.</p>
<p style="text-align: center;"><u>IIIa вариант</u></p> 	<p>Като Вариант IIa, като и включването на обтегача се осъществява в зоната на вложката, където коравината и носимоспособността е по-голяма.</p>	<p>Като Вариант Ia.</p>

Проведени са статични линейни и нелинейни анализи с включена геометрична нелинейност при изчислителна предпоставка за „малки премествания“. Началните несъвършенства са приети пропорционални на първата форма на загуба на устойчивост, с отклонение на колоните от вертикалата, равно на 1/150 от височината им. Тази стойност е приета поради занижения контрол при монтажа и експлоатацията на тези съоръжения и голямата им деформативност.



Фиг. 2. Сравнение на резултатите от различни числени модели на равнинна рамка с корави рамкови възли – за възела, означен като Детайл „А“ на фиг. 1

Направено е сравнение на резултатите от различните модели по отношение на големината и разпределението на разрезните усилия в зоната на рамковия възел, за основна комбинация от натоварвания, включваща постоянни (G) и променливи натоварвания (S – равномерно разпределено натоварване от сняг и W – вятър, действащ в равнината на рамката). Сравнени са стойностите на критичния параметър и хоризонталните премествания във върха на лявата колона за характеристична комбинация, включваща същите товари.



Фиг. 3. Сравнение на резултатите от числени модели на равнинна рамка с корави рамкови възли, подкос и обтегач – съответства на разположението на Детайл „А” от фиг. 1

5. Изводи

Въз основа на получените резултати и тяхната съпоставка могат да бъдат направени следните изводи:

- Очаквано, „чистите“ двуставни рамки с корави възли показват значително по-голяма деформативност спрямо тези, окомплектовани с подкоси, (при еднакви напречни сечения на ригела и колоните), което в конкретния случай ги прави неприложими за изпълнение на реална строителна конструкция.
- Дискретното моделиране на вложката и обрамчващите профили, с отчитане на местоположението на съединителните средства, позволява да се проучи взаимодействието между тези елементи, оразмерителните усилия в тях, и в съединенията им.
- Възлите със стоманена вложка дават възможност за разсредоточаване на съединителните средства и за „опростяване“ на болтовите съединения.
- При рамките с корави възли увеличаването на дължината на вложката води до закоравяване на рамката и намаляване на оразмерителните усилия в алуминиевите профили, но не променя кардинално разпределението на усилията в зоната на рамковия възел.
- При рамки с корави възли и подкоси, вложката е ефективна само когато е достатъчно дълга, така че усилията в подкоса да се разпределят и поемат съвместно от обрамчващия алуминиев профил и вложката.
- С дължината на вложката може да се контролира големината на оразмерителните усилия в обрамчващия профил и съответно да се редуцира теглото на алуминиевата рамка.
- Числените модели с прътови крайни елементи не могат да представят реалното взаимодействие между алуминиев и стоманен елемент в зоната на болтовото съединение, което се влияе и от различните характеристики на двата материала. Това взаимодействие рефлектира както върху начина на работа на рамковия възел, така и върху разпределението на усилията в него.

6. Заключение

Усилването на възли със стоманени вложки и подкоси води до икономия на материал при проектиране на алуминиеви рамкови конструкции от кутиени профили. Предвид благоприятното разпределение на усилията в зоната на възела такъв подход би бил подходящ и при проектиране на стоманени портални рамки. За получаване на пълна картина на взаимодействието между обрамчващите алуминиеви профили и вложката в зоната на възела, е необходимо по-точно моделиране с равнинни крайни елементи и с отчитане на физическата нелинейност на материала.

ЛИТЕРАТУРА

1. БДС EN 1998 Еврокод 8. Проектиране на конструкциите за сеизмични въздействия Част 1 Основни правила, сеизмични въздействия и правила за сгради, 2012.
2. EN 13782 Temporary structures – Tents – Safety, 2015.
3. БДС EN 1999 Еврокод 9. Проектиране на алуминиеви конструкции Част 1-1 Основни конструктивни правила, 2010.
4. БДС EN 1993 Еврокод 3. Проектиране на стоманени конструкции Част 1-1 Общи положения и правила за сгради, 2007.
5. БДС EN 1993 Еврокод 3. Проектиране на стоманени конструкции Част 1-8 Проектиране на възли, 2007.
6. BDS EN 1090. Изпълнение на стоманени конструкции и конструкции от алуминиеви сплави. Част 3: Технически изисквания за конструкции от алуминиеви сплави, 2008.

A STUDY ON HYBRID MOMENT-RESISTING JOINTS IN ALUMINIUM PORTAL FRAMES WITH STEEL KNEE INSERTS

I. Hadzhiyaneva¹, Ch. Penelov², B. Belev³

Keywords: aluminium structures, frame joints, steel inserts, nonlinear analysis

ABSTRACT

The paper presents a study on the structural behavior of single-storey aluminium portal frames with moment-resisting eaves joints. In order to avoid direct welding of aluminium parts and simplify the erection of the frames, welded knee-shaped steel inserts which provide the required joint continuity have been used.

The influence of joint configuration on the frame stiffness, load-bearing capacity and distribution of internal forces is studied. Several approaches for modelling the interaction between the primary aluminium members and steel inserts have been applied. Based on the results of static nonlinear analyses, conclusions on the performance of the presented joint configuration options are drawn.

¹ Irena Hadzhiyaneva, Chief Assist. Prof. Dr. Eng., Dept. “Steel, Timber and Plastic Structures”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: irena.hadzhiyaneva@gmail.com

² Chavdar Penelov, Chief Assist. Prof. Dr. Eng., Dept. “Steel, Timber and Plastic Structures”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: penelov_fce@uacg.bg

³ Borislav Belev, Prof. Dr. Eng., Dept. “Steel, Timber and Plastic Structures”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: belev_fce@uacg.bg