

Висше строително училище „Любен Каравелов” – София
Строителен факултет
Катедра „Технология и мениджмънт на строителството”

инж. Георги Георгиев Ангелов

**ИЗСЛЕДВАНЕ НА СТРОИТЕЛНО-ТЕХНОЛОГИЧНИТЕ
МЕТОДИ ЗА ИЗГРАЖДАНЕ НА СГРАДИ С ДЪРВЕНА
КОНСТРУКЦИЯ**

АВТОРЕФЕРАТ

на дисертационен труд за присъждане на образователна и научна
степен „доктор”

Област: 5.	Технически науки
Направление:	5.7. Архитектура, строителство и геодезия
Научна специалност:	Технология и механизация на строителното производство

Научен ръководител: проф. д-р инж. Христо Бояджиев

София
2017 г.

Авторът е докторант към катедра „Технология и мениджмънт на строителството” при „Строителен факултет” на ВСУ „Любен Каравелов”.

Дисертационният труд е обсъден и насрочен за защита на разширен катедрен съвет на катедра „Технология и мениджмънт на строителството” на 03.10.2017 г.

Дисертационният труд съдържа 197 страници, включва 31 формули, 197 фигури и 40 таблици. Използваната литература включва 118 източника, от които 40 са на кирилица и 78 на латиница. Приложение 1 е неразделна част от разработката.

Защитата на дисертационния труд ще се проведе на
от часа в заседателната зала на ВСУ „Любен Каравелов” –
София.

Материалите по защитата са на разположение на интересувашите се в деловодството на ВСУ „Любен Каравелов”, гр. София, ул. Суходолска №175, Ректорат на ВСУ, етаж 3, стая №33.

Научно жури:

1. проф. д-р инж. Христо Владимир Бояджиев
2. доц. д-р инж. Божидар Георгиев Велев
3. доц. д-р инж. Венцислав Кирилов Стоянов
4. доц. д-р инж. Иван Христов Павлов
5. доц. д-р инж. Офелия Кирилова Лазова-Велинова

Резервни членове:

1. доц. д-р инж. Деляна Делянова Бояджиева
2. доц. д-р инж. Лъчезар Спасов Хрисчев

Автор: инж. Георги Георгиев Ангелов

Заглавие: Изследване на строително-технологичните методи за изграждане на сгради с дървена конструкция

Тираж: 30 бр.

Съдържание

Обща характеристика на дисертацията	5
Глава 1. Аналитичен обзор	7
1.1. Общи сведения	7
1.2. Дървесината като строителен материал – видове, свойства, предимства и недостатъци, продукти	7
1.3. Видове скрепителни средства	7
1.4. Дървесината като строителен материал и дървените сгради в България	7
1.5. Дялово разпределение на дървените сгради в България и чужбина	8
Глава 2. Технологично-конструктивен анализ на сгради с дървени конструкции	9
2.1. Класификация на дървените конструкции	9
2.2. Технологични особености при изграждане на сгради с дървена носеща конструкция по различни строителни системи	9
2.2.2. Технологични особености при изграждането на сгради с масивна дървена конструкция	9
2.2.2.1. Сгради съставени от необработени трупи дървесина	9
2.2.2.2. Сгради съставени от фасонирани трупи дървесина	10
2.2.3. Технологични особености при изграждането на сгради с дървени рамкови конструкции	11
2.2.4. Технологични особености при изграждането на сгради с панелна конструкция	13
2.3. Изводи от глава 2	14
Глава 3. Техничко-икономически анализ на сгради изградени със стоманобетонна конструкция изпълнени по монолитен метод и сгради с дървена конструкция	15
3.1. Сравнителен анализ на грубия строеж на сгради изпълнени по традиционен монолитен метод, тухлени сгради с дървен гредоред и на сгради с дървени носещи конструкции на база ценова стойност	15
3.2. Сравнителен анализ на грубия строеж на разгледаните сгради на база разход на труд, разход на механизация и трудоемкост	17
3.3. Изводи от глава 3	18
Глава 4. Експериментално изследване на възел „ребро – подложна столица” в дървените конструкции	20
4.1. Същност и цел на експерименталното изследване	20
4.2. Описание на опитните образци и постановка на проведения експеримент	20

4.2.1. Опитни образци	20
4.2.1.1. Типове скрепителни средства	21
4.2.1.2. Клас на дървесината	23
4.2.1.3. Посоки на натоварване	24
4.2.2. Аналитична носимоспособност на опитните образци	25
4.2.3. Опитна постановка на проведения експеримент	25
4.2.3.1. Апаратура за провеждане на експерименталното изследване	25
4.3. Стойност и времетраене на изпълнение на опитните образци	26
4.3.1. Ценова стойност на съединителните средства в опитните образци	26
4.3.2. Времетраене на изпълнение на опитните образци	27
4.3.3. Взаимовръзка между ценова стойност и времетраене на изпълнение на опитните образци	28
4.4. Изводи от глава 4	28
Глава 5. Анализ на експериментални и аналитични резултати	30
5.1. Резултати от проведеното експериментално изследване	30
5.2. Деформации и пукнатини проявили се вследствие от приложеното експериментално натоварване	32
5.2.1. Деформации и пукнатини проявили се при Група I	33
5.2.2. Деформации и пукнатини проявили се при Група II	33
5.2.3. Деформации и пукнатини проявили се при Група III	33
5.2.4. Деформации и пукнатини проявили се при Група IV	34
5.3. Анализ на получените резултати	34
5.3.1. Сравнителен анализ на аналитичната носимоспособност получена чрез нормативните документи	35
5.3.2. Сравнителен анализ на носимоспособността на групите скрепителни средства спрямо Еврокод 5	37
5.4. Изводи от глава 5	38
Глава 6. Обобщени изводи	40
Научни и научно-приложни приноси в дисертационния труд	43
Насоки за бъдеща работа	44
Публикации по темата на дисертационния труд	44

Обща характеристика на дисертацията

Дървесината е употребявана като строителен материал от древността до наши дни. Тя е дълговечна, екологична, естетична, със сравнително добри якостни характеристики и е икономически достъпна. Голяма част от територията на България е покрита с гори, което означава, че може да се добие лесно и бързо. При подходящи грижи за горите, тя става практически неизчерпаем ресурс. Тя е строителен материал с ниски въглеродни емисии и сравнително лесно се рециклира, което я прави актуална спрямо новите насоки в строителството.

Дисертацията разглежда дървесината, като строителен материал с неговите предимства и недостатъци, скрепителните средства необходими за изграждане на сигурна дървена конструкция. Както е и проследено развитието на дървените конструкции през вековете. Описани са и традиционните български къщи, при които дървесината е бил основен строителен материал. Проследен е делът на дървените конструкции при редица държави.

Предложена е класификация на дървените конструкции и са разгледани технологичните особености при строителство на сгради с дървена носеща конструкция изпълнени по различни конструктивни системи.

Изпълнен е сравнителен анализ на грубия строеж на еднофамилна жилищна сграда проектирана спрямо действащите нормативи със стоманобетонова конструкция и сгради изградени с дървени носещи конструкции, като са сравнени ценовата стойност, разходът на труд и механизация, както и трудоемкостта на изпълнение.

Изследван е възелът „ребро-подложна столица“, като един от най-често срещаните възлови съединения при строителството не само на дървени, но и на монолитни сгради с дървени покриви. Сравнени са четири групи скрепителни средства въз основа ценова стойност, времетраене на изпълнение и носимоспособност. Изготвен е анализ на аналитичната носимоспособност на възела в съответствие с Еврокод 5, НПДК-90 и NDS (американски норми).

Представени са резултатите получени вследствие приложено експериментално натоварване върху разгледания възел, като са описани деформациите и пукнатините появили се вследствие приложеното натоварване.

Всяка глава от дисертационния труд се съпровожда от изводи и препоръки, като след аналитичният обзор от глава 1 се извежда целта на разработката и задачите за постигане на тази цел.

Цел на дисертационния труд е изследване на технологични проблеми и решения при изграждане на сгради с дървена конструкция.

За постигане на така поставената цел ще се разгледат следните задачи:

1) Технологично – конструктивен анализ на изгражданите у нас и в чужбина сгради с дървени конструкции.

2) Сравнителен технико – икономически анализ на сгради изпълнени с традиционна монолитна система и на сгради с дървена конструкция.

3) Експериментално изследване на различни крепежни средства при възлово съединение „ребро – подложна столица”.

4) Изводи и препоръки за строителната практика.

Обект на изследването са сградите изпълнени с дървена конструкция.

Предмет на изследването са строително-технологичните методи за изграждане на сгради с дървена конструкция.

Глава 1. Аналитичен обзор

1.1. Общи сведения

Разгледано е развитието на дървените конструкции от древността до наши дни, като са отбелязани основните промени, които са настъпили при дървените конструкции в различни райони на света.

1.2. Дървесината като строителен материал – видове, свойства, предимства и недостатъци, продукти

Горите в България заемат около 30% от територията на страната, като 80% от нуждите на потреблението се обезпечават от вътрешното производство. Широколистната дървесина заема дял 67%, а иглолистната 33% от общата площ на горите. Дървесината е напълно възобновяем ресурс и един от малкото екологични материали, като за добиването му са необходими значително по-малко средства и енергия.

Разгледани са основните дървесни видове използвани в строителството, като са описани техните специфични характеристики, както и основните схеми на фасониране. Описани са физичните и механични свойства на дървесината. Дадени са предимствата и недостатъците, както и обработката на дървесината против биологични вредители – гъбни организми и животински вредители (насекоми).

Дървесните видове се използват за производството на широк набор продукция за строителството. Те могат да се употребяват за носещи конструкции, за обшивки, облицовки и ламперии, за дърводелски продукти (дограми, каси на врати, врати), за подови настилки (паркети, дюшемета, ламинати, первази), за мебели и други. Представени са основните продукти ползвани в строителството – масивна дървесина, „глулам” греди, CLT – панели, различни видове плоскости получени от дървесина, както и композитна дървесина.

1.3. Видове скрепителни средства

Елементите изработени от дървесина се закрепят едни за други с помощта на скрепителни средства. С тяхна помощ се образува конструкцията на сградата. С помощта на скрепителните средства се улеснява изготвянето на дървените конструкции и се съкращават сроковете за изпълнението им. Дадена е характеристика на основните видове скрепителни средства – гвоздеи, винтове, болтове и планки.

1.4. Дървесината като строителен материал и дървените сгради в България

Дървесината е била един от най-употребяваните материали за строителство на жилищни, обществени и религиозни сгради през дълъг период от време по нашите земи. Представени са основните типове сгради ползвани от населението за жилищни цели през различни периоди.

1.5. Дялово разпределение на дървените сгради в България и чужбина

Въпреки че напоследък, дървените конструкции не са на особена почит в България в много страни предпочитаният материал за строителство на жилищни сгради е дървесината. В таблица 1.9. са показани дяловете на жилищните сгради изградени с дървена конструкция.

Таблица 1.9. Дялово разпределение на дървените конструкции в различни държави

Държава	Дял на дървените конструкции [%]
Австралия	90%+
Великобритания	8%+
Ирландия	10%
Канада	90%+
Норвегия	90%+
Русия	20%
САЩ	90%+
Швеция	90%+
Япония	45%
Средно за развитите държави	70%
България	96% (1,2% изцяло дървени)

Дървесината е екологичен материал, който не замърсява околната среда и има относително добри възможности за рециклиране, което прави употребата ѝ актуална в много държави. Счита се, че е целесъобразно да се изследват сградите с дървена конструкция за по-широкото им приложение в България, поради икономически, екологични, технологични и други фактори. Дървените покривни конструкции се употребяват не само при дървените сгради, което прави изследването на възелът „ребро – подложна столица“ особено важно за строителната практика.

Глава 2. Технологично-конструктивен анализ на сгради с дървени конструкции

2.1. Класификация на дървените конструкции

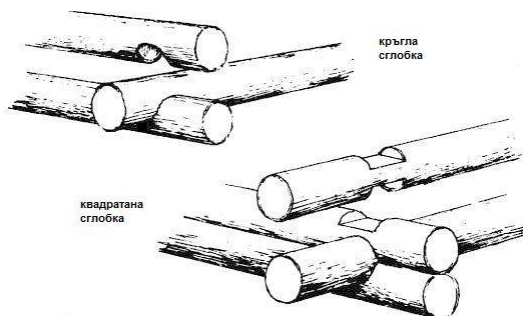
Дървените сгради могат да се класифицират спрямо носещата си конструкция на няколко основни вида конструктивни системи – масивни, гредови (рамкови) и панелни. Съществуват и смесени системи, които са комбинация от някои от трите основни вида. При панелната система е разгледана само CLT-системата, а поради приликите при изграждането на сгради по рамковата система чрез лек тип стенни панели, леките панели ще се причислят към рамковата система. Технологията на изпълнението им се различава значително, както и трудоемкостта и продължителността на изграждането им.

2.2. Технологични особености при изграждане на сгради с дървена носеща конструкция по различни строителни системи

Разгледани са основните типове фундаменти и сутеренни стени при строителството на сгради с дървена конструкция. Представени са технологичните особености при изграждането на дървени сгради по трите основни типа конструктивни системи:

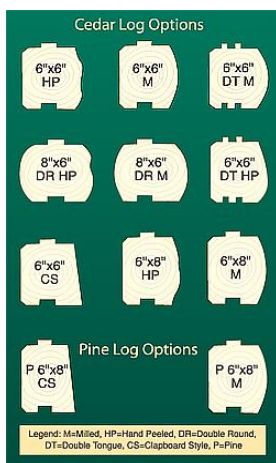
2.2.2. Технологични особености при изграждането на сгради с масивна дървена конструкция

2.2.2.1. Сгради съставени от необработени трупи дървесина – обикновено за строителството на дървените къщи се използвал иглолистен материал. При този тип строителство се употребяват трупи с дължини, които са с размери на цялата дължина на стените. Първият ред от стените започва с половин сечение трупи. Понеже необработените трупи имат различно напречно сечение при основата на дървото и при върха, те трябва да се разполагат, като върху голямото сечение се полага малкото сечение на следващият ред. При сглобките в ъглите при стени изградени от кръгли трупи се употребяват най-много два вида – кръгли и квадратни (фиг. 2.8.в.). Има два вида строителство на сгради с необработени трупи – с и без fugи между отделните редове дървесина. Освен сглобките в ъглите на сградите, трупите се свързват механично чрез шпилки, винтове, гвоздеи, клечки и други. Те се поставят от 45 до 90 cm разстояние едни от други, като се забиват перпендикулярно на ствола в предварително направени отвори.



Фиг. 2.8.в.

2.2.2.2. Сгради съставени от фасонирани трупи дървесина – след като дървесината премине обработка се получават сечения с еднакви размери и дължини. Създават се строителни комплекти, които включват всички необходими елементи от конструкцията. Те се сглобяват в цехове и след това се транспортират до строителната площадка, където се сглобяват окончателно. Всеки елемент има номерация, така че да се предотвратят грешките при строителството. Фасонираните трупи могат да бъдат кръгли, квадратни, правоъгълни или с друга форма (фиг. 2.10.а.), като обикновено се обособяват глѐб и зѐб. Във всяка fuga се поставя пластична уплѐтняваща лента, която запечатва fugите и отделят вътрешността на сградата от околната среда.



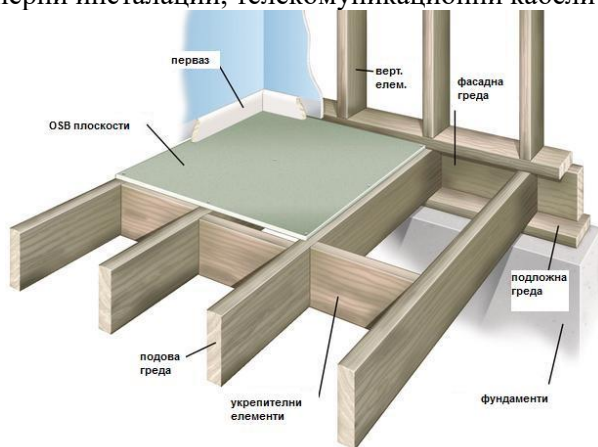
Фиг. 2.10.а.

При прокарването на електрическите кабели се предвиждат отвори във вътрешността на трупите, като те се пробиват преди всеки елемент да бъде поставен в проектно положение. Възможно е тези отвори да са изпълнени и в цеха за заготовка на елементите. ВиК инсталациите не е добре да се поставят във външните стени, а ако е невъзможно да се изпълни това условие се прави допълнителна рамкова стена долепена до външната, в чиито кухни се прокарват тръбите. Вътрешните стените и подовите могат да се изпълнят чрез рамковия метод. В тези стени и тавани е удобно да се прокарват всякакъв тип инсталации

2.2.3. Технологични особености при изграждането на сгради с дървени рамкови конструкции

Сградите, които са изпълнени с дървени рамкови конструкции се делят на два основни типа – с едроразмерни и с дребноразмерни носещи конструктивни елементи. Тези конструкции, които са съставени от едроразмерни елементи имат способността да образуват по-големи отвори, но това се получава за сметка на използването на носещи елементи с голямо сечение и дължина – минимум 20х20 см. Носещите елементи са греди и колони, които обикновено се свързват чрез сглобки.

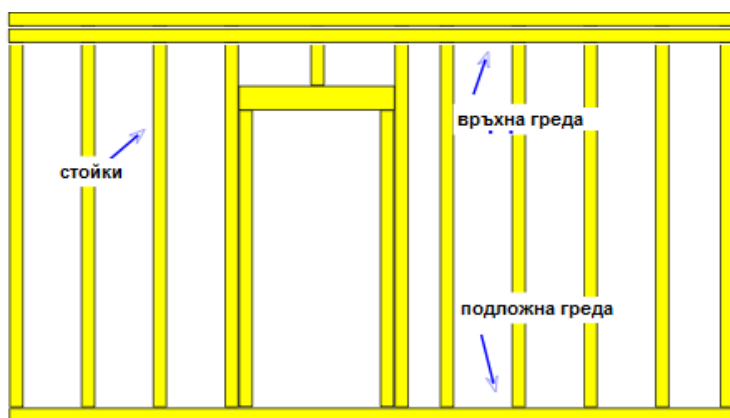
Дървена рамкова конструкция изградени с дребноразмерни елементи представлява гъста мрежа от гредички. Основно има три вида конструкции в този тип сгради – подова, стенна и покривна. И при трите се обособяват празни пространства между носещите елементи, които служат за полагане на топлоизолации, звукоизолации, инженерни инсталации, телекомуникационни кабели и други.



Фиг. 2.11.

При подовите конструкции се употребяват елементи с размери 5х20, 5х25 и 5х30см. Те се разполагат на осово разстояние 30, 40 или 60 см едни от други (фиг. 2.11.). Представени са основните типове греди, използвани за подовите конструкции.

Стените се делят на носещи и неносещи. Разликата се обуславя в сечението на дървените елементи и в разстоянието помежду им. Стените се изграждат в легнало положение на пода на сградата и след това се повдигат във вертикално положение и се прикрепят към подовата конструкция с гвоздеи и с анкерни болтове/планки, ако строежа е в земетръсна зона. Стените се състоят от вертикални и хоризонтални елементи (фиг. 2.18.) с еднакво сечение – 5х10 или 5х15 см. Вертикалните елементи се разполагат през 30, 40 или 60 см осово разстояние. В повечето случаи тези елементи се свързват помежду си с гвоздеи.



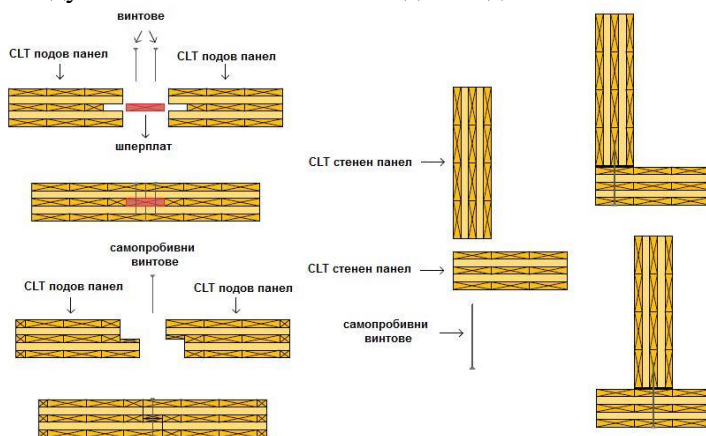
Фиг. 2.18.

Покривната конструкция следва особеностите при изграждането на подовите и стенните. Размера и вида на конструктивните решения зависи от натоварването, което ще поема покривната конструкция и от отворът, който ще бъде преодоляван с нея. Най-общо покривните конструкции са два типа – ребров и фермов. Ребровия тип е съставен от ребра със сечение по-голямо от 5х15 см. Те са единствените носещи елементи, които пренасят натоварването към подложната столица. При по-голям отвор се предвиждат и клеци. Фермовият тип се прилага при по-големи отвори, като фермите или се доставят на

обекта като полуферми или се изготвят на обекта. Употребяват се ноктеви плочи при изпълнението на фермите.

2.2.4. Технологични особености при изграждането на сгради с панелна конструкция

Панелната конструкция е съставена от свързани помежду си дървени панели от кръстосано залепена многопластова дървесина (CLT-панели). Панелите са съставени от залепени едни за други ламели, като всеки следващ пласт се разполага перпендикулярно на предходния. Пластовете са нечетен брой, като те обикновено са 3, 5, 7 броя или повече. Изготвянето на CLT-панелите става в цех, като след това пристигат на обекта с предварително изрязани отвори за врати и прозорци. Те най-близко могат да се съпоставят по качества и характеристики със стоманобетонните панели, въпреки че имат тегло от 1/4 до 1/5 от това на стоманобетона. Панелите се делят на подови и стенни. Размерите могат да достигнат до 18x3 m с дебелина до 50 cm. По принцип за предпочитане е по-дългите стени да се разделят на по-малки сегменти, а не да се употребяват панели с цялата дължина на стената. Отделните стенни елементи е възможно да се свържат помежду си с предварително изготвените в цеха глъб и зъб и допълнителни ламели, които навлизат в отворите. След това те се закрепят с винтове или гвоздеи, които имат усукано или оребрено тяло. Има много варианти за свързване, като те включват профилиране на панелите, само с винтове, с различни метални приспособления, планки и други. На фиг. 2.26. са показани някои връзки между стенен-стенен панел и подов-подов панел.



Фиг. 2.26. Типови връзки между CLT-панели

За закрепяне на стенни с подови панели и за осигуряване на антисейзмичността на конструкцията се поставят Г-образни планки в ъглите там където се допират двата вида панели. Болтове обикновено се използват при връзката стенен панел-фундамент. За да прилепнат панелите плътно едни към други се употребяват специални приспособления – стеги. При липсата на висока точност на изпълнение в панелите се появяват неблагоприятни усилия. Фугите между отделните панели трябва да се почистват преди полагане на панелите, като допълнително се поставя уплътнителна ивица, която предотвратява преминаването на звуковите вълни, а също образуването на топлинни мостове.

2.3. Изводи от глава 2

На база изследваните в глава 2 три конструктивни системи следват следните изводи:

- при масивната система изготвена от необработени трупи е необходимо наличието на висококвалифицирана работна ръка, а при фасонираните е необходима висока точност на проектиране и заготовка на трупите в цеховете;
- при гредовата система, поради големият брой съединения е целесъобразно употребата на възможно повече механизация;
- при панелната система е необходимо наличието на тежка механизация (кран), висока точност на проектиране и изготвяне на панелите в цеховете;

Глава 3. Техничко-икономически анализ на сгради изградени със стоманобетонна конструкция изпълнени по монолитен метод и сгради с дървена конструкция

3.1. Сравнителен анализ на грубия строеж на сгради изпълнени по традиционен монолитен метод, тухлени сгради с дървен гредоред и на сгради с дървени носещи конструкции на база ценова стойност

Сравнена по количествено-стойностни показатели е двуетажна еднофамилна къща с РЗП 100 m², изпълнена със стоманобетонна носеща конструкция, с носещи тухлени стени и гредоред или по една от трите дървени конструктивни системи (гредова, масивна и панелна). Сравнено е изпълнението на сградите до степен - груб строеж. При получаване на количествено-стойностната сметка не се включва изграждането на сградата до кота нула, приема се че нулевият цикъл е един и същ за всички сравнени конструктивни системи – стоманобетонни фундаменти и стоманобетонна плоча на кота нула. Също се приема, че покривната конструкция е идентична за всички конструктивни системи – дървена носеща покривна конструкция. Трябва да се отбележи, че колкото по-ниска е сградата, толкова приносът на нулевия цикъл и покривната конструкция към стойността на грубия строеж е по-голям.

При сравнението ще се разгледат двете подови конструкции и двете стенни конструкции над ниво нула до ниво покрив.

Изготвена е количествено-стойностна сметка на двуетажна къща със стоманобетонна гредова конструкция и изпълнени тухлени зидове. Колоните са с размери 25/25 cm, гредите са с 25/30 cm, а дебелината на плочите е 12 cm. Външните тухлени зидове са с дебелина 25 cm, а вътрешните са 12 cm. Конструктивната височина на етажа (горен ръб плоча до горен ръб плоча) е 270 cm.

Изготвена е и количествено-стойностна сметка на двуетажна къща изпълнена от носеща зидария от плътни тухли с дебелина на зида от 25 cm, стоманобетонни пояси с размери 25/25 cm и дървен гредоред от греди със сечение 16/14 cm, както и дъсчена иглолистна обшивка прикрепена към подовите греди с дебелина 2,5 cm.

Изготвена е количествено-стойностна сметка на двуетажна къща изпълнена от дървесина по една от трите конструктивни системи. При гредовата дървена конструкция стенната конструкция е изпълнена от типа показан на фиг. 2.18., т.е. от стойки със размери 5/10 cm

разположени през 30 cm една от друга при носещите стени и през 60 cm при неносещите. Подовата конструкция е съставена от греди (талпи) с размери 5/20 cm, разположени през 30 cm една от друга. Вертикалните стойки и гредите се укрепват чрез разпънки по средата на отвора си от елементи с идентично напречно сечение. От външната страна на външните стенни конструкции са прикрепени плоскости OSB с дебелина 1,8 mm, същата дебелина OSB плоскости са прикрепени към подовите греди. Конструктивната височина на етажа (горен ръб подова конструкция до горен ръб подова конструкция) е 270 cm.

При масивната дървена конструкция стените са изпълнени от фасонирани трупи с размери 10/10 cm. Подовата конструкция е съставена от греди (талпи) с размери 5/20 cm, разположени през 30 cm една от друга. Те са прикрепени към външните стени и се разполагат върху вътрешните. Към подовите греди са прикрепени плоскости OSB с дебелина 1,8 mm. Конструктивната височина на етажа е 270 cm.

При панелната дървена конструкция стените и подовите са изпълнени от CLT панели с дебелина 10 cm. Конструктивната височина на етажа е 270 cm. CLT панели се произвеждат само извън България и средната цена за m³ дървен материал е 977,83 лв. (€500) без ДДС и без доставка на панелите.

Всички цени са без ДДС и без включена печалба за строителя. Всички цени с изключение тези при CLT панелните къщи и на тухлената зидария от плътни тухли са взети от „Справочника за цените в строителството” брой 3/2015.

На база количествено-стойностните сметки е изготвена таблица 3.4.

Таблица 3.4. Ценова стойност на вид конструкция

Вид конструкция	Обща цена [лв.]	Единична цена [лв./m ²]
1	2	3
Стоманобетонена конструкция	11338,72	113,39
Тухлена зидария с гредоред	13391,24	133,91
Дървена – гредова система	7372,93	73,73
Дървена – масивна система	12217,94	122,18
Дървена – панелна система (CLT)	29100,22	291,00

3.2. Сравнителен анализ на грубия строеж на разгледаните сгради на база разход на труд, разход на механизация и трудоемкост

В настоящата точка ще бъдат анализирани трудовите разходи и разходите за механизация, както и трудоемкостта за изпълнение на грубия строеж на разглежданите сгради от т.3.1. В таблица 3.5 са дадени разходите за труд за един квадратен метър разгъната застроена площ (РЗП) за съответната сграда, както и разходите за механизация за един квадратен метър разгъната застроена площ (РЗП) за съответната сграда.

Таблица 3.5. Стойност на труда и механизацията според вида на конструкцията

Вид конструкция	Труд [лв./m ²]	Механизация [лв./m ²]
1	2	3
Стоманобетонена конструкция	17,30	1,79
Тухлена зидария с гредоред	11,48	0,73
Дървена – гредова система	8,33	0,05
Дървена – масивна система	16,61	0,06
Дървена – панелна система (CLT)	-	-

Най-ниски стойности на труд и механизация се наблюдава при гредовата система. Сградите изпълнени със тухлена зидария и гредоред следват по отношение трудовите разходи, но разходите за механизация са доста по-големи в сравнение с масивната система. Най-големи са разходите при изпълнението на стоманобетонена сграда с тухлена зидария. Масивната система има доста близки до монолитната сграда трудови разходи макар и малко по-ниски. Панелната (CLT) система не се разглежда поради големият брой неизвестни, при определянето на разходите (транспортни, монтажни и трудови), това се дължи и на това, че страните производители са основно Австрия, Швейцария, Германия, Финландия и др.

Наблюдава се, че при дървените гредови и масивни системи разходите за механизация са сравнително ниски, това говори че българските строители все още не използват в пълна степен наличната механизация, която би намалила трудовите разходи дори повече. Целта е да се увеличат разходите за механизация за сметка на

разходите за труд. Това способства и за намаляване на трудоемкостта при изпълнение на дадена сграда.

Трудоемкостта (Тр) е получена с помощта на формула 3.1.

$$(3.1) \quad Tr = Q \cdot Нвр, [чч]$$

, където

Тр – трудоемкостта на дадено СМР

Q – количеството строителна продукция

Нвр – количеството работно време за произвеждането на единица доброкачествена продукция;

В таблица 3.9. е дадена трудоемкостта за разгледаните сгради където в колона 2 е дадена трудоемкост за 1 m² РЗП. При панелната система не е изследвана трудоемкостта, поради липсата на данни за тази система.

Таблица 3.9. Трудоемкост за 1 m² РЗП в зависимост от типа сграда

Вид конструкция	Трудоемкост [чч./m ²]
1	2
Стоманобетонова конструкция	4,07
Тухлена зидария с гредоред	3,18
Дървена – гредова система	2,32
Дървена – масивна система	4,06
Дървена – панелна система (CLT)	-

Ясно се вижда, че най-малка трудоемкост е при изпълнението на дървената гредова система и ще бъде с почти два пъти по-малка трудоемкост в сравнение със сградата със стоманобетонова конструкция и тухлена зидария, следват я сградите с тухлена зидария и гредоред. Почти идентични са трудоемкостите при стоманобетоновата и дървената масивна система. От тук следва заключението, че дървената гредова система е най-целесъобразна при кратки срокове на изпълнение.

3.3. Изводи от глава 3

От проведеното в глава 3 изследване следват следните изводи:

- дървената гредова система е най-целесъобразна от гледна точка общата ценова стойност на грубия строеж в сравнение с разгледаните конструктивни системи;

- масивната и панелната система са по-скъпи от сградите изпълнени по традиционна монолитна стоманобетонова конструкция, което показва че тези две системи биха били употребявани само когато цената не от решаващо значение за инвеститорите, а се търси архитектурният ефект;

- най-ниски разходи за труд и механизация за метър квадратен се получават при дървената гредова система;

- най-малка трудоемкост има гредовата система, почти два пъти по-малка от сградата със стоманобетонова конструкция;

Глава 4. Експериментално изследване на възел „ребро – подложна столица” в дървените конструкции

4.1. Същност и цел на експерименталното изследване

С провеждането на настоящото експериментално изследване се цели да се установи съотношението между реални и изчислителни стойности на носимоспособността на връзката „ребро-подложна столица”, както и да се определи ценовата стойност, разходът на труд и времетраене за реализиране на едно готово възлово съединение. Ще бъдат изследвани следните въпроси:

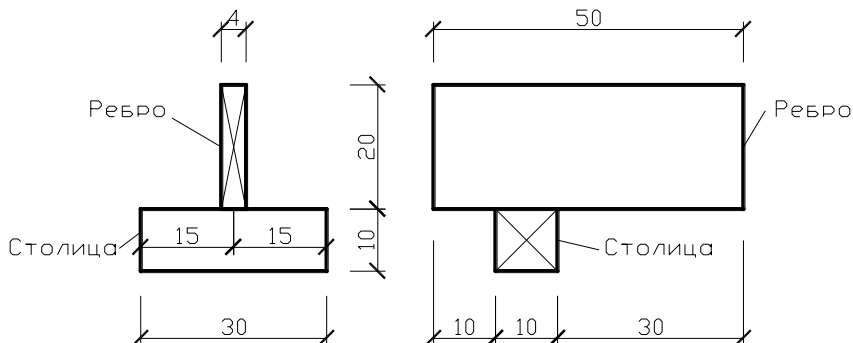
- взаимодействие между ребро-подложна столица при традиционно прилагани в България крепежни средства и други нетипични за нашия начин на строителство;
- носимоспособност на възела;
- разход на труд за реализиране на съединението при различни крепежни средства;
- разход на време за създаване на връзката ребро-подложна столица при различни крепежни средства;
- себестойност на създадения възел.

Получените резултати ще послужат за изясняване работата на възела ребро-подложна столица, реализиран с различни крепежни средства и за евентуално допълване на методиката за изчисляване, конструиране и реализиране на възел ребро-подложна столица.

4.2. Описание на опитните образци и постановка на проведения експеримент

4.2.1. Опитни образци

Опитните образци са изработени от иглолистна дървесина. Те представляват възлово съединение в дървените конструкции – „ребро-подложна столица”. Реброто е с размери 4/20/50 cm, а столицата е с размери 10/10/30 cm. На фиг.4.1. е показан вида на един опитен образец, независимо от употребените скрепителни средства и посоката на натоварване.



Фиг.4.1. Схема на опитните образци

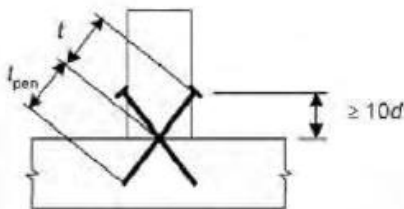
4.2.1.1. Типове скрепителни средства

Реброто и подложната столица са свързани помежду си с четири типа крепежни средства, така че да се обособят четири групи образци.

- Група I – употребени са три броя гвоздеа с гладко стебло (фиг. 4.2.а.) с дължина $l=100\text{mm}$ и диаметър $d=4\text{mm}$, заковани косо под ъгъл от 45° в реброто съответно изискванията на Еврокод 5, така че навлизането на гвоздеите в столицата да става през средата на реброто (фиг. 4.2.б.). За забиване на гвоздеите е използван чуку;



Фиг. 4.2.а.



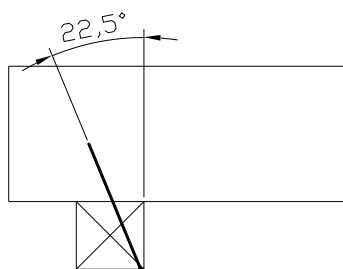
Фиг. 4.2.б.

- Група II – употребен е един брой винт TimberLOK на фирма FastenMaster (САЩ) (фиг. 4.3.а.) с дължина $l=200\text{mm}$ и диаметър $d=5\text{mm}$. Той е завинтен без предварително пробит отвор под ъгъл от $22,5^\circ$, като са спазени предписанията на производителя (фиг. 4.3.б.).

Главата на винта е в столицата, а върха на винта е в реброто. За завинтване на винтовете е употребена бормашина с мощност 400W;



Фиг. 4.3.а.



Фиг. 4.3.б.

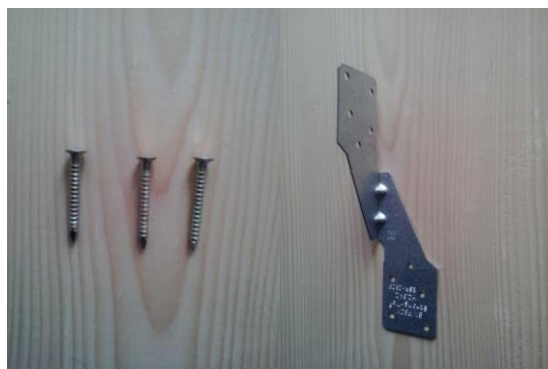
- Група III (планка тип 1) – употребени са десет гвоздеа с оребрено стебло с дължина $l=35\text{mm}$, диаметър $d=3,5\text{mm}$ (фиг. 4.4.а.) и една стоманена планка H1Z на фирма Simpson (САЩ) (фиг. 4.4.б.). Гвоздеите са забити в отворите на планката, като четири попадат в столицата, а шест в реброто на разглеждания възел;



Фиг. 4.4.а.

Фиг. 4.4.б.

- Група IV (планка тип 2) – употребени са десет гвоздеа с оребрено стебло с дължина $l=35\text{mm}$, диаметър $d=3,5\text{mm}$ (фиг. 4.5.а.) и една стоманена планка H2.5AZ на фирма Simpson (САЩ) (фиг. 4.5.б.). Гвоздеите са забити в отворите на планката, като пет попадат в столицата и пет в реброто на разглеждания възел;



Фиг. 4.5.а.

Фиг. 4.5.б.

4.2.1.2. Клас на дървесината

Класът на дървесината преди навлизането на европейските стандарти, се е определял в съответствие с БДС 427:1990. Класът на дървесината спрямо Еврокод 5 е определен чрез измервания съгласно европейски стандарт БДС EN 384:2004. Вzeti са дванадесет дървени елемента (призми), като за всеки от тях са измерени: теглото, обема и влажността на дървените елемента. Теглото е измерено с електронна везна с точност до половин грам (0,5 g). Размерите са измерени с ролетка и шублер с точност до половин милиметър (0,5 mm). Влажността е измерена с електронен влагомер Brennenstuhl Moisture Detector MD с точност една десета от процента (0,1 %).

За да се определи характеристикната плътност на дървесината и от там класът на якостта в съответствие с БДС EN 338:2001 е необходимо да се придържаме към БДС EN 384:2004 и в частност формулата (4.1.), като в този случай характеристикната плътност на дървесината ще бъде равна на стойността получена от формула (4.1.):

$$(4.1.) \quad \rho_{05} = \left(\bar{\rho} - 1,65 \cdot s \right) , [kg / m^3]$$

, където

$\bar{\rho}$ е средната стойност, а

s е стандартното отклонение

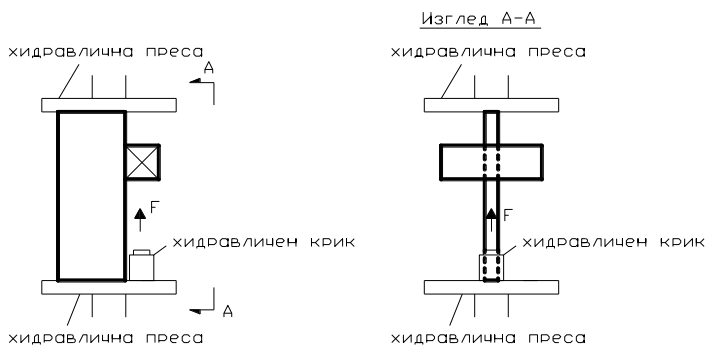
Класа на дървесината е: C 24 с $\rho_k = 350 \text{ } [kg / m^3]$;

4.2.1.3. Посоки на натоварване

Върху опитните образци ще бъде приложено натоварване по три посоки:

- посока 1 – натоварването е приложено по посока на правлението на реброто. На фиг.4.7. е показана схемата на прилагане на натоварването от посока 1.

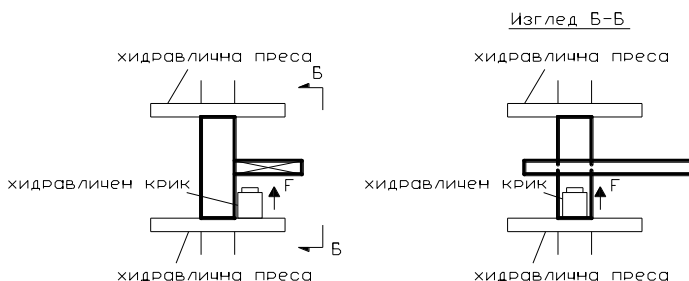
1-ва посока на натоварване



Фиг. 4.7. Схема на натоварване от посока 1

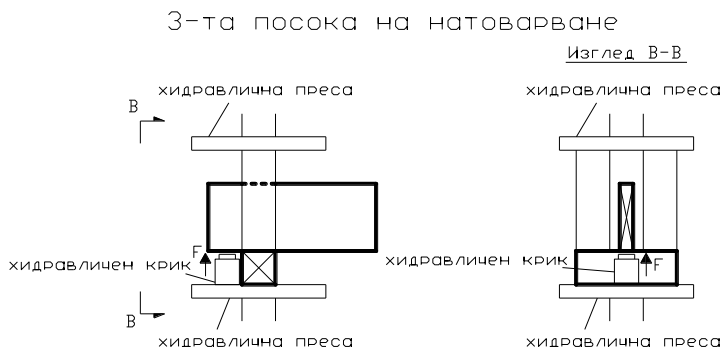
- посока 2 – натоварването е приложено по посока напречно на реброто. На фиг.4.8. е показана схемата на прилагане на натоварването от посока 2.

2-ра посока на натоварване



Фиг. 4.8. Схема на натоварване от посока 2

- посока 3 – натоварването е приложено вертикално на реброто симулиращо смучене от вятър. На фиг.4.9. е показана схемата на прилагане на натоварването от посока 3.



Фиг. 4.9. Схема на натоварване от посока 3

Всеки опитен образец има номерация, която дава информация за групите съединители, посоките на натоварване и идентичните образци. Общият брой образци е тридесет и шест.

4.2.2. Аналитична носимоспособност на опитните образци

Изчислена е аналитичната носимоспособност на възлово съединение „ребро-подложна столица” в съответствие с Еврокод 5, НПДК-90, американските норми (IBC и NDS). Дадени са и данни от производителите. Стойностите са представени в таблица 5.3.

4.2.3. Опитна постановка на проведения експеримент

4.2.3.1. Апаратура за провеждане на експерименталното изследване

Апаратурата за провеждане на експеримента се състои от:

- хидравлична преса;
- хидравличен крик – ENERPAC 30 TON MOD L RCH 302 B J8B;
- ръчна хидравлична помпа – ENERPAC;
- индуктивни датчици – WA-T-050W;
- електронен манометър – P2VA1 1000 Bar;
- измервателна система Spider8;
- софтуер за управление на информационната система за измерване Catman Professional 5.0;

Върху опитните образци се прилага натоварване в съответствие с БДС EN 26891:2003, като:

1) се натоварва до достигане на $0,4 F_{est}$, след което силата се задържа за 30 sec;

2) след това се разтоварва до достигане на $0,1 F_{est}$, след което силата се задържа за 30 sec;

3) след това натоварването се увеличава до достигане на разрушителното натоварване или до реализиране на преместване в размер на 15mm;

4.3. Стойност и времетраене на изпълнение на опитните образци

Определени са ценовата стойност и времетраенето за изпълнение на опитните образци. Изследвана е връзката между ценова стойност и времетраене за изпълнение на образци. Сравнени са четирите групи съединения, употребявани при изготвянето на разглеждания възел.

4.3.1. Ценова стойност на съединителните средства в опитните образци

Ценовата стойност на даден опитен образец включва само стойността на необходимите скрепителни средства. Това се налага поради причина, че единствената разлика между опитните образци се явява при избора на скрепителни средства. Всички стойности дадени в таблица 4.10. са в български лева с включено ДДС към месец Септември 2014г.

Таблица 4.10. Стойност на съединителните средства в един опитен образец

Групи	Вид крепежни средства	Брой	Единична стойност /лв./	Обща стойност /лв./
1	2	3	4	5
Група I	Гвоздеи (10 cm)	3	0,0263	0,0789
Група II	Винтове (TimberLOK)	1	1,8524	1,8524
Група III	Планки (Simpson H1Z)	1	1,3356	1,3356
	Гвоздеи (3,5 cm)	10	0,016	0,16
				1,4956
Група IV	Планки (Simpson H2.5AZ)	1	0,9222	0,9222
	Гвоздеи (3,5 cm)	10	0,016	0,16
				1,0822

На база колона 5 от таблица 4.10. следва, че съединенията от:

- Група IV са 13,72 пъти ценово по неизгодни от Група I;
- Група III са 18,96 пъти ценово по неизгодни от Група I;
- Група II са 23,48 пъти ценово по неизгодни от Група I;

4.3.2. Времетраене на изпълнение на опитните образци

Времетраенето на изпълнение на опитните образци се отчита с помощта на хронометър с точност от десет стотни от секундата. То започва от момента на допир на първото скрепително средство с дървесината и приключва с направата на готовото съединение. За забиване на гвоздеите от Групи I, III и IV е употребен чук, а за завинтване на винтовете от Група II е употребена бормашина ЕЛПРОМ БУР 101Е с мощност 400W. В таблица 4.11. е дадено времетраенето за изпълнение на всеки опитен образец.

Таблица 4.11. Времетраене на изпълнение на един опитен образец

Групи	Време необходимо за изпълнение на един образец /s/									Средна стойност /s/
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Група I	55,3	58,3	50,3	60,9	58,0	42,6	57,0	46,8	43,4	52,51
Група II	17,9	13,2	12,7	11,3	11,5	8,7	11,2	8,4	10,8	11,74
Група III	92,4	68,9	91,6	81,3	76,7	60,2	83,5	67,9	68,7	76,8
Група IV	79,9	58,4	67,5	68,1	67,1	66,6	60,7	56,6	56,3	64,58

На база колона 11 от таблица 4.11., следва че съединенията от Група II се изпълняват за най-малко време, а съединенията от:

- Група I отнемат 4,47 пъти повече време за направа сравнено с Група II;
- Група IV отнемат 5,5 пъти повече време за направа сравнено с Група II;
- Група III отнемат 6,54 пъти повече време за направа сравнено с Група II;

4.3.3. Взаимовръзка между ценова стойност на съединителни средства и времетраене на изпълнение на опитните образци

Връзката между ценовата стойност на скрепителните средства и времетраенето на изпълнение е важен фактор при определяне на рентабилността на дадено скрепително средство. С понятието рентабилност се има в предвид реално каква е стойността на скрепителните средства в едно съединение за минута, т.е дадено съединение ще е по-евтино, ако е изпълнено за по-малко време.

Таблица 4.12. Взаимовръзка между ценова стойност на съединителните средства и времетраене на изпълнение за едно съединение

Групи	Стойност за един брой	Времетраене		Брой за минута	Рентабилност
	лв.	секунди	минути	ед.прод./ мин.	(лв.*мин.)/ ед. прод.
1	2	3	4	5	6
Група I	0,079	52,51	0,8752	1,143	0,069
Група II	1,852	11,74	0,1957	5,109	0,363
Група III	1,496	76,8	1,28	0,781	1,914
Група IV	1,082	64,58	1,0763	0,929	1,165

От колона 6 от таблица 4.12. става известно, че съединенията от Група I са най-рентабилни, а съединенията от Група I са:

- 5,26 пъти по-рентабилни сравнени с Група II;
- 16,88 пъти по-рентабилни сравнени с Група IV;
- 27,74 пъти по-рентабилни сравнени с Група III;

4.4. Изводи от глава 4

На база изследването, което е проведено в глава 4 следват следните изводи:

- когато ценовата стойност е решаваща за проектантите се препоръчва да се употребяват съединителите от Група I (гвоздеи);
- когато времетраенето за изпълнение на едно възлово съединение е решаващо за проектантите се препоръчва да се употребяват съединителите от Група II (винтове);
- на база рентабилност се препоръчва да се използват съединенията от Група I (гвоздеи) и Група II (винтове);

На база аналитичните носимоспособности, получени в глава 4 следват следните изводи:

- при Група I (гвоздеи) независимо кои нормативни документи са използвани (Еврокод 5, НПДК-90, NDS) най-ниска носимоспособност се получава при натоварване приложено по посока 3;
- при Група II (винтове) при използване на Еврокод 5 и NDS най-ниска носимоспособност се получава при натоварване приложено по посоки 1 и 2, докато при употреба на НПДК-90 най-ниска носимоспособност е получена при натоварване приложено

по посока 3. Това се обяснява с приликите на предпоставките между Еврокод 5 и NDS, докато при НПДК-90 прилагане на натоварването по посока 3 се препоръчва да се избягва;

- при Група III (планка тип 1) и Група IV (планка тип 2) носимоспособностите са еднакви независимо от посоката на прилагане на натоварването, като разлика има в стойностите получени в зависимост от нормативните документи (Еврокод 5, НПДК-90, NDS);

Глава 5. Анализ на експериментални и аналитични резултати

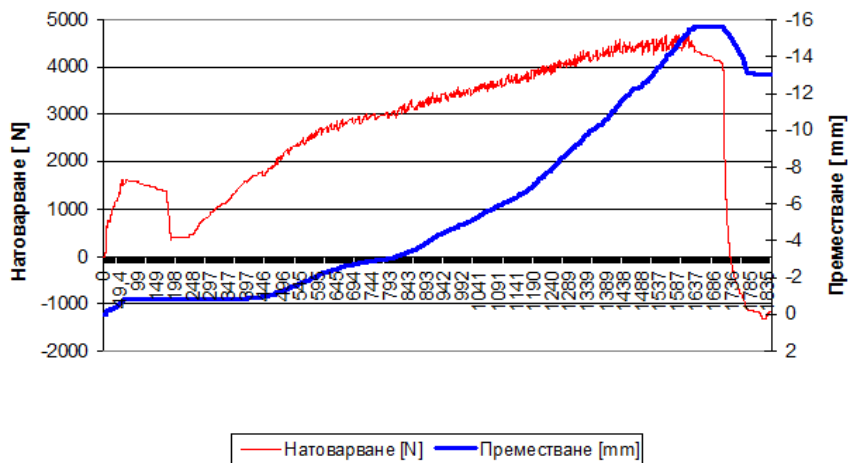
5.1. Резултати от проведеното експериментално изследване

Резултатите от експерименталното изследване са дадени в таблици 5.2.а., 5.2.б. и 5.2.в. Носимоспособността е дадена в нютони [N]. Към всеки изпитан опитен образец съответства графика на изпитването (фиг. 5.1.а., фиг. 5.6.а., фиг. 5.12.б.).

Таблица 5.2.а. Максимална носимоспособност при 1-ва посока на натоварване

Образец	Максимални натоварвания [N]			Средна стойност натоварване [N]	Премествания [mm]		
	а	б	в		а	б	в
Група I	4622,72	4585,44	4380,4	4529,52	15	15	15
Група II	4809,12	4902,32	4604,08	4771,84	11,539	10,333	15
Група III	7101,84	2945,12	5946,16	6524	15	15	15
Група IV	2124,96	1509,84	1435,28	1690,03	15	14,064	15

1.1.а

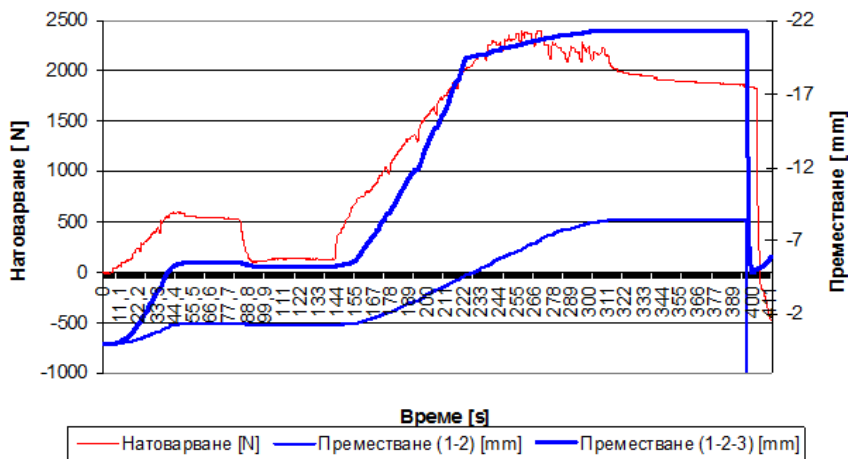


Фиг. 5.1.а.

Таблица 5.2.б. Максимална носимоспособност при 2-ра посока на натоварване

Образец	Максимални натоварвания [N]			Средна стойност натоварване [N]	Премествания [mm]		
	а	б	в		а	б	в
Група I	1994,48	1491,2	1547,12	1677,6	15	15	15
Група II	1696,24	1696,24	2702,8	2031,76	15	15	15
Група III	1304,8	1752,16	1342,08	1466,35	15	15	15
Група IV	1696,24	1938,56	1230,24	1621,68	15	15	15

II.2.a

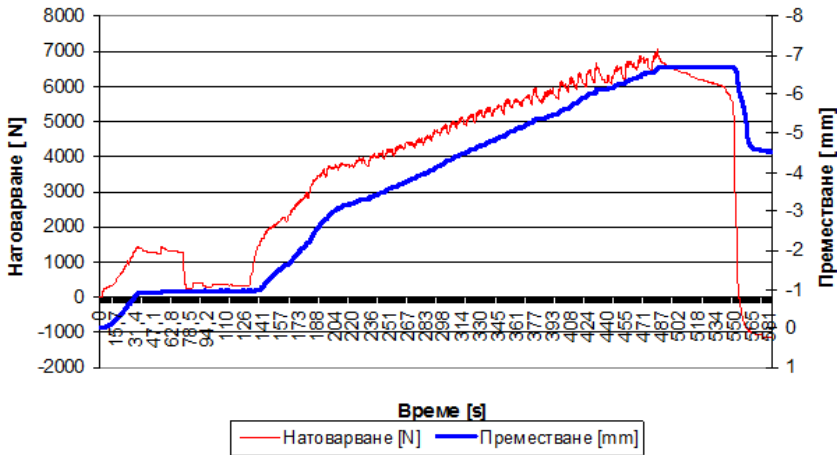


Фиг. 5.6.а.

Таблица 5.2.в. Максимална носимоспособност при 3-та посока на натоварване

Образец	Максимални натоварвания [N]			Средна стойност натоварване [N]	Премествания [mm]		
	а	б	в		а	б	в
Група I	913,36	1323,44	1248,88	1161,89	6,082	5,079	4,03
Група II	1770,8	2535,04	2777,36	2361,07	7,03	8,088	11,038
Група III	4715,92	4529,52	3951,68	4399,04	3,636	3,773	5,611
Група IV	5368,32	6952,72	9394,56	7238,53	5,5	6,681	8,311

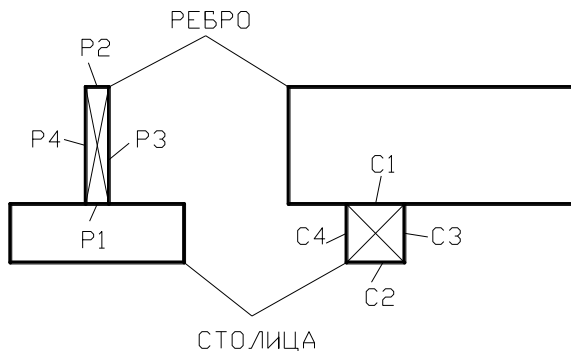
IV.3.6



Фиг. 5.12.6.

5.2. Деформации и пукнатини проявили се вследствие от приложеното експериментално натоварване

Въз основа на приложено разрушително натоварване върху опитните образци се наблюдават редица деформации и пукнатини, които са следствие от настъпване на крайно гранично състояние. Те се проявяват по една или няколко от повърхностите дадени на фиг. 5.13. Повърхностите от реброто са означени с P1, P2, P3, P4, а тези от столицата с C1, C2, C3, C4.



Фиг.5.13. Повърхности на опитните образци

Единствено при Група I се наблюдават дефекти причинени от изработването на съединението. При доста от образците от тази група, по повърхност P1 от реброто се образува пукнатина вследствие на забиването на гвоздеите. Освен това повърхности P3 и P4 се нараняват вследствие необходимите удари за забиване на гвоздеите. В следващите точки са дадени най-често срещащите се деформации и пукнатини.

5.2.1. Деформации и пукнатини проявили се при Група I

При натоварване приложено по посока 1 се наблюдават следните деформации и пукнатини:

- врязване главите на двата гвоздеа по повърхност P3;
- изместване столицата в посока преден край на реброто;
- пукнатина по P1 от изготвяне на образца;

При натоварване приложено по посока 2 се наблюдават следните деформации и пукнатини:

- врязване главите на двата гвоздеа по повърхност P3;
- врязване на гвоздеа по повърхност P4
- разцепване на реброто по P4;
- пукнатина по P1;

При натоварване приложено по посока 3 се наблюдават следните деформации и пукнатини:

- врязване на гвоздеите по P3 и P4;
- разцепване на реброто по P3 и P1;

5.2.2. Деформации и пукнатини проявили се при Група II

При натоварване приложено и при трите посоки се наблюдават следните деформации и пукнатини:

- врязване главите на винта по повърхност C2;
- реброто няма странична устойчивост, завърта се свободно около винта;
- изместване столицата в посока преден край на реброто (само при посока 1);

5.2.3. Деформации и пукнатини проявили се при Група III

При натоварване приложено и при трите посоки се наблюдават следните деформации и пукнатини:

- деформация на планката;
- смачкване на дървесината под планката;
- получаване на пукнатини по C4 (само при посока 3);

5.2.4. Деформации и пукнатини проявили се при Група IV

При натоварване приложено и при трите посоки се наблюдават следните деформации и пукнатини:

- деформация на планката (усукване на шийката на планката);
- получаване на пукнатини по С4 (само при посока 3);

5.3. Анализ на получените резултати

Ще бъде извършен сравнителен анализ на резултатите получени чрез разгледаните в глава 4 нормативни документи с цел да се достигне до причината, поради която аналитичните носимоспособности получени вследствие използването на различните нормативни документи се различават коренно едни от други. В таблица 5.3. са дадени стойностите на аналитичната носимоспособност на възловото съединение, които са необходими, за да се извърши сравнението, както и разрушителната носимоспособност. Всички стойности от таблицата са дадени в нютони [N].

Таблица 5.3. Аналитична носимоспособност на възлово съединение „ребро – подложна столица” [N]

	Разрушително	Еврокод 5	НПДК-90	NDS	Производител
1	2	3	4	5	6
Група I					
Посока 1	4529,52	2214,05	1860	2097,3	-
Посока 2	1677,6	2214,05	1860	2097,3	-
Посока 3	1161,89	2214,05	480	2097,3	-
Група II					
Посока 1	4771,84	2564,2	1000	1387,9	1430
Посока 2	2031,76	2564,2	1000	1387,9	1430
Посока 3	2361,07	2564,2	790	1387,9	2380
Група III					
Посока 1	6524	3922,4	1860	5283	960
Посока 2	1466,35	2615	1240	3522	2160
Посока 3	4399,04	2615	1240	3522	3020
Група IV					
Посока 1	1690,03	3268,7	1550	4402,5	710
Посока 2	1621,68	3268,7	1550	4402,5	710
Посока 3	7238,53	3268,7	1550	4402,5	3360

5.3.1. Сравнителен анализ на аналитичната носимоспособност получена чрез нормативните документи

Извършен е анализ на аналитичните стойности на носимоспособността на възловото съединение получена чрез разгледаните нормативни документи.

Аналитичната носимоспособност спрямо НПДК-90 е най-ниска, защото тя е създадена през по-ранен времеви отрязък на базата на други европейски норми, които я предхождат. При определяне на аналитичната носимоспособността на съединенията влиянието на по-малко на брой фактори са отчетени:

- диаметър на съединителя;
- дебелина на двата съединявани елемента;
- налице са само 3 вида разрушение на съединението;

Презапасяването е в голяма степен, защото не се отчита якостта на дървесината и на съединителите. Това води до по-голям брой съединители необходими за изпълнението на дадено възлово съединение в сравнение с Еврокод 5 и NDS. Освен това в НПДК-90 се препоръчва да бъдат избегнати възли, където съединителите работят на изтръгване, като се допуска само при второстепенни съединения. Това е причината носимоспособността получена от 3-та посока на натоварване да е по-ниска.

Аналитичните носимоспособности получени по NDS и тези от данните на производителите са сравнително еднакви, защото производителите на скрепителните средства са провеждали изпитванията въз основа на NDS. Освен това производителя е отчетел деформативността на планките. При определяне на носимоспособността на съединенията спрямо NDS влияят следните фактори:

- диаметър на съединителя;
- дебелина на двата съединявани елемента;
- якостта на дървесината;
- якостта на съединителя;
- плътността на дървесината;
- налице са 6 форми на разрушение на съединението;
- отчита се продължителността на натоварването при ASD;

Благодарение на по-големия брой фактори носимоспособностите получени спрямо NDS се доближават и общо взето са по-малки от

реалните разрушителни носимоспособности. Трябва да се отбележи, че при употребата на LRFD и понякога ASD се употребяват повече на брой коефициенти за сигурност отчитащи различни характеристики. Все пак не трябва да се извършва сравнение между разрушителните стойности от колона 2 и колони 5 и 6 от таблица 5.3., поради различия в начина на изпитване на опитните образци. Например при NDS няма разтоварване и задържане на натоварването, както е указано в глава 4, което може да се забележи на фигурите от точка 5.1.

Аналитичните носимоспособности получени спрямо Еврокод 5 са сравнително близки до разрушителните стойности и общо взето са по-ниски от тях. Близостта на стойностите говори за отчитане на сравнително реално поведение на дадените скрепителни средства. При определяне на носимоспособността на съединенията спрямо Еврокод 5 влияят следните фактори:

- диаметър на съединителя;
- диаметър на главата на съединителя;
- дебелина на двата съединявани елемента;
- отчита се дебелината на металната плоча;
- якостта на дървесината;
- якостта на съединителя;
- плътността на дървесината;
- налице са 6 форми на разрушение на съединението (при дървесина – дървесина) и 5 форми на разрушение при съединение дървесина – метална плоча;
- отчита се приносът на нишката, като при него се взима под предвид типа на скрепителното средство (гвоздеи, винтове, болтове и т.н.), както и вида на тялото (гладко, оребрено и т.н.);
- отчита се продължителността на натоварването и съдържанието на вода, които влияят върху якостта;

Както се забелязва броят на факторите е значително по-голям в сравнение с другите разгледани нормативни, което говори за по-реалистично представяне на работата на съединението. Това е така, когато всички материали и продукти са сертифицирани в съответствие с Еврокод. Тогава бихме имали предвидими съединения с висока степен на икономическа изгодност. Когато не е възможно да се сдобием с необходимите сертификати, които удостоверяват характеристиките на материали, би било по рационално конструкциите да бъдат проектирани в съответствие с НПК-90

поради по-ниските изисквани носимоспособности. Ако пък искаме да включим носимоспособността на съединителните средства и другите описани по горе характеристики би било по-подходящо избора на Еврокод 5.

5.3.2. Сравнителен анализ на носимоспособността на групите скрепителни средства спрямо Еврокод 5

Сравнени и анализирани са четирите групи възлови съединения, като това ще се извърши в съответствие аналитичната носимоспособност на съединенията получена спрямо Еврокод 5 и експерименталните резултати. В таблица 5.4. са дадени стойностите на процентната разлика на реалната носимоспособност на съединенията в сравнение с аналитичната носимоспособност получена по Еврокод 5 в зависимост от посоките на прилагане на натоварването. Колона 5 дава средноаритметичната процентна разлика на дадените групи съединители, тя е средноаритметичната стойност от колони 2, 3 и 4. Всички стойности са дадени в проценти [%]. Отрицателните стойности показват, че дадената група съединители натоварени в съответната посока, са се разрушили преди достигане на изчислителните спрямо Еврокод 5 стойности на носимоспособността.

Таблица 5.4. Разлика в проценти между аналитичната носимоспособността на съединенията спрямо Еврокод 5 и разрушителното натоварване

	Посока 1	Посока 2	Посока 3	Средна разлика в %
1	2	3	4	5
Група I	104,58	-24,23	-47,52	10,94
Група II	86,10	-20,76	-7,92	19,14
Група III	66,33	-43,93	68,22	30,21
Група IV	-48,30	-50,39	121,45	7,59

На база средната процентна разлика на съединенията от колона 5 от е определено кои групи съединители имат по-предвидимо поведение. Следователно с най-предвидимо поведение са съединения от:

- 1) Група II
- 2) Група III
- 3) Група I
- 4) Група IV

Съединителите от група II са най-подходящи не само за изпълнение на дадени съединения, но и за усилването на съществуващи възлови съединения. Съединенията от групи III и IV също биха могли да се употребяват за усилване на съществуващи възли. Наблюдава се, че натоварване приложено спрямо посока 2 е най-неблагоприятно. Следователно трябва да се вземат мерки при изграждането на конструкциите, а именно укрепване между ребрата. Съединителите от групи III и IV притежават доста предвидимо поведение спрямо посока 3 и те са подходящи за поемане на натоварвания приложени в тази посока.

Въз основа на направеното изследване на възела „ребро – подложна столица“ следва, че възлите изпълнени със съединители от Група I и натоварени по посока 2 и посока 3 се разрушават вследствие изтръгването от страната на върха, а при посока 1 наподобява носимоспособността на срязване при свързване „дървен материал – дървен материал“ при форма на разрушение (с) от Еврокод 5 точка 8.2.2. При групи III и IV разрушенията се дължат главно на деформация в планките. Изглежда, че група III не е предвидена за поемане на натоварване от посока 2, а група IV не е предвидена за поемане на натоварване приложено по посоки 1 и 2.

5.4. Изводи от глава 5

На база изследването, което е проведено в глава 5 следват следните изводи:

- най-ниски стойности на аналитичната носимоспособност на възловото съединение се получават при употребата на НПДК-90, поради отчитането на по-малък на брой фактори, отчитащи поведението му;
- NDS и Еврокод 5 имат сходни алгоритми за получаване на аналитичната носимоспособност на възлово съединение;
- аналитичните носимоспособности получени спрямо Еврокод 5 са сравнително близки до разрушителните стойности, поради големият брой фактори определящи сравнително реалистичното поведение на съединението;
- необходими са по-малък брой съединители за изпълнението на едно възлово съединение при употребата на Еврокод 5 в сравнение с другите нормативни документи;
- когато не е възможно да се сдобием с необходимите сертификати, които удостоверяват характеристиките на материалите и продуктите, би трябвало да употребим НПДК-90

поради вложената в тях по-ниска носимоспособност. Когато целим да включим носимоспособността на съединителните средства и другите характеристики на материалите и продуктите е подходящ избора на Еврокод 5;

- на база общата предвидимост на поведението на съединението в сравнение с Еврокод 5 се препоръчва да се употребяват съединителите от група II (винтове). Те могат да се употребяват самостоятелно, но и като усилване на съществуващи възли;

- съединителите от групи III (планка тип 1) и IV (планка тип 2) притежават сравнително голяма предвидимост на поведението спрямо посока 3 и те са подходящи за поемане на натоварвания приложени в тази посока (смучене на вятър). Те също биха могли да се употребяват за усилване на съществуващи възли;

- съединителите от групи I (гвоздеи) са подходящи за поемане на натоварвания само от посока 1;

Глава 6. Обобщени изводи

1) На база анализа направен в глава 1, следва че дървесината, като конструктивен материал е широко разпространен при строителството на жилищни сгради в България, както в миналото така и сега.

2) На база изследваните в глава 2 три конструктивни системи следват следните изводи:

- при масивната система изготвена от необработени трупи е необходимо наличието на висококвалифицирана работна ръка, а при обработените е необходима висока точност на проектиране и заготовка на трупите в цеховете;

- при гредовата система, поради големият брой съединения е целесъобразно употребата на възможно повече механизация;

- при панелната система е необходимо наличието на тежка механизация (кран), висока точност на проектиране и изготвяне на панелите в цеховете;

3) На база проведеното в глава 3 изследване следват следните изводи:

- дървената гредова система е най-целесъобразна от гледна точка общата ценова стойност на грубия строеж в сравнение с разгледаните конструктивни системи;

- масивната и панелната система са по-скъпи от основният конкурент на дървените конструкции – стоманобетона, което показва че тези две системи биха били употребявани само когато цената не от решаващо значение за инвеститорите, а се търси архитектурният ефект;

- най-ниски разходи за труд и механизация за метър квадратен се получават при дървената гредова система;

- най-малка трудоемкост има гредовата система, почти два пъти по-малка от сградата със стоманобетонена конструкция;

4) На база изследването, което е проведено в глава 4 следват следните изводи:

- когато ценовата стойност е решаваща за проектантите се препоръчва да се употребяват съединителите от Група I (гвоздеи);

- когато времетраенето за изпълнение на едно възлово съединение е решаващо за проектантите се препоръчва да се употребяват съединителите от Група II (винтове);

- на база рентабилност се препоръчва да се използват съединенията от Група I (гвоздеи) и Група II (винтове);

3) На база изчислените носимоспособности, получени в глава 4 следват следните изводи:

- при Група I (гвоздеи) независимо кои нормативни документи са използвани (Еврокод 5, НПДК-90, NDS) най-ниска аналитична носимоспособност се получава при натоварване приложено по посока 3;

- при Група II (винтове) при използване на Еврокод 5 и NDS най-ниска аналитична носимоспособност се получава при натоварване приложено по посоки 1 и 2, докато при употреба на НПДК-90 най-ниска стойност е получена при натоварване приложено по посока 3. Това се обяснява с приликите на предпоставките между Еврокод 5 и NDS, докато при НПДК-90 прилагане на натоварването по посока 3 се препоръчва да се избягва;

- при Група III (планка тип 1) и Група IV (планка тип 2) аналитичните носимоспособности са еднакви независимо от посоката на прилагане на натоварването, като разлика има в стойностите получени в зависимост от нормативните документи (Еврокод 5, НПДК-90, NDS);

4) На база анализа на разликата на аналитичната носимоспособност получена чрез разгледаните нормативни документи, което е проведено в глава 5 следват следните изводи:

- най-ниски стойности на аналитичната носимоспособност на възловото съединение се получават при употребата на НПДК-90, поради отчитането на по-малък на брой фактори, отчитащи поведението му;

- NDS и Еврокод 5 имат сходни алгоритми за получаване на аналитичната носимоспособност на възлово съединение;

- аналитичните носимоспособности получени спрямо Еврокод 5 са сравнително близки до разрушителните стойности, поради големият брой фактори определящи сравнително реалистичното поведение на съединението;

- необходими са по-малък брой съединители за изпълнението на едно възлово съединение при употребата на Еврокод 5 в сравнение с другите нормативни документи;

- когато не е възможно да се сдобием с необходимите сертификати, които удостоверяват характеристиките на материалите и продуктите, би трябвало да употребим НПДК-90 поради вложената в тях по-ниската носимоспособност. Когато

целим да включим носимоспособността на съединителните средства и другите характеристики на материалите и продуктите е подходящ избора на Еврокод 5;

5) На база изследването на носимоспособността получена вследствие на експерименталното изследване и аналитичната носимоспособност получена спрямо Еврокод 5 следват следните изводи:

- на база предвидимостта на поведението на съединението се препоръчва да се употребяват съединителите от група II (винтове). Те могат да се употребяват самостоятелно, но и като усилване на съществуващи възли;

- съединителите от групи III (планка тип 1) и IV (планка тип 2) притежават сравнително голяма предвидимост на поведението спрямо посока 3 и те са подходящи за поемане на натоварвания приложени в тази посока (смучене на вятър). Те също биха могли да се употребяват за усилване на съществуващи възли;

- съединителите от групи I (гвоздеи) са подходящи за поемане на натоварвания само от посока 1;

Научни и научно-приложни приноси в дисертационния труд

1) Представена е класификация на конструктивните системи при сгради с дървена носеща конструкция:

- Массивна система:

- Массивна система от необработени трупи;

- Массивна система от обработени трупи;

- Рамкова (гредова) система:

- Рамкова (гредова) от едроразмерни елементи;

- Рамкова (гредова) от дребноразмерни елементи;

- Панелна система;

2) Определено, е че при сравнението на технико-технологични характеристики на грубия строеж на двуетажна сграда изпълнена по традиционен монолитен метод и сгради с конструктивно участие на дървесина, дървената гредова система е най-икономически изгодна и с най-малка трудоемкост.

3) Определени са скрепителните средства, които са най-целесъобразни при изготвянето на възлово съединение „подложна столица – ребро” от гледна точка на:

- Ценова стойност – гвоздейни механични съединители;

- Времетраене за изпълнение – винтови механични съединители;

- Рентабилност – гвоздейни и винтови съединители;

4) Изчислена и анализирана е аналитичната носимоспособност на възел „подложна столица – ребро” спрямо Еврокод 5, НПКДК-90 и NDS (американски норми) и са дадени препоръки при употреба в практиката.

5) Сравнени и анализирани са експерименталните и аналитични резултати получени в съответствие с Еврокод 5 и са дадени препоръки при употреба на типовете съединители.

Насоки за бъдеща работа

Необходимо е да се изготви подробно сравнение и анализ на дървените рамкови (гредови) системи и на сградите изпълнени по традиционен монолитен метод, като това се извърши на база готова сграда с изпълнени довършителни работи. Така би се повишила точността на съотношението между технико-икономическите показатели на разгледаните сгради.

Изследване на възела „основи – дървени стени” е важен при земетръсните условия в България. Добре е да се изследват различни методи за закрепване и сравнение на технологичните им параметри.

Влиянието на импрегнирането върху якостните характеристики на дървесината и скрепителните средства е добре да се изясни.

Трудовите нормите в строителството и усреднените цени в строителството отнасящи се до изграждане на дървени конструкции е необходимо да се прецизират, поради факта, че дървените сгради изпълнени по различни конструктивни системи имат различни технико-икономически показатели. За целта е нужно да се изпълнят голям брой наблюдения и измервания на строителния процес при изграждането на различните дървени конструктивни системи.

Публикации по темата на дисертационния труд

1. Ангелов, Г – Определяне на взаимовръзката между стойност и времетраене на изпълнението на възел „подложна столица-ребро” в дървените конструкции, В: Сборник доклади на Първа научно-приложна конференция с международно участие „Възстановяване и усиляване на сгради и съоръжения” /ВУСС2015/, 5-6 ноември 2015, София, УАСГ,
2. Ангелов, Г., Бояджиев, Хр. – Експериментално определяне на носимоспособността на възлово съединение за закрепване на конструктивни елементи от дървесина, В: Доклади XVI Международна научна конференция ВСУ’2016, 9-10 юни 2016, София, ВСУ, Том 2, 265-270 (ISSN: 1314-071X)