



Получена: 18.03.2018 г.

Приета: 23.10.2018 г.

ЧИСЛЕНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПОВЕДЕНИЕТО НА СЪЕДИНЕНИЯ ДЪРВЕСИНА – ЕПОКСИДНА СМОЛА – СТОМАНЕНИ ПЛОЧИ ПРИ ДЕЙСТВИЕ НА ОСОВИ СИЛИ

Т. Георгиев¹, В. Танев²

Ключови думи: подови системи, нелинейни решения по МКЕ

РЕЗЮМЕ

В световната строителна практика все повече се увеличава дялът на дървените конструкции. Дървесината намира приложение във всички видове конструкции, като спортни зали, мостове, обществени сгради, еднофамилни къщи и др. При строителството на дървени подове се е наложила практика, която се е доказала с времето. Състои се от гредоскара, съставена от главни греди в едната посока и второстепенни в другата. Тази конструкция предава натоварването, само в едно направление, подобно на еднопосочно армираните плочи. Не съществува система на базата на дървесина, с изключение на черупките, която може да предава натоварването в две посоки, подобно на кръстосано армираните плочи. В настоящата статия са разгледани числени модели на съединения дървесина – стоманени плочи, подложени на осови сили. Основен компонент в описаните съединения е лепилото (епоксидна смола), което е моделирано с нелинейни пружинни константи. Представени са и основни резултати от моделите.

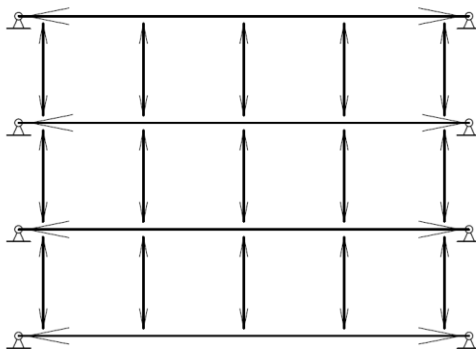
1. Въведение

При строителството на дървени подове се е наложила практика, която се е доказала с времето. Състои се от гредоскара, съставена от главни греди в едната посока, пре-

¹ Тихомир Георгиев, докторант, кат. „Метални, дървени и пластмасови конструкции”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: tihomir.angelov.georgiev@gmail.com

² Вьтю Танев, доц. д-р инж., кат. „Метални, дървени и пластмасови конструкции”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: Tanev_fce@uacg.bg

сечени от второстепенни в другата. Подовото покритие предава усилието на второстепенните греди, които от своя страна натоварват главните, а те – вертикалната конструкция. На практика товарите се поемат и предават в едната посока, подобно на еднопосочно армираните плочи.

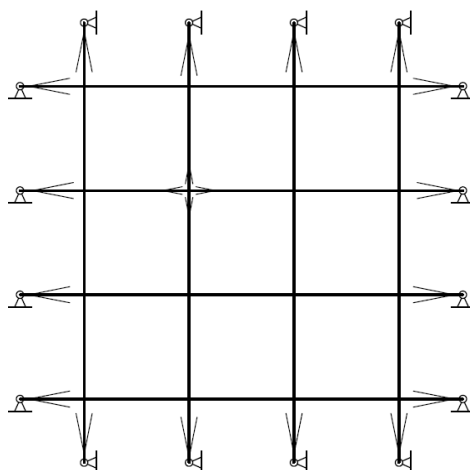


Фиг. 1. Гредова система с главни и второстепенни греди

Има обаче случаи, при които тази практика е прекалено трудоемка и неикономична, заради нестандартни приложения или прекалено големи отвори, които трябва да се покрият. В тези случаи се предпочита използване на метални или стоманобетонни конструкции. Въпреки това не съществува система на базата на дървесина, с изключение на черупките, която може да предава натоварването в две посоки, подобно на кръстосано армираните плочи.

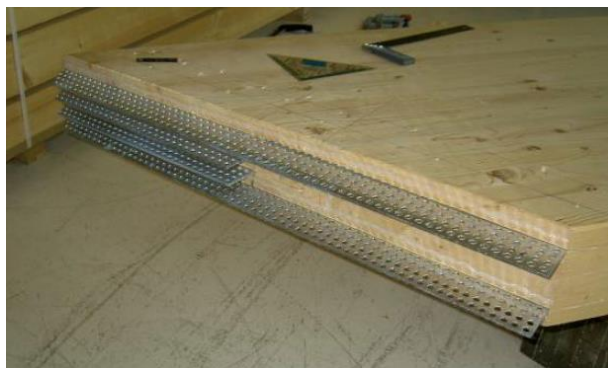
Научната разработка има за цел да реши проблема с недостатъците на класическите системи, като предложи иновативен подход при свързване на греди на едно ниво.

Основната цел е да се разработи изцяло нова и иновативна подова конструкция на базата на дървесина. Тя би могла да поеме и разпредели натоварването в две посоки, равномерно върху вертикалната конструкция, чрез гредова система, състояща се от кръстосани главни греди. Може да даде свобода при конструирането и вече плочите от дървесина да се разглеждат като композитна плоскост, а не като съставен гредоред.



Фиг. 2. Гредова система с кръстосани греди

Пресичането на две главни греди може да се постигне чрез използването на перфорирани стоманени плочи, които съединяват гредите, чрез предварително прорязани отвори, в които се поставя плочата и се пълни с лепило. Има вече изградена подобна технология, която обаче се използва за изграждането на рамкови възли.



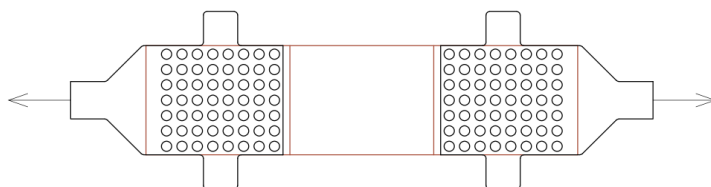
Фиг. 3. Съединение, съставено от перфорирани плочи и дървени греди

Първата задача е да се разгледа един възел, който да бъде натоварен самостоятелно. С това изследване, ще установим, как работят перфорираните плочи, съвместно с дървесината. Ще разберем, кое е най-подходящото лепило за това съединение, ще моделираме стоманената перфорирана плоча, по оптимален начин, за максимална носимоспособност на съединението. Ще бъде проведено изследване на експериментални модели, натоварени на центричен опън и центричен натиск.

2. Конструктивен модел на образците

2.1. Образец за опън

Експерименталният образец за опън се състои от дървена греда с размери 160/60 mm и клас С24. От двете си страни има изрязан шлиц с ширина 16 mm. Перфорираните стоманени плочи са с дебелина 10 mm, като останалото място от 6 mm се запълва с лепило, от всяка страна на плочата по 3 mm. Преди да се направи съединението, се залепват тензометрични датчици, които остават в лепилния слой. Изработен е специален стенд, с помощта на който плочите се поставят на точното място спрямо гредата, след което в пролуката се залива внимателно с лепило. След като образецът е набрал якост, се преминава към същинския експеримент. Ще разгледаме няколко серии, включващи различно лепило и различна геометрия на плочите.



Фиг. 4. Образец, натоварен на опън

Проведени са изчисления, за да се установи проектната носимоспособност на това съединение и да се открие най-вероятната форма на разрушение.

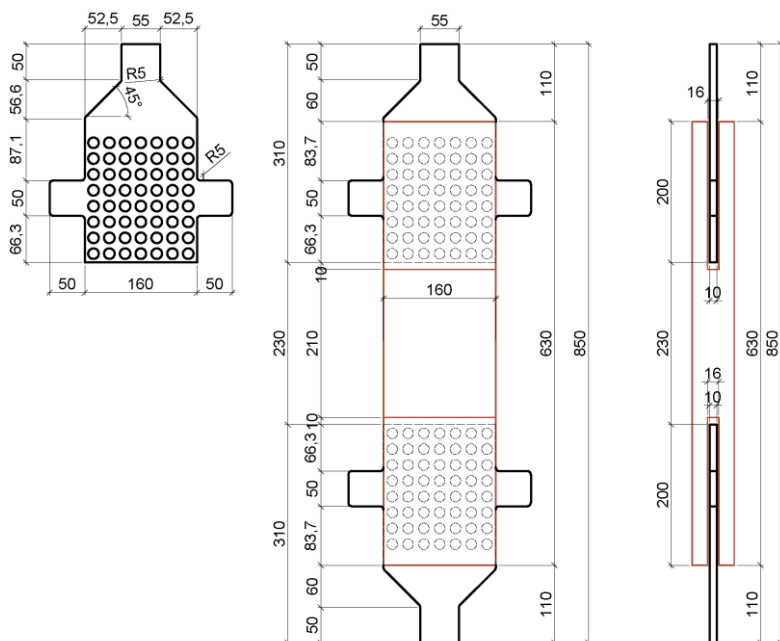
Таблица 1. Проектна носимоспособност на образец за опън

Образец за опън		
Дървена греда		
Височина $h=$	160	mm
Ширина $b=$	60	mm
Клас дървесина $f_{m,k}=$	24	N/mm ²
$f_{v,k}=$	2.5	N/mm ²
Носимоспособност на опън $N=$	103385	N
Стоманена плоча		
Ширина на котвата при опън	55	mm
Дебелина на плочата при опън	10	mm
Площ на напречното сечение на котвата	550	mm ²
Носимоспособност на опън $N=$	112391	N
Срязване на лепилото в отворите		
Натоварване на лепилото $F_{v,m}=$	2109.89	N
Носимоспособност на лепилото $F_{v,Rd}=$	3534.29	N
Срязване между лепилото и дървото		
Натоварване съединението $F_{v,t}=$	51692.3	N
Носимоспособност на лепилото $F_{v,Rd}=$	327935	N
Носимоспособност на дървото $F_{v,Rd}=$	31532.2	N

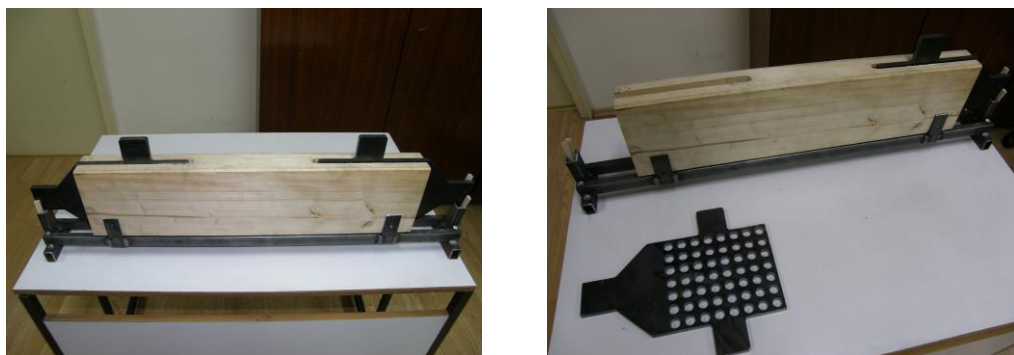
Оттук става ясно, че при натоварване на опън можем да си направим следните изводи:

- няма да се разруши дървената греда;
- няма да се разруши металната плоча;
- няма да се разруши лепилното съединение между планката и лепилото;
- очакваме да се разруши дървесината, максимално близо до лепилото.

Геометрията на експерименталния образец е съобразена с една от пресите, в лабораторията на УАСГ, която натоварва на опън. Плочата е моделирана спрямо челюстите на пресата, затова има такова стеснение в единия край. Освен това са предвидени уширения на плочите, за които ще закрепим датчици, измерващи взаимното разместване между стоманените плочи и дървената греда.



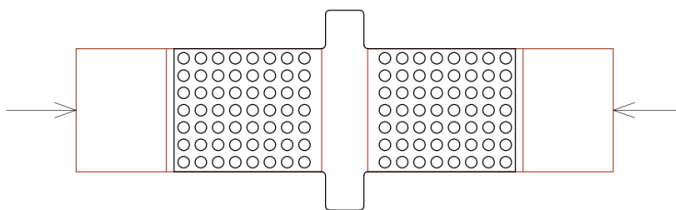
Фиг. 5. Изпитни образци за огън



Фиг. 6. Реализирани експериментални образци за огън

2.1. Образец за натиск

Експерименталният образец за натиск се състои от две дървени греди с размер 160 mm/100 mm, и клас С24. Всяка има изрязани по два шлица от едната страна с ширина 10 mm. Перфорираните стоманени плочи са с дебелина 4 mm, като останалото място от 6 mm се запълва с лепило, от всяка страна на плочата по 3 mm. Преди да се направи съединението, се залепват тензометрични датчици, които остават в лепилния слой. Изработен е специален стенд, с помощта на който плочите се поставят на точното място спрямо гредата, след което пролуката се залива внимателно с лепило. След като образецът е набрал якост, се преминава към същинския експеримент. Отново ще разгледаме няколко серии, включващи различно лепило и различна геометрия на плочите.



Фиг. 7. Образец, натоварен на натиск

Подобно на образца за опън, тук отново сме определили проектната носимоспособност на съединението.

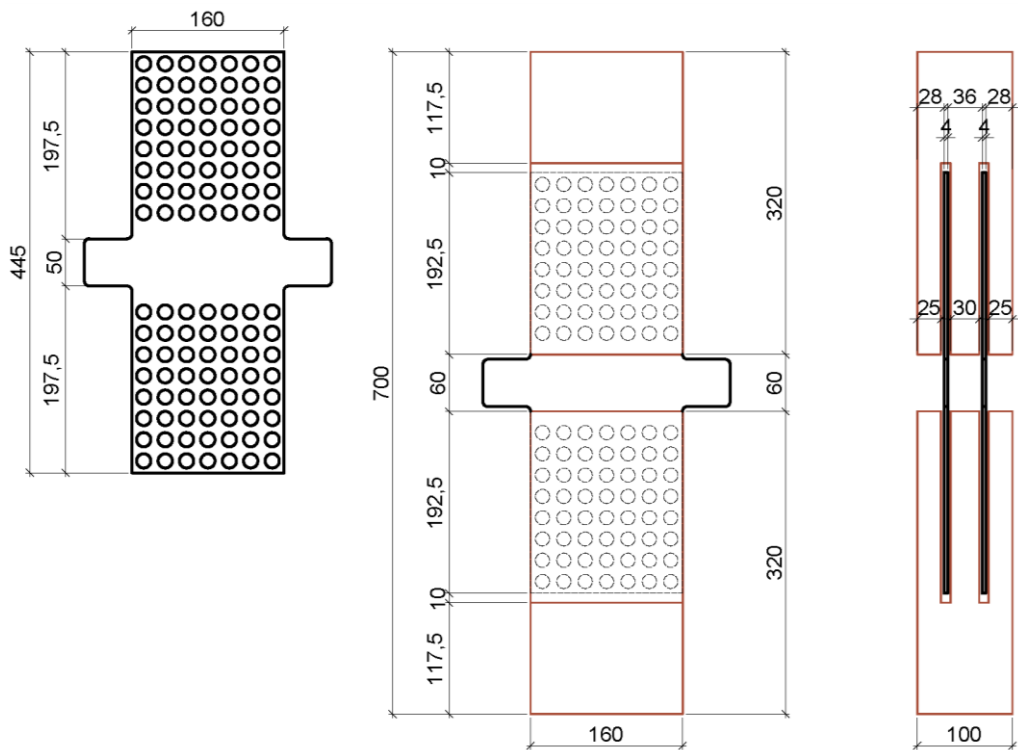
Таблица 2. Проектна носимоспособност на образец за натиск

Образец за Натиск		
Дървена греда		
Височина h =	160	mm
Ширина b =	100	mm
Клас дървесина $f_{m,k}$ =	24	N/mm ²
$f_{c,o,k}$ =	21	N/mm ²
Носимоспособност на натиск N =	258462	N
Стоманена плоча		
Височина h =	160	mm
Дебелина b =	4	mm
Брой плочи n =	2	бр
Площ на напречното сечение	1280	mm ²
Носимоспособност на натиск N =	286476	N
Срязване на лепилото в отворите		
Натоварване $F_{v,c}$ =	3164.84	N
Носимоспособност $F_{v,Rd}$ =	3534.29	N
Срязване между лепилото и дървото		
Натоварване съединението $F_{v,c}$ =	38769.2	N
Носимоспособност на лепилото $F_{v,Rd}$ =	327935	N
Носимоспособност на дървото $F_{v,Rd}$ =	31532.2	N

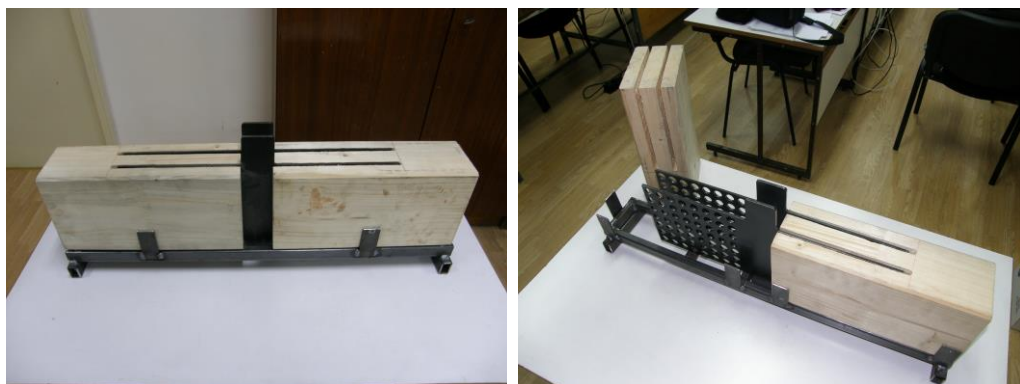
Оттук става ясно, че при натоварване на натиск следва:

- няма да се разруши дървената греда;
- няма да се разруши металната планка;
- няма да се разруши лепилното съединение между планката и лепилото;
- очакваме да се разруши дървото, максимално близо до лепилото.

Тук перфорираната плоча съединява две греди, като натоварването е приложено върху гредите. Има уширение от двете страни, необходимо за закрепване на датчици, измерващи взаимното разместване.



Фиг. 8. Изпитни образци за натиск



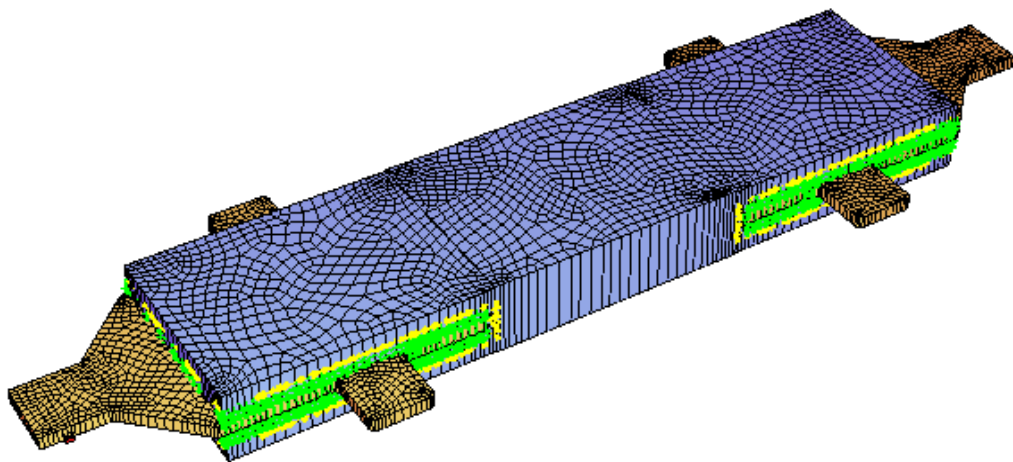
Фиг. 9. Реализирани експериментални образци за натиск

3. Изчислителни модели

За да се стигне до експерименталното изследване, се изгражда изчислителен модел, на базата на който разбираме поведението на образеца, при натоварване. Използван е софтуер SOFISTIK.

3.1. Опън

Дървената греда, както и стоманените плочи, са изградени чрез равнинни елементи. Плочите са моделирани с отвори, както е и в действителност. Лепилното съединение между дървената греда и стоманените плочи е моделирано чрез плоски пружинни константи, действащи надлъжно и напречно, спрямо натоварването. Това е и очакваното поведение на лепилния слой.



Фиг. 10. Изометрия на изчислителния модел за опън

Таблица 4. Характеристики на стоманената плоча

EuroNorm EN 1995-1-1:2004 Timber Structures

Number: Title:

Type: Classification: Max thickness:

Properties Strength Bedding

General properties

Self weight: γ

Density: ρ

Temperature coeff.: α

Elastic modulus: E

Poisson ratio: μ

Shear modulus: G

Compression modulus: K

Advanced >>

Таблица 5. Характеристики на дървените греди

EuroNorm EN 1995-1-1:2004 Timber Structures

Number: Title:

Type: Classification: Service class:

Properties **Strength** Bedding

General properties Advanced >>

Self weight: γ

Density: ρ

Temperature coeff.: α

Elastic modulus: E

Poisson ratio: μ

Shear modulus: G

Compression modulus: K

Таблица 6. Характеристики на пружините

Spring Elements Spring Elements; Spring Elements Transverse springs			
	NR	c_p [kN/m] ∇	c_q [kN/m]
	7822	1028	42.09
	7823	1027	42.18
	7824	1027	42.18
	7825	6865	42.87
	7826	6865	42.87
	7827	1377	44.73
	7828	1377	44.73
	7829	5866	44.91
	7830	5866	44.91
	7831	6919	46.96
	7832	6919	46.96
	7833	6734	48.19
	7834	6734	48.19
	7835	1004	48.31
	7836	1004	48.31
	7837	5874	51.69
	7838	5874	51.69
	7839	5852	54.24
	7840	5852	54.24
	7841	5875	57.59
	7842	5875	57.59
	7843	1007	60.28
	7844	1007	60.28
min	1	1.58	1.58
max	7175	60.28	60.28

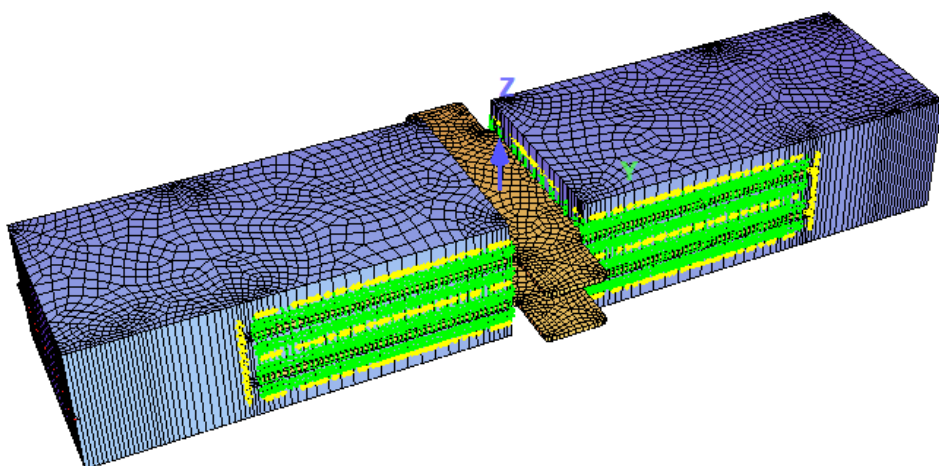
В едната котва на образца са поставени опори, а в другата е приложено натоварване. Натоварването и опорите са моделирани като линейни, а не точкови. Разгледани са няколко нива на натоварване, през определена стъпка, до достигане на максималното. По този начин разбираме поведението на съединението при различна големина на натоварването.

Таблица 7. Случаи на натоварване (kN)

LC: 1001-1011, Loadcase Load case number		
	LC	LC-title
1	1001	F=2.75
2	1002	F=5.5
3	1003	F=8.25
4	1004	F=11
5	1005	F=13.75
6	1006	F=16.5
7	1007	F=19.25
8	1008	F=22
9	1009	F=24.75
10	1010	F=27.5
11	1011	F=30.25

3.2. Натиск

Моделът е изграден по същия начин, като модела за опън, отново дървените греди, както и стоманените плочи са изградени като равнинни елементи. Плочите са с отвори, както и експерименталният модел. Лепилният слой е моделиран с площи пружинни константи.



Фиг. 11. Изчислителен модел на натиск

Таблица 8. Характеристики на стоманената плоча

EuroNorm EN 1995-1-1:2004 Timber Structures

Number: Title:

Type: Classification: Max thickness:

Properties

General properties Advanced >>

<input type="checkbox"/> Self weight:	γ	<input type="text" value="78.5 kN/m3"/>
<input type="checkbox"/> Density:	ρ	<input type="text" value="7850.0 kg/m3"/>
<input type="checkbox"/> Temperature coeff.:	α	<input type="text" value="0.120e-4 1/K"/>
<input type="checkbox"/> Elastic modulus:	E	<input type="text" value="210000 N/mm2"/>
<input type="checkbox"/> Poisson ratio:	μ	<input type="text" value="0.300 -"/>
<input type="checkbox"/> Shear modulus:	G	<input type="text" value="80769 N/mm2"/>
<input type="checkbox"/> Compression modulus:	K	<input type="text" value="175000 N/mm2"/>

Таблица 9. Характеристики на дървените греди

EuroNorm EN 1995-1-1:2004 Timber Structures

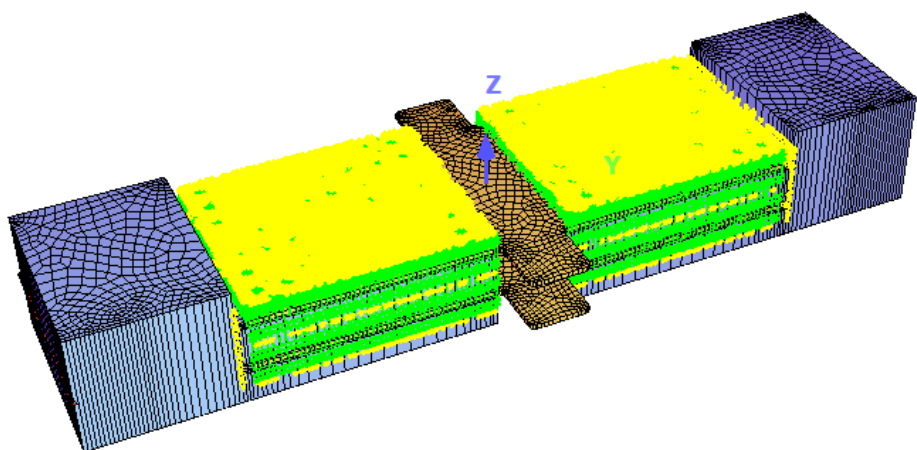
Number: Title:

Type: Classification: Service class:

Properties

General properties Advanced >>

<input type="checkbox"/> Self weight:	γ	<input type="text" value="4.2 kN/m3"/>
<input type="checkbox"/> Density:	ρ	<input type="text" value="350.0 kg/m3"/>
<input type="checkbox"/> Temperature coeff.:	α	<input type="text" value="0.000e0 1/K"/>
<input type="checkbox"/> Elastic modulus:	E	<input type="text" value="11000 N/mm2"/>
<input type="checkbox"/> Poisson ratio:	μ	<input type="text" value="0.000 -"/>
<input type="checkbox"/> Shear modulus:	G	<input type="text" value="690 N/mm2"/>
<input type="checkbox"/> Compression modulus:	K	<input type="text" value="123 N/mm2"/>



Фиг. 12. Изометрия на изчислителния модел за натиск – пружини, симулиращи лепилния слой

Таблица 10. Характеристики на пружините

Spring Elements Spring Elements; Spring Elements Transverse springs			
	NR	ср [kN/m] Ψ	сq [kN/m]
9590	2205	38.87	38.87
9591	3660	39.20	39.20
9592	3660	39.20	39.20
9593	11513	41.05	41.05
9594	11513	41.05	41.05
9595	2830	41.37	41.37
9596	2830	41.37	41.37
9597	11511	41.51	41.51
9598	11511	41.51	41.51
9599	12202	41.68	41.68
9600	12202	41.68	41.68
9601	11503	42.72	42.72
9602	11503	42.72	42.72
9603	3657	43.20	43.20
9604	3657	43.20	43.20
9605	12234	44.03	44.03
9606	12234	44.03	44.03
9607	13023	45.98	45.98
9608	13023	45.98	45.98
9609	2216	48.19	48.19
9610	2216	48.19	48.19
9611	11494	57.58	57.58
9612	11494	57.58	57.58
min	1	1.51	1.51
max	13882	57.58	57.58

От едната страна на образца са поставени опори, а от другата е приложено натоварване. Разгледани са няколко нива на натоварване, през определена стъпка, до достигане на максималното. По този начин разбираме поведението на съединението, при различна големина на натоварването.

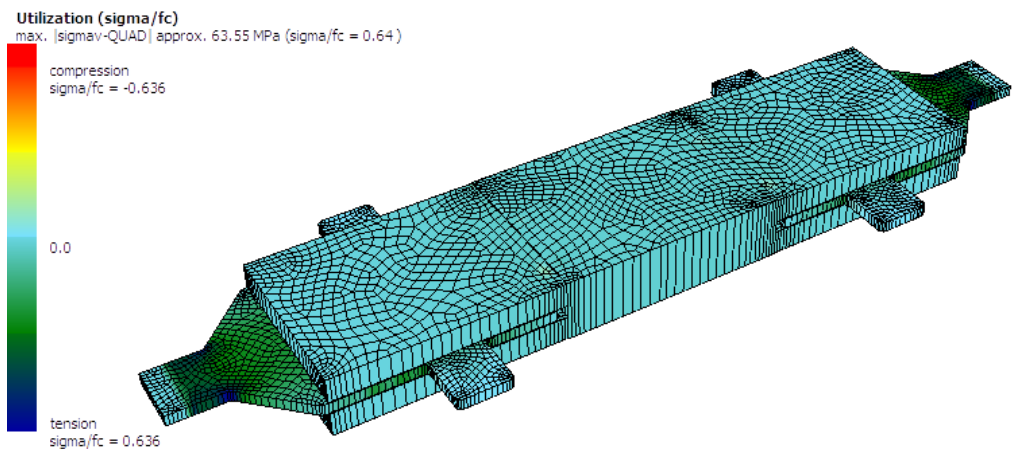
Таблица 11. Случаи на натоварване (kN)

LC: 1002-1012, Loadcase Designation		
	LC	LC-title
1	1002	F=3.2
2	1003	F=4.8
3	1004	F=6.4
4	1005	F=8
5	1006	F=9.6
6	1007	F=11.2
7	1008	F=12.8
8	1009	F=14.4
9	1010	F=16
10	1011	F=17.6
11	1012	F=19.2

4. Резултати

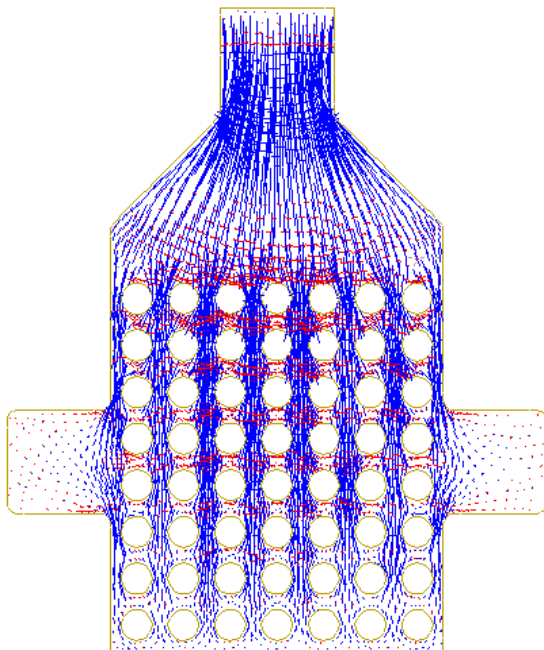
4.1. Опън

Проведен е нелинеен анализ чрез софтуер SOFISTIK AG. Изчислението е направено за 11 случая на натоварване, с растяща големина.



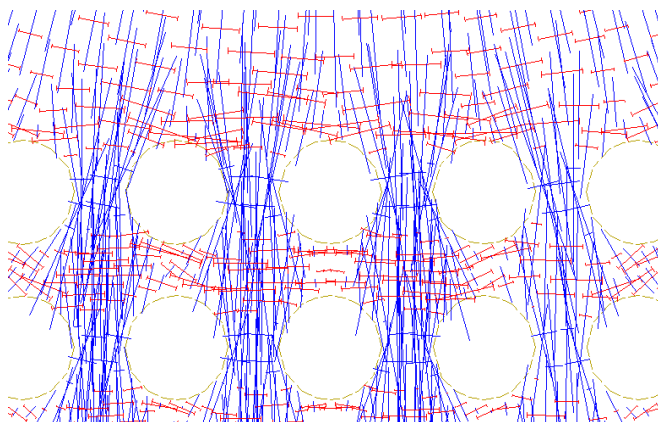
Фиг. 13. Изометрия на изчислителния модел за опън – деформирана схема

Поток на напреженията при натоварване. Сините линии са опънни напрежения, с техните главни направления, а червените са натискови. Вижда се концентрацията около отворите и стеснения участък. Освен това виждаме, че опънната сила се предава върху дървената греда неравномерно, като постепенно напреженията намаляват от началото към средата.

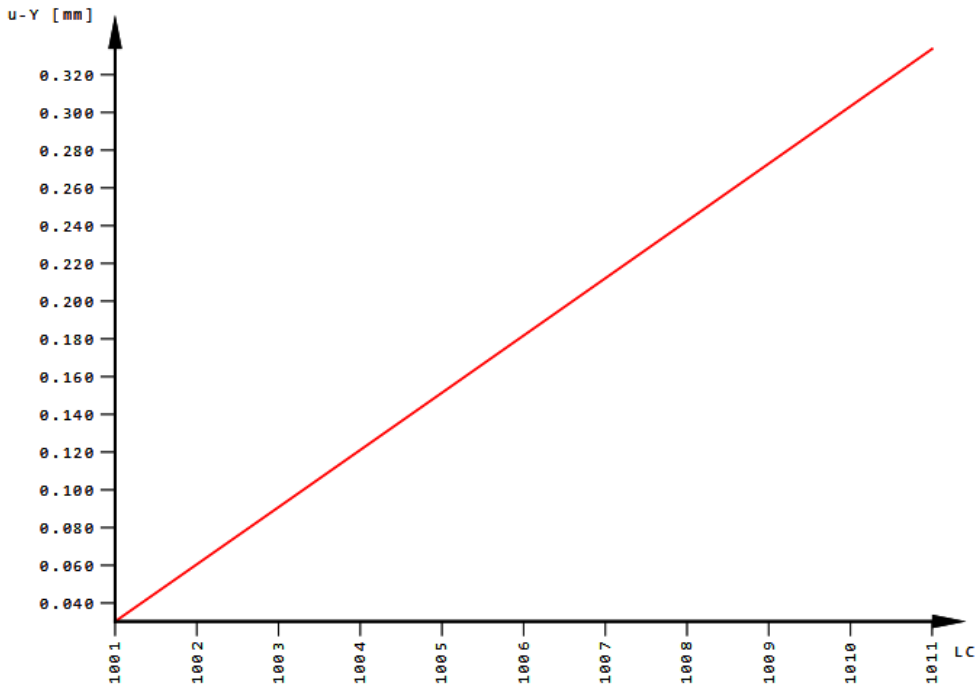


Фиг. 14. Главни напрежения в перфорираната плоча

Тук можем да разберем как се разпределят напреженията около отворите и да определим най-доброто място за тензометричните датчици. Трябва да се използват розетки, за да измерим напрежения, от които да се определят главните напрежения в околността на отворите.



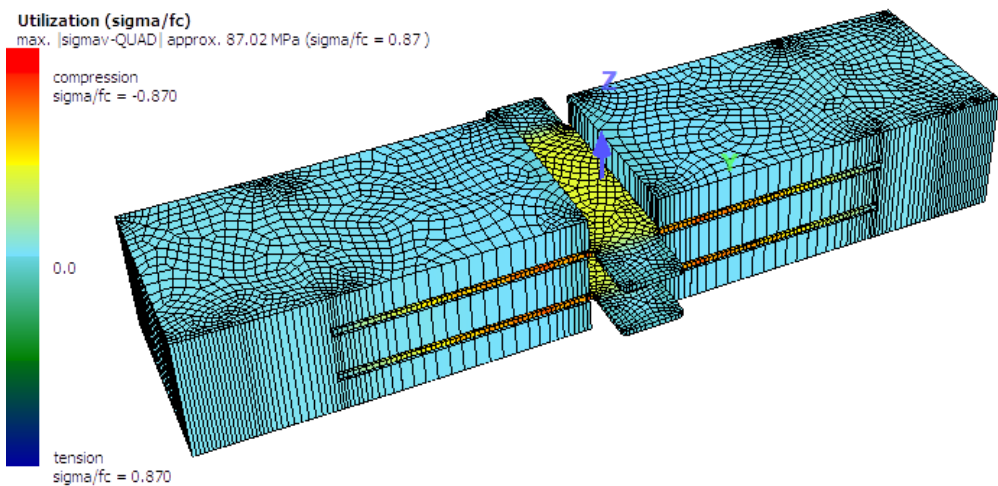
Фиг. 15. Главни напрежения в околността на отворите – синьо „опън“, червено „натиск“



Фиг. 16. Графика на силата на преместване на най-натоварения възел

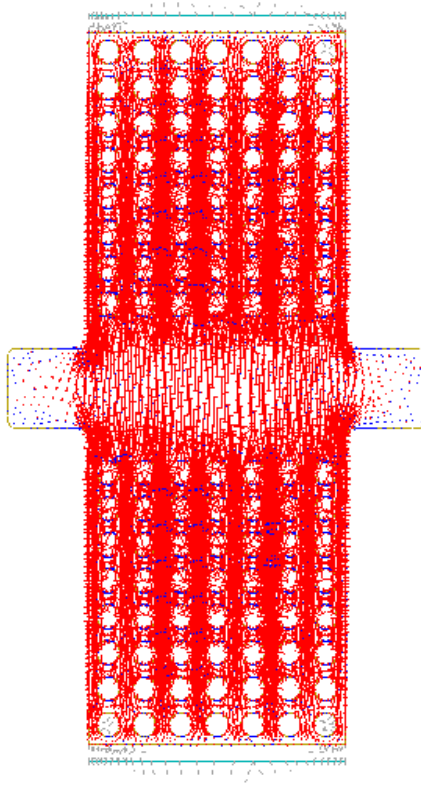
4.2. Натиск

Проведен е нелинеен анализ чрез софтуер SOFISTIK AG. Изчислението е направено за 11 случая на натоварване, с растяща големина.



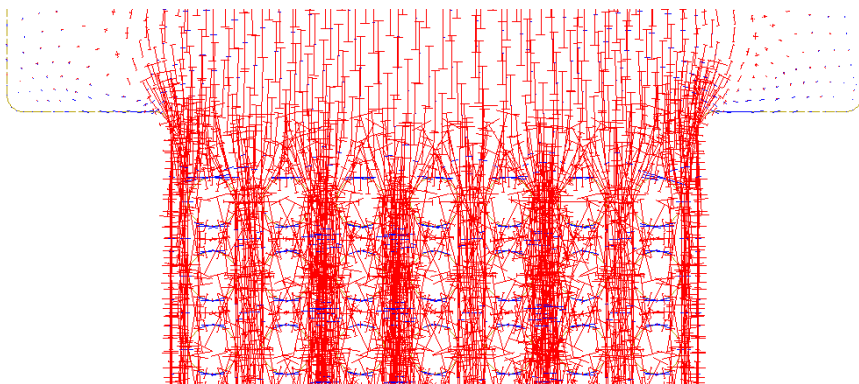
Фиг. 17. Изометрия на изчислителния модел за натиск – деформирана схема

Поток на напреженията при натоварване. Червените линии са главни натискови напрежения, с техните направления, а сините са опънни. Концентрацията е в зоната около отворите, а между отворите в хоризонтален ред се получава и опън.

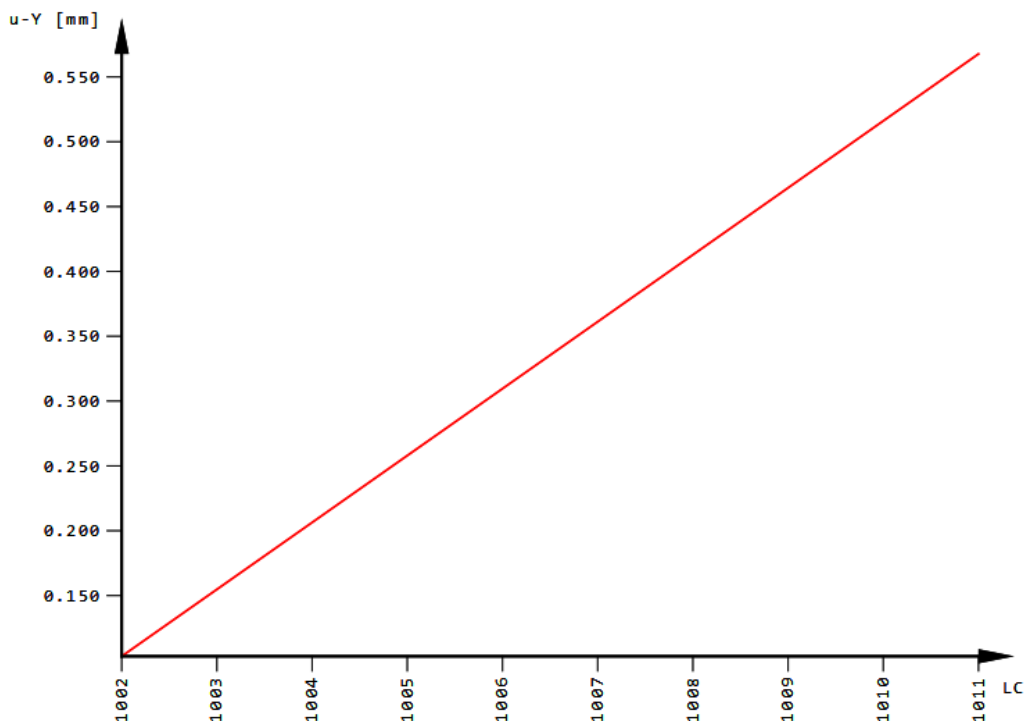


Фиг. 18. Главни напрежения в перфорираната плоча

Близък изглед на напреженията. Тук отново виждаме, че има концентрация на напрежения около отворите, и затова там е най-подходящото място за тензометричните датчици.



Фиг. 19. Главни напрежения в околността на отворите – синьо „опън“, червено „натиск“



Фиг. 20. Графика на силата на преместване на най-натоварения възел

Благодарности

Авторите изказват благодарности на екипа от УАСГ-ЦНИП за одобреното финансиране през първия етап на научната тема Д-100/2017.

ЛИТЕРАТУРА

1. БДС EN 1995-1-1:2004/A2:2014 Еврокод 5: Проектиране на дървени конструкции. Част 1-1: Основни положения. Основни правила и правила за сгради.
2. *Ciprian Pîrvu, Hiroaki Yoshida*. Development of LVL frame structures using glued metal plate joints II: strength properties and failure behavior under lateral loading.
3. *Ciprian Pîrvu, Hiroaki Yoshida*. Development of LVL frame structures using glued metal plate joints I: bond quality and joint performance of LVL-metal joints using epoxy resins.
4. *Nathalie Labonnote, Anders Rønquist, Kjell Arne Malo*. Prediction of material damping in timber floors, and subsequent evaluation of structural damping.
5. *Kay-Uwe Schobe.r* Hybrid connections for timber structures.
6. SOFISTIK AG – помощни файлове.

NUMERICAL STUDY ON TIMBER – EPOXY RESINE – PERFORATED STEEL PLATES CONNECTIONS UNDER AXIAL LOADINGS

T. Georgiev¹, V. Tanev²

Keywords: floor systems, non-linear calculation by FEM

ABSTRACT

At the world construction practice, the share of wooden structures is increasing. The wood is used in all types of constructions such as sports halls, bridges, public buildings, single-family houses, etc. Execution of wooden floors most commonly is done by grillage, which is proven in practice by time. It consists of a beam grillage consisting of main beams in one direction and secondary in the other. This design transmits the load in only one direction, similar to unidirectional reinforced plates. There is no wood-based system with the exception of shells that can transfer the load in two directions, similar to cross-boarded plates. This paper reviews numerical models of wood joints – steel plates subjected to axial forces. A major component in the disclosed compounds is the adhesive (epoxy resin) which is modelled with non-linear spring constants. Key results of the models are shortly presented.

¹ Tihomir Georgiev, Eng. PhD student, Dept. “Steel, Timber and Plastic Structurec”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: tihomir.angelov.georgiev@gmail.com

² Vatyu Tanev, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. “Steel, Timber and Plastic Structurec”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: Tanev_fce@uacg.bg